

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
_____ В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« ____ » _____ 2016 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

«Разработка методики по выбору метода управления космическим аппаратом на
этапе проектирования»

тема

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»
код и наименование направления

09.04.01.03 «Информационные системы космических аппаратов и центров
управления полётами»
код и наименование программы

Научный руководитель	_____	д-р техн. наук, проф., профессор МБК ПФКТ	Ю. М. Князькин
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		В. И. Зюзина
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Рецензент	_____	Инженер программист 1 категории	Н. А. Космынина
	подпись, дата	должность, ученая степень	инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		Е.С. Сидорова
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2016

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий
институт

Межинститутская базовая кафедра
«Прикладная физика и космические технологии»
кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой
 В.Е. Косенко
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2016 г.

ЗАДАНИЕ
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ
в форме магистерской диссертации

Студенту Зюзиной Василине Игоревне

Группа КИ 14-04-3М Направление (специальность) 09.04.01.03
«Информационные системы космических аппаратов и центров управления полетами»

Тема выпускной квалификационной работы «Разработка методики по выбору метода управления космическим аппаратом на этапе проектирования»

Утверждена приказом по университету от _____ № _____

Руководитель ВКР: Юрий Михайлович Князькин, профессор межинститутской базовой кафедры «Прикладная физика и космические технологии» (далее МБК ПФКТ) д-р техн. наук, профессор МБК ПФКТ СФУ.

Перечень рассматриваемых вопросов (разделов ВКР) Исследование предметной области, разработка методики по выбору метода управления космическим аппаратом на базе продукционных экспертных систем, апробация методики на примере уже эксплуатируемого КА.

Перечень графического или иллюстративного материала с указанием основных чертежей, плакатов: слайды презентации в количестве 18штук.

Руководитель ВКР _____ Ю. М. Князькин
подпись

Задание принял к исполнению _____ В. И. Зюзина
подпись

« _____ » _____ 201__ г.

РЕФЕРАТ

Магистерская диссертация по теме «Разработка методики по выбору метода управления космическим аппаратом на этапе проектирования» содержит 83 страниц текстового документа и 46 использованных источников.

ПРОЦЕСС УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ, МЕТОД УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМ АППАРАТОМ, ПРОДУКЦИОННАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА

Целью работы является Разработка методики по выбору метода управления космическим аппаратом на этапе проектирования, учитывающей все сложности процесса управления.

Основные задачи:

- 1 Проанализировать существующие методы управления КА.
- 2 Определить исходные параметры для создания методики по выбору метода управления КА.
- 3 Разработать методику по выбору метода управления КА на этапе проектирования.
- 4 Апробировать методику на примере анализа процесса управления одного из эксплуатируемых КА.

В результате использования предложенной методики по выбору метода управления космическим аппаратом уже на этапе проектирования будут учитываться все сложности процесса управления разрабатываемым КА.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	7
1 Методы управления космическим аппаратом.....	10
1.1 Анализ развития управления космическим аппаратом.....	10
1.2 Процесс управления космическим аппаратом	19
1.2.1 Цель процесса управления.....	19
1.2.2 Задачи процесса управления.....	20
1.2.3 Функции процесса управления.....	21
1.2.4 Контурсы процесса управления.....	22
1.2.5 Модель процесса управления.....	26
1.3 Методы управления космическим аппаратом.....	29
1.3.1 Командный метод управления.....	29
1.3.2 Программный метод управления.....	30
1.3.3 Командно-программный метод управления.....	32
1.3.4 Программно-временной метод управления	33
1.3.5 Автономный метод управления.....	35
1.3.6 Координатный метод управления.....	37
1.3.7 Координатно-временной метод управления.....	39
1.3.8 Координатно-программный метод управления.....	40
1.3.9 Сопоставление методов управления.....	41
1.4 Постановка задачи исследования.....	42
1.5 Выводы по главе 1.....	44
2 Формирование модели выбора метода управления космическим аппаратом.....	45
2.1 Формирование поля знаний.....	45
2.2 Составление модели выбора метода управления космическим аппаратом.....	46
2.2.1 Значения выходного параметра.....	46
2.2.2 Выдвижение промежуточных гипотез.....	47

2.2.3	Определение исходных параметров.....	53
2.2.4	Модель экспертной системы.....	56
2.3	Составление методики по выбору метода управления космическим аппаратом.....	57
2.4	Выводы по главе 2.....	59
3	Апробация методики по выбору метода управления космическим аппаратом.....	60
3.1	Космический аппарат спутниковой системы «Гонец-Д1М».....	60
3.1.1	Назначение космического аппарата спутниковой системы «Гонец-Д1М».....	60
3.1.2	Цель космического аппарата спутниковой системы «Гонец-Д1М».....	61
3.1.3	Состав спутниковой системы «Гонец-Д1М».....	62
3.2	Апробация методики на примере космического аппарата спутниковой системы «Гонец – Д1М».....	67
3.2.1	Подготовка к апробации методики.....	67
3.2.2	Апробация на примере космического аппарата спутниковой системы «Гонец-Д1М».....	71
3.3	Сравнительный анализ.....	72
3.4	Выводы по главе 3.....	73
	Заключение.....	74
	Список сокращений.....	76
	Список использованных источников.....	78

ВВЕДЕНИЕ

Современный космический аппарат (КА) - это дорогостоящая, сложная и многофункциональная система, удалённая от Земли на значительное расстояние и работающая в сложной внешней среде. Без должного контроля и разумного вмешательства в работу его систем со стороны наземной инфраструктуры управления КА может прекратить своё существование. Операции контроля и выдачи в бортовые системы любых управляющих воздействий являются основными операциями управления, как процесса, направленного на обеспечение работоспособности КА.

Управление КА в полёте – процесс поддержания их в работоспособном состоянии с момента запуска на орбиту и на протяжении всего срока активного существования. Процесс управления КА происходит благодаря реализации полётных операций, которые включают в себя подготовку наземной инфраструктуры системы управления, получение информации с бортовой аппаратуры (БА) КА, оценку состояния БА и полёта КА и принятие решения по управлению.

По мере разработки и эксплуатации новых, более совершенных образцов космических аппаратов совершенствуются и технологии их управления. Вместо первых спутников простейшей конструкции появились современные космические аппараты, представляющие собой сложные электронно-механические устройства. Помимо этого, был значительно увеличен срок активного существования КА (для первых КА - не более года, для КА, разрабатываемых в настоящее время - 15-20 лет), что дополнительно усложняет процесс управления.

В настоящее время с каждым новым выпускаемым КА процесс управления ещё усложняется за счёт следующих факторов:

- большое количество КА в спутниковой системе («ГЛОНАСС», «Гонец-Д1М»);
- выполнение большого количества целевых задач;

- ужесточение требований по надёжности КА;
- короткие зоны радиовидимости КА;
- усложнение логики функционирования КА;
- ограничение средств наземного комплекса управления.

Сейчас для каждого вновь разрабатываемого КА метод управления выбирается и корректируется на основе эмпирического опыта. Такой подход может не учитывать все сложности процесса управления разрабатываемым КА при выборе метода управления КА на этапе проектирования.

Этим и была определена цель работы – разработать методику по выбору метода управления КА на этапе проектирования, которая бы учитывала все сложности процесса управления вновь разрабатываемого КА.

Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

- 1 Проанализировать существующие методы управления КА.
- 2 Определить исходные параметры для создания методики по выбору метода управления КА на этапе проектирования.
- 3 Разработать методику по выбору метода управления КА на этапе проектирования.
- 4 Апробировать методику на примере анализа процесса управления одного из эксплуатируемых КА.

При этом основное внимание уделено методам управления КА, которые используются на предприятии Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва.

Объектом исследования данной ВКР является процесс управления КА.

Предмет исследования – метод управления КА.

ВКР состоит из трёх глав, заключения, списка сокращений и списка используемой литературы.

В первой главе осуществляется анализ предметной области. Проведён анализ развития управления КА. Приведены материалы по процессу и методам управления КА. Систематизированы знания и классифицированы методы управления КА. Проведён анализ эмпирического выбора метода

управления КА, выявлены недостатки, поставлены цель и задачи исследования.

Вторая глава посвящена формированию поля знаний об особенностях выбора метода управления КА на этапе проектирования. Разработана модель продукционной экспертной системы и сформирована методика по выбору метода управления КА на этапе проектирования.

Третья глава описывает спутниковую систему «Гонец-Д1М», методы управления КА, которые используются для управления данной системой. Проведён выбор метода управления для КА спутниковой системы «Гонец-Д1М» по разработанной методике. На основе сравнительного анализа эксплуатируемых методов управления, а также методов управления, полученных поразработанной методике, показана эффективность применения данной методике.

В заключении обобщены результаты работы.

В библиографическом списке представлены первоисточники, использованные в ходе проведённых исследований.

Общий объём ВКР составляет 83 страницы, 25 эскизов, 4 таблицы, 46 первоисточников.

1 Методы управления космическим аппаратом

1.1 Анализ развития управления космическим аппаратом

Началом освоения космического пространства считается 1957 год. В течение первых 10 -15 лет освоения космического пространства технология управления космическими аппаратами в основном была направлена на решение испытательных и экспериментальных задач, отработки принципов построения КА и управления ими в полёте.

Учитывая невысокую сложность КА, отсутствие на борту сложных элементов автоматики и вычислительной техники все требования по управлению сводились к выключению, переключению и отключению комплектов бортовой аппаратуры (БА), а также к простейшему контролю выполнения операций управления[1].

По мере развития КА, их стали чаще использовать для решения народно-хозяйственных задач и задач военного назначения. Со стороны Потребителя стали предъявляться требования и к технологии управления КА. Это стали учитывать при формировании требований по качеству и эксплуатационной надёжности выполнения КА целевых задач, что было эквивалентно требованиям по совершенствованию технологии управления и функционирования КА на орбите.

Этот этап характеризуется применением не автоматизированной технологии управления в реальном масштабе времени только в зоне радиовидимости КА наземных командно-измерительных пунктов (КИП). В зависимости от типа орбит КА могли находиться в зоне радиовидимости от 20 минут, для КА на круговых орбитах, высотой до 2000км., для более высоких орбит длительности зон радиовидимости могли быть и больше, но это были единичные аппараты, как правило, предназначенные для научных целей [2].

Малое время нахождения низколетящих КА в зоне радиовидимости привело к строительству на территории нашей страны большого количества

наземных КИП, основным условием выбора места их строительства было их расположения по трассе полёта КА с целью обеспечения максимального времени связи с аппаратом при полёте его над территорией страны.

Вторым, не менее важным требованием по местоположению КИПов, было обеспечение максимального времени контроля за полётом ракет-носителей, запускаемых с космодромов «Капустин Яр», «Байконур», «Плесецк».

В начале семидесятых годов в развитии космонавтики закончился этап исследовательских и экспериментальных работ и начался переход к практическому использованию космических аппаратов в народнохозяйственной сфере.

В итоге это привело к тому, что вся территория страны покрылась сетью региональных КИПов, связанных между собой телефонными, телеграфными и другими каналами связи и передачи информации. В это же время определились несколько центров управления полётом (ЦУП), задачей которых явилась координация работы региональных КИПов и организация централизованного управления КА в полёте [2].

Технология управления КА была, по сравнению с современной, предельно проста. В очередном сеансе оценивалось техническое состояние аппарата и при необходимости принималось решение о выдаче на борт радиокоманд. На следующем витке запланированные команды выдавались на спутник. Контроль их исполнения в бортовой аппаратуре оценивался на последующем витке. Такая технология управления космическими аппаратами сохранилась и по сей день и используется на отдельных аппаратах оборонного назначения. Хотя современные средства управления могут обеспечить управление низколетящими спутниками в режиме реального времени даже в условиях малой длительности нахождения их в зоне радиовидимости наземных пунктов управления.

Наземный контур управления для первого этапа в основном базировался на технологии управления ракет-носителей (РН) и полигонных средств

обеспечения запуска КА. Данная технология предусматривала установку на борту передатчика-ответчика, устройства приёма команд управления и передачи телеметрической информации о состоянии бортовой аппаратуры. В целом принципы и средства управления создавались под конкретный КА или их вид, т.е. в создании наземного комплекса управления (НКУ) был приоритет борта. Вопросы унификации принципов управления отодвигались на второй план. Возможности решения целевых задач полностью зависели от возможностей НКУ.

1964 – 1974 года связаны с освоением высокоэллиптической орбиты (ВЭО). Первый спутник не вышел на заданную орбиту, ракета-носитель второго не вывела его на заданную орбиту. Только третий спутник «Молния - 1» был успешно выведен на орбиту [2].

Управление аппаратами «Молния - 1», находящимися на ВЭО проводилось из Центра управления, расположенного в Москве в Центре вещания российских ТВ программ (Шаболовка-37). В технологии управления и оценки технического состояния отсутствовала какая либо автоматизация. Команды управления передавались на наземные пункты управления по громкоговорящей связи. По этой же связи с наземного пункта передавалось состояние бортовых телеметрических параметров, по которым оценивалось исполнение команд на борту спутника в реальном масштабе времени. Причём длительность зоны радиовидимости спутника наземными средствами управления составляла до 8 часов на витке.

Эксплуатация спутников «Молния - 1» выявили необходимость внедрения принципа управления спутниками в реальном масштабе времени. Этот принцип использовался и используется в настоящее время практически на всех современных космических аппаратах.

В 1974 – 1981 года знаменуются началом освоения геостационарной орбиты (ГСО). Начало этапа определяется запуском на данную орбиту спутника «Молния - 1» (1974г.) и спутников «Радуга» (1975г.), «Экран» (1976г.) и «Горизонт» (1978г.) [2].

Данный этап характеризуется началом решения задач унификации наземных и бортовых комплексов управления (БКУ).

Предпосылками унификации явилось то, что при проектировании целого ряда КА стали использовать унифицированную базовую модель. Это позволило резко сократить сроки разработки отдельных КА, что в свою очередь стало толчком к разработке на основе базовой модели различных типов (видов) КА, способных с высокой надёжностью выполнять поставленные перед ними задачи целевого назначения.

Необходимость принципов унификации принципов управления вытекала и из экономических предпосылок. Затраты на разработку и эксплуатацию вновь создаваемых КА унифицированного ряда стали значительно меньше.

Унификация принципов управления создала предпосылки для стандартизации бортовой и наземной аппаратуры управления [1].

Принципы управления, разработанные на этом этапе легли в основу создания КА нового унифицированного ряда, использующих в своём составе бортовую цифровую вычислительную машину (БЦВМ). В это же время закладывались и основы автоматизации управления.

Внедрение элементов автоматизации в процесс управления происходило двумя путями [4].

Первый путь – автоматизация процесса управления в составе НКУ. Это потребовало его дооснащение современными вычислительными средствами, позволяющими решать задачи автоматизированной обработки поступающей информации, задачи планирования, расчёта, подготовки и проведения сеансов связи с КА, решения баллистических задач и др.

Второй путь – разработка и развитие контура автономного управления в составе бортовой аппаратуры КА. Необходимость развития и совершенствования данного направления связано с требованиями эксплуатации и экономическими соображениями. Ещё одной причиной было количество КА, одновременно находящихся в составе орбитальной группировки, которое постоянно увеличивалось при почти неизменном составе наземных средств

управления. Увеличение состава орбитальной группировки привело к снижению пропускной способности НКУ.

Невозможность создания глобального НКУ привело к решению использования в составе автономного контура принципа управления по временным программам.

Во второй период завершилось формирование наземного автоматизированного контура управления (НАКУ) как системы массового обслуживания, рассчитанного на любые типы КА. В состав НАКУ, кроме НКУ, входят такие системы, как баллистические центры, кванто-оптические средства, расположенные на отдельных командно-измерительных комплексах (КИК) НКУ, оптические и радиолокационные станции наблюдения за космическим пространством и др.

Управление КА, основанное на алгоритме «анализ – принятие решения – формирование и передача на борт командно-программных массивов (КПМ) – контроль исполнения», с некоторыми признаками автоматизации, касающимися в основном обработки телеметрической информации, планирования и формирования массивов командно-программной информации (КПИ), на данном этапе было преобладающим [4].

На этом этапе создаётся и внедряется наземное программно-математическое обеспечение, позволяющее в определённой степени автоматизировать процесс оценки телеметрической информации, а также в эксплуатационную документацию по управлению КА в полёте вводят технологические циклы управления, представляющие собой законченную процедуру управления.

Под процедурой управления понимают, комплекс взаимосвязанных в определённом порядке управленческих операций и документов, направленных на достижение фиксированной цели.

Процедура должна отражать цель работы, используемые и разрабатываемые документы, их содержание и порядок прохождения.

Эти нововведения в дальнейшем и определили направления

автоматизации процесса управления и оценки технического состояния аппаратов в полёте.

Этап 1982-1993годы предопределил развитие нового направления в конструировании спутников, а именно – направление конструирования спутников с БЦВМ на борту. 18мая 1982 года был запущен первый спутник серии «Гейзер» с бортовой вычислительной машиной. Действительно всё было новое: массивы КПИ и отчёты БЦВМ, но самое главное – специалисты по управлению получили инструмент, позволяющий изменять логику функционирования бортовой аппаратуры. Это в определённой степени позволило программными способами решать задачи управления в нештатных ситуациях.

В этот период возрастает роль Потребителя в проектировании, построения и поддержания работоспособности космических систем, появляются специфические требования к НКУ и требования по обеспечению оперативного глобального информационного взаимодействия бортовых и наземных радиотехнических комплексов связи, навигации, телевидения и радиовещания [2].

Существующим НАКУ обеспечить оперативность и глобальность взаимодействия не представлялось возможным, а без этого целевое применение многих космических систем в принципе невозможно.

Для решения задач оперативности и глобальности управления начали создавать тракты автоматизированного информационного обмена Потребителя с ЦУПом, но на существующих комплексах взаимодействия решить данную задачу очень трудно. Поэтому в конце 80-х годов была предложена новая концепция управления КА.

В основу концепции был положен принцип разделения задач управления между тремя самостоятельными контурами управления [2].

Первый контур – контур автономного управления (КАУ), организуемый в составе бортовой аппаратуры, бортового контура управления и бортового программного обеспечения (БА – БКУ - БПО) КА.

Второй контур – контур оперативного управления (КОУ), организуемый в составе бортового радиотехнического комплекса и наземного связного комплекса (БРТК - НСК).

Третий контур – контур технологического управления (КТУ), организуемый в составе наземного комплекса управления и бортового комплекса управления (НКУ - БКУ).

Запуск аппарата с вычислительной машиной на борту заставил по-новому переосмыслить задачи ЦУПа и ввести в его состав специальное наземное программное обеспечение, позволяющее формировать и закладывать на борт КА специальные программы, обеспечивающие нормальное его функционирование при возникновении различного рода отказов или неисправностей. Здесь уже не было и речи о выдаче на борт КА команд управления, а тем более массивов КПИ в ручном режиме. Хотя, для подстраховки, режим выдачи команд в «ручном» режиме сохранён.

В 1989 году, с запуском КА «Радуга-1», на орбите в составе Единой спутниковой системы связи (ЕССС) начинают работать модернизированные космические аппараты, эксплуатация которых требовала применения не традиционных способов управления в режиме выдачи на борт большого количества команд за ограниченное время. Для решения данной задачи на КИПах НКУ был установлен и успешно использовался программный комплекс «Кольцо-АК». Использование программного комплекса «Кольцо-АК» в целом предопределило основные принципы автоматизации процесса выдачи на борт КА команд управления.

В этот же период на отдельных предприятиях, изготавливающих спутники, принимают решения по созданию на предприятиях прообраза центра управления полётом космических аппаратов народно-хозяйственного назначения (гражданских ЦУП) или информационно-вычислительных комплексов. Их основной функцией был приём и обработка телеметрической информации по различным КА с КИПов в режиме распараллеливания. Это решение в дальнейшем предопределило создание на предприятиях центров

мониторинга космических аппаратов навигации и связи.

Этап 1994-1999 годов предопределил создание и развитие на отдельных предприятиях космической промышленности инфраструктуры собственного Центра управления полётами с собственной наземной командно-измерительной станции (НКИС), позволяющей осуществлять как приём телеметрической информации со спутников, так и выдачу на борт КПИ в интересах управления спутником в полёте. Кроме перечисленных выше функций создаваемые ЦУПы могли проводить и траекторные измерения. Это позволяло в полной мере как управлять полётом спутников коммерческого назначения, так и при возникновении на аппаратах, переданных в ЦУПы заказчика, неисправностей или отказов, проводить на них ремонтно-восстановительные работы, принимая такие спутники на временное управление.

В этот период в архитектуру средств управления активно внедрялись персональные электронно-вычислительные машины (ЭВМ). Инструмент по управлению и анализу технического состояния был разработан для испытаний спутников на заводе-изготовителе, но хорошо подошёл и для управления КА в полёте. Основные принципы построения наземной аппаратуры, а также программный язык, используемый для написания процедур управления, легли в основу создания перспективных наземных программных комплексов. К тому же вместо традиционных наземных информационных каналов обмена стали использовать космические каналы связи, так называемые станции космической связи – СКС. Решения, принятые в тот момент, легли в основу организации процесса управления перспективных аппаратов, таких как «Экспресс-А», «Sesat», «Экспресс-АМ», а также аппаратов, изготавливаемых для Минобороны РФ [2].

Кроме технических решений, принятых для организации процесса управления, в отделе управления была создана и подготовлена группа специалистов, способных самостоятельно работать на аппаратно-программных комплексах Центра управления полётами.

2000-2010 годы считаются этапом выхода на международный рынок.

Этот этап характерен тем, что предприятие впервые в стране полноценно выходит на международный рынок. Начало этому положил контракт на создание спутника связи «Sesat» для европейской компании «Eutelsat». В этот период происходит знакомство с технологией управления иностранных спутников и с документацией по их управлению в полёте. По требованию иностранных заказчиков созданы динамические программные имитаторы спутников [2].

Данный имитатор представляет из себя программную модель космического аппарата, которая генерирует поток телеметрической информации в масштабе реального времени, аналогичный потоку ТМ-информации с реального КА и реагирует на все команды управления точно также, как и реальный аппарат.

Программный имитатор предназначен для обучения операторов, отработки средств ЦУПа и для проверки и отработки эксплуатационной документации.

Пока оператор не освоит управление спутником с помощью имитатора, его к работе с реальным аппаратом не допускают. И не происходит запуск реального аппарата, пока все средства ЦУПа не проверят и не отработают на имитаторе.

Это нововведение прижилось, и все отечественные заказчики тоже стали в контрактах требовать создание имитатора спутников.

В настоящее время в программные системы управления добавлена возможность выполнения отдельных процедур управления в автоматическом режиме, в заранее указанное время (например, проведения сеансов ИТНП). Тем не менее весь процесс управления проводится под контролем оператора.

1.2 Процесс управления космическим аппаратом

1.2.1 Цель процесса управления

Для того чтобы обеспечить выполнение поставленной цели, необходимо отслеживать состояние параметров БА КА и своевременно управляться ими.

Таким образом, процесс управления КА можно охарактеризовать как процесс управления параметрами состояния КА направленный на достижение цели полёта.

Целью процесса управления является последовательное изменение одних и поддержание в определённых пределах других параметров состояния КА.

К числу характеристик состояния КА обычно относят [4]:

- параметры состояния бортовых систем;
- параметры состояния элементов конструкции, определяемые степенью износа, целостности, значениями приобретённых деформаций, герметичностью замкнутых объёмов;
- параметры эксплуатации (температурный режим, уровни радиации и др.);
- ресурсные параметры КА, претерпевающие изменения в процессе полёта;
- параметры движения в инерциальном пространстве центра масс КА на текущий и любой наперёд заданный момент времени;
- параметры углового движения КА, определяемые задачами ориентации и стабилизации его осей относительно базовой системы отсчёта;
- комплексные параметры (целевые функции) степени выполнения задач полёта на фиксированный момент времени.

Целенаправленное изменение состояния КА может быть обеспечено только путём формирования и подачи на исполнительные органы бортовых систем управляющих воздействий.

Следует иметь в виду, что изменение состояния КА в ходе полёта происходит не только в результате целенаправленных управляющих

воздействий (УВ) с Земли по командной радиолинии, но и под влиянием внешних факторов.

1.2.2 Задачи процесса управления

Управление полётом должно выполняться с учётом фактически действующих и ожидаемых возмущений, вероятность прогнозируемого появления которых достаточно высока.

При управлении полётом, необходимо решать следующие задачи [4]:

1 Обеспечение надёжного выполнения последовательности смены состояний КА, требуемой для достижения цели полёта.

2 Обеспечение движения КА по требуемой орбите.

3 Поддержание работоспособности систем и конструкции КА в целом.

4 Обеспечение выполнения целевой (например, научно-исследовательской или прикладной) программы.

5 Обнаружение и парирование аномальных ситуаций, препятствующих решению перечисленных задач, ликвидация их последствий.

6 Контроль текущей работоспособности бортовых систем КА и возможности выполнения ими поставленной целевой задачи.

7 Планирование полёта на следующий период времени, включая выбор состава и типа возможных режимов функционирования систем и аппаратуры с привязкой к определённому интервалу времени либо к точке орбиты, либо к интервалу трассы.

8 Подготовку исходных данных на создание управляющих воздействий (команд и программ управления), определяющих режимы функционирования бортовых систем и аппаратуры в соответствии с планом.

9 Разработку и выдачу на борт КА команд и программ управления, необходимых для выполнения разработанного плана.

10 Навигационное обеспечение полёта, предназначенное для определения текущих и прогнозируемых параметров движения.

11 Контроль бортового времени, привязка его к системе единого времени и учёт при планировании работы бортовых систем КА и разработке управляющих воздействий.

1.2.3 Функции процесса управления

Основные компоненты процесса управления полетом любого типа КА осуществляются в результате выполнения системой управления полетом ряда функций, состав и особенности реализации которых для любой конфигурации контура управления и сформированного плана полета представлены ниже [22].

- 1 Коррекция плана полёта и оперативное планирование.
- 2 Навигационные измерения и баллистические расчеты.
- 3 Выдача на бортовые исполнительные системы аппарата управляющих воздействий. Управляющие воздействия можно классифицировать как «срочные» (для оперативной реализации решения), «несрочные» (исполняемые в любой удобный момент в течение определенного времени), с точно заданным временем (например, команды включения двигателя при маневре и т.д.) и последовательная выдача на бортовые системы управляющих воздействий в типовых полетных операциях.
- 4 Контроль параметров состояния аппарата.
- 5 Обнаружение и идентификация нештатных ситуаций в процессе контроля состояния.
- 6 Оценка полета, выработка и принятие решений по дальнейшему его выполнению.
- 7 Реагирование на обнаруженные нештатные ситуации.

1.2.4 Контурь процесса управления

Опыт эксплуатации КА показывает [22-32], что эффективное управление их полётом наилучшим образом обеспечивается системой из двух контуров, каждый из которых может выполнять все функции или их значительную часть.

Первый контур – наземный комплекс управления (НКУ), состоящий из центра управления полётом (ЦУП), наземной станции командно-измерительной системы (НС КИС) и системы связи передачи данных (ССПД), представлен на рисунке 1.2.1. ЦУП обеспечивает решение следующих задач [22, 23, 31, 32]:

- управление в период лётной эксплуатации в штатных и аварийных ситуациях;
- долговременное и оперативное планирование работы систем КА и НКУ;
- автоматизированная подготовка исходных данных для принятия решений по управлению КА средствами НКУ;
- автоматизированный расчёт, формирование, регистрация, документирование и выдача команд и программ управления бортовой аппаратурой;
- автоматизированный сбор, хранение, регистрация, обработка, документирование и воспроизведение телеметрической и траекторной информации;
- автоматизированный анализ и отображение состояния бортовой аппаратуры КА;
- определение параметров орбиты КА для прогнозирования движения и коррекции орбиты, определение и выдача исходных данных для расчета зоны радиовидимости (ЗРВ);
- расчет целеуказаний для наведения антенны наземных станций КИС;
- планирование и координация проведения работ по управлению КА;
- решение задач баллистического обеспечения управления КА;

- автоматизированное взаимодействие с НС КИС.

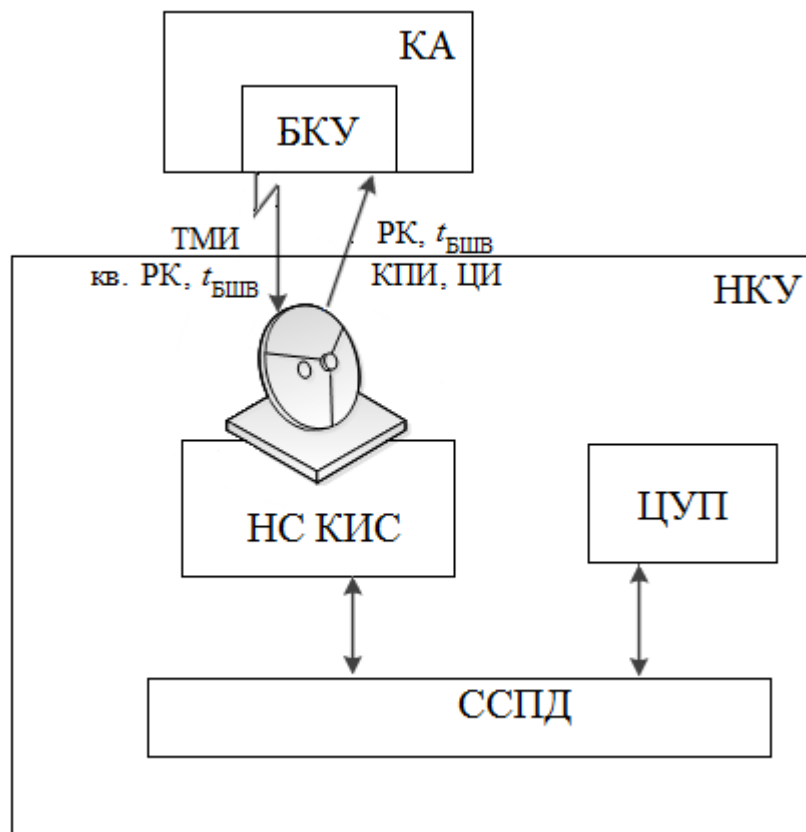


Рисунок 1.2.1 – Схема управления КА

НС КИС предназначена для решения следующих задач:

- управление КА;
- взаимодействие с бортовой аппаратурой (БА) КИС;
- приём из ЦУП по ССПД технологической, командно-программной информации (КПИ) и начальных условий (НУ);
- расчёт целеуказаний (ЦУ) по НУ, получаемым из ЦУП по ССПД;
- автосопровождение КА по ЦУ;
- приём с КА телеметрической информации (ТМИ), её расшифровывание и передача в ЦУП;
- шифрование и передача на КА радиокоманд (РК) и массивов КПИ, полученных из ЦУП;

- проведение измерения текущих навигационных параметров (ИТНП) (угловых измерений и дальности), выдача результатов измерений в ЦУП;
- формирование и привязка местной шкалы времени НС КИС к единому времени по сигналам приёмников;
- формирование информации функционального контроля (ИФК) НС КИС, и передача её в ЦУП;
- отображение и документирование всех видов информации.

ССПД обеспечивает защищённую связь между составными частями НКУ, а также между ЦУП и внешними абонентами.

Второй контур – бортовой комплекс управления, включающий в себя «интеллектуальную» часть в виде БЦВМ и исполнительную – в виде приборов, преобразующих выходные сигналы БЦВМ в управляющие воздействия необходимого вида.

Бортовой комплекс управления является ядром модуля служебных систем КА и должен обеспечивать [24-26]:

1 управляющую среду для реализации задач контуров управления бортовых систем КА;

2 организацию автономного контура управления КА;

Зинформационно-логическое взаимодействие с внешним контуром управления КА.

В состав БКУ, представленный на рисунке 1.2.2, входит следующая аппаратура [24]:

- КИС – командно-измерительная система для решения задач по взаимодействию с наземным комплексом управления (НКУ), а также для приема и ретрансляции сигнала измерения дальности. Она состоит из высокочастотного приёмопередающего блока (командной радиолинии) и низкочастотного блока, содержащего дешифраторы радиоконанд, программно-временные устройства, задающий генератор и аппаратуру защиты от несанкционированного доступа в контр управления. На случай отказа основных комплектов предусмотрена автономная схема переключения на резервные

комплекты в случае длительного (более суток) непрохождения радиокоманд.

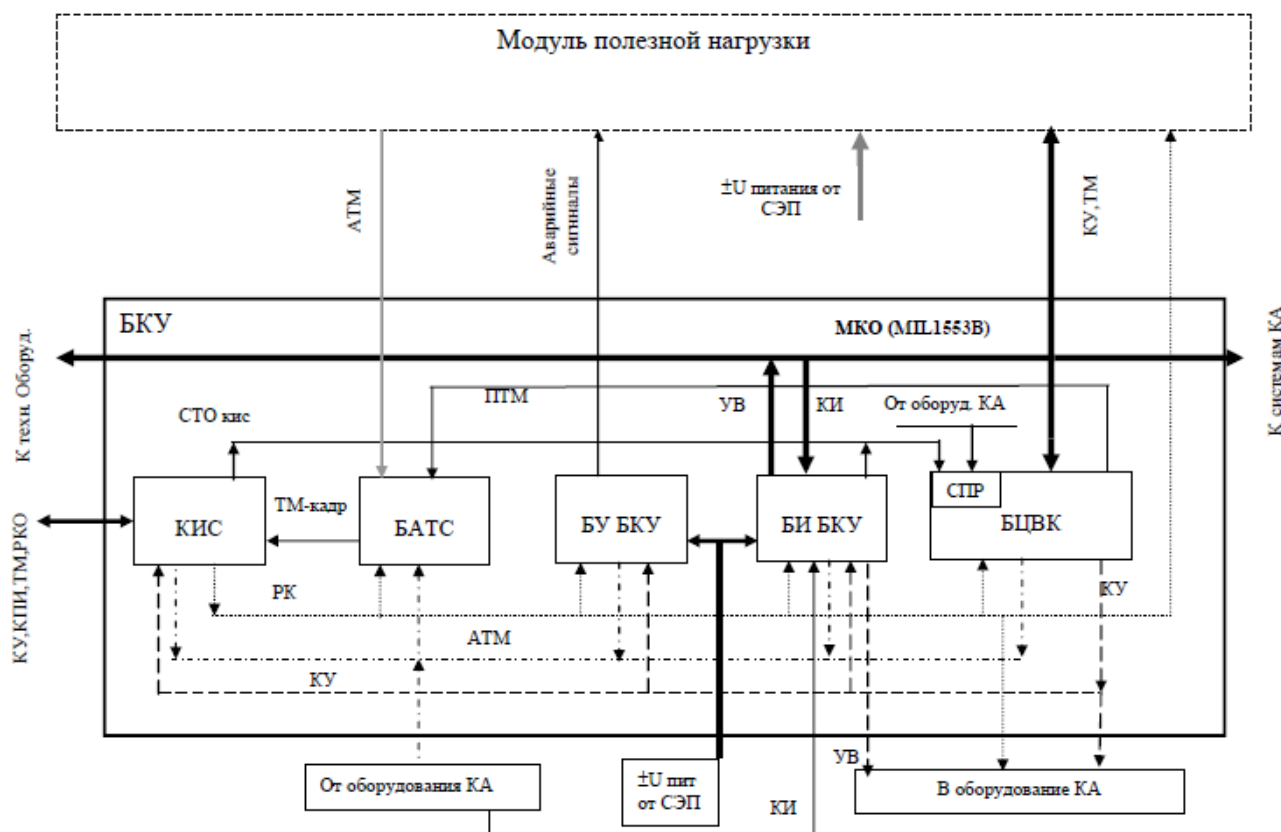


Рисунок 1.2.2 – Структурная схема БКУ

- БАТС – бортовая аппаратура телесигнализации для сбора и формирования телеметрической информации для выдачи по запросу в бортовой компьютер (БЦВК) и для выдачи во внешний контур управления.

- БЦВК – бортовой цифровой вычислительный комплекс, бортовой компьютер. Он состоит из многопроцессорной БЦВМ, формирователя бортовой шкалы времени и приборных интерфейсов связи БЦВМ с бортовой аппаратурой. Информационный, телеметрический и командный обмен между БЦВК и остальными приборами, входящими в состав БКУ и других систем, осуществляется по мультиплексному каналу обмена с помощью встроенных в каждый прибор стандартных контроллеров обмена.

Применение БЦВК упрощает построение блоков управления бортовых систем КА с сохранением за ними элементарных коммутационно-логических

функций, что создаёт условия для их объединения в общий блок – БУ БКУ.

В процессе функционирования КА БЦВК обеспечивает централизованное программное управление КА, формируемое по исходным данным НКУ и результатам автономной диагностики состояния бортовой аппаратуры на основании телеметрической информации. Автономная диагностика состояния КА в БЦВК позволяет сократить объём передаваемой НКУ информации до минимального уровня в виде кратких отчётов.

- БУ БКУ – блок управления для решения коммутационно-логических задач, распределяя цепи питания бортовой аппаратуры, их токовую защиту и реализуя логику управления особыми событиями на КА: «Контакт отделения», «Отключение нагрузки», «Потеря ориентации на Солнце», «Режим автономной солнечной ориентации».

- БИ БКУ – дополнительный блок интерфейсный для обеспечения связи между элементами БКУ и блоками управления напряжением.

Совокупность всех элементов двух контуров образуют замкнутый контур дистанционного управления КА.

1.2.5 Модель процесса управления

Управление группой однотипных спутников осуществляется из единого НКУ, оснащённого соответствующим набором средств, которые обеспечивают последовательно-параллельную работу с каждым КА.

Для управления КА различного целевого назначения используются различные типы НКУ, отличающиеся ведомственной принадлежностью (военной или гражданской), типом КА и используемыми орбитами.

Управляющие воздействия (радиокоманды (РК)) и закладываемая информация (командно-программная информация (КПИ) и цифровая информация (ЦИ)) формируются в ЦУП. По линиям ССПД передаётся в НС КИС, и далее из центральной станции поступают на антенную систему и передаются на КА. На КА информация принимается антенной системой и

передаётся в БКУ. Далее БЦВМ производит все необходимые действия и получает ответ от аппаратуры КА. Ответ в виде ТМИ или кв. РК передаётся на антенную систему и далее на Землю. На Земле ТМИ или кв. РК принимается антенной системой. Затем предаётся в соответствующие центры (например, центр сбора телеметрической информации или баллистический центр) и после обработки передаётся в ЦУП [28, 29].

Любой процесс обычно описывается с помощью UML-модели, а именно диаграммы активности.

UML — это унифицированный язык моделирования, то есть язык графического описания абстрактной модели системы. Создан для определения, визуализации, проектирования и документирования, в основном, программных систем. UML не является языком программирования, но на основании UML-моделей возможна генерация кода. Одной из разновидностей UML-модели является диаграмма активности (англ. activitydiagram). Диаграмма активности — это диаграмма, на которой показано разложение некоторой деятельности на её составные части. Под деятельностью понимается спецификация исполняемого поведения в виде координированного последовательного и параллельного выполнения подчинённых элементов — вложенных видов деятельности и отдельных действий, соединённых между собой потоками, которые идут от выходов одного узла ко входам другого.

Для большей наглядности далее приведена UML-модель процесса управления КА в виде диаграммы активности, представленной на рисунке 1.2.3.

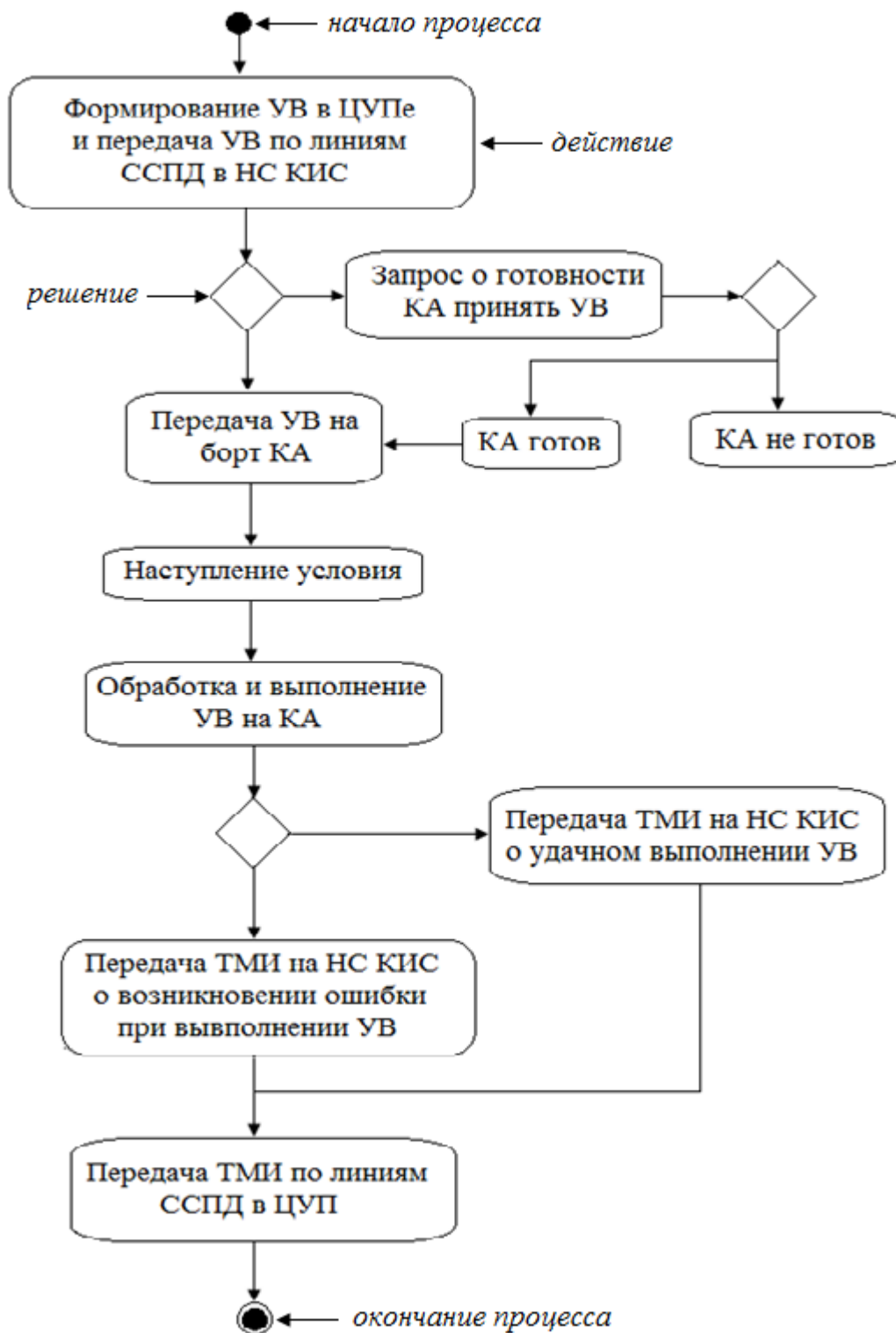


Рисунок 1.2.3 – UML-модель процесса управления в виде диаграммы активности

1.3 Методы управления космическим аппаратом

В каждом из контуров управления (которые описаны в предыдущем параграфе) существует свой источник управляющих воздействий (УВ). В связи с этим можно выделить две группы методов управления, представленные на рисунке 1.3.1: для первой группы источником УВ является наземный комплекс управления (НКУ) (командный, программный, командно-программный), для второй группы источником УВ является бортовой комплекс управления (автономный, координатный, координатно-временной, координатно-программный, программно-временной)[45].

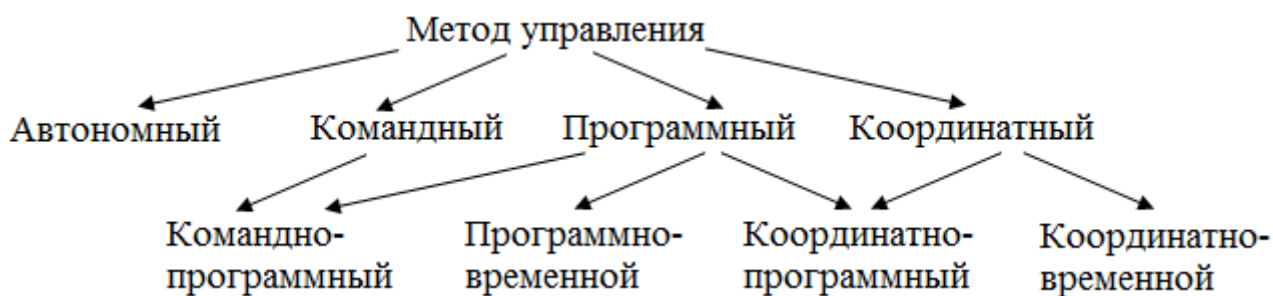


Рисунок 1.3.1 – Классификация существующих методов управления

1.3.1 Командный метод управления

Командный метод управления заключается в том, что каждая конкретная операция управления осуществляется только по командам от НКУ [1].

Практическая реализация данного метода требует наличия на момент реализации операций запросного и ответного каналов связи с КА.

Преимущество данного метода в том, что он является наиболее продуктивным для стационарных КА и КА, находящихся на высокоэллиптической орбите. Но есть и недостаток: он очень трудоёмкий, так как требует постоянного задействования средств и служб НКУ.

Примером является КА «Надежда», изображённый на рисунке 1.3.2 [6, 7, 45]. Этот КА разработала российская фирма Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва. Командный метод управления для данного КА используется для поддержания системы в работоспособном состоянии, реализуя для этого команды, полученные с НКУ. Этот аппарат находится на низкой круговой орбите (НКО) и используется для оповещения о бедствии Коспас-Сарсат (международная спутниковая поисково-спасательная система).

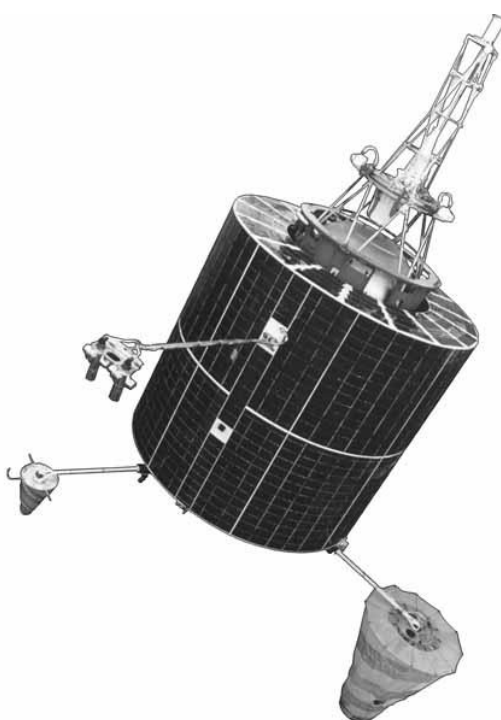


Рисунок 1.3.2 – Космический аппарат «Надежда»

1.3.2 Программный метод управления

Программный метод управления реализуется на борту космического аппарата с использованием программ, закладываемых с Земли [1], и выполняемых далее автономно.

При реализации данного метода есть свои преимущества: нет необходимости учитывать время и условия распространения радиоволн, состояние атмосферы, наличия помех, а также существенно снижается нагрузка НКУ. Однако метод имеет и недостатки, основным из которых является отсутствие на Земле полноценного контроля состояния бортовых систем КА в процессе выполнения отдельных команд заложенной программы управления. Это и приводит к необходимости создания в составе КА и наземных средств управления специальной системы «передачи-приёма» сигналов аварийного оповещения.

Программный метод управления на данный момент используется на спутниковой системе «ГЛОНАСС», показанной на рисунке 1.3.3 [8, 9, 45], разработанной Россией на предприятии Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва.

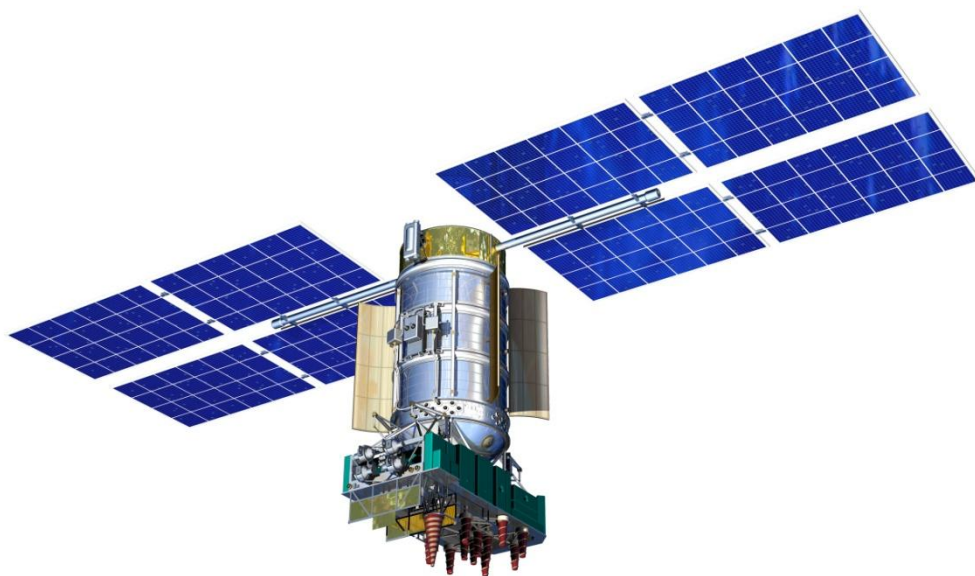


Рисунок 1.3.3 – Космический аппарат спутниковой системы «ГЛОНАСС»

Спутниковая система «ГЛОНАСС» используется на средней круговой орбите (СКО) для формирования непрерывного поля навигационных сигналов. Благодаря серии команд, заложенных в БКУ КА от НКУ, спутниковая система

высоко точно определяет координаты и скорости движения объектов, оснащенных специальными приемниками.

1.3.3 Командно-программный метод управления

Комбинированное управление или командно-программный метод управления совмещает функции рассмотренных командного и программного управления. Производится контроль отработки бортовой программы и оперативное вмешательство в процесс управления при отклонении его от требуемого [1].

Метод комбинирования управления имеет свои достоинства: существенно уменьшает объём информации, передаваемой по каналам связи, что значительно облегчает процесс управления и снижает загрузку средств НКУ. В связи с реализуемой гибкостью управления этот метод получил широкое распространение при проектировании и создании современных КА. Но у него есть и недостатки: из-за отсутствия на Земле полноценного контроля состояния бортовых систем КА в процессе выполнения отдельных команд заложенной программы управления, необходимо создавать канал «передачи-приёма» сигналов аварийного оповещения.

Комбинированный метод управления используется на спутниковой системе «MILSTAR», представленной на рисунке 1.3.4 [10, 11, 45]. Её разработчиком является США. Эта спутниковая система находится на ГСО и обеспечивает связью армию, флот и военно-воздушные силы США. Для данной спутниковой системы функции командного метода управления используются для поддержания системы в работоспособном состоянии, а функции программного метода необходимы для обеспечения связи.



Рисунок 1.3.4 – Космический аппарат спутниковой системы «MILSTAR»

1.3.4 Программно-временной метод управления

В рамках программно-временного метода управления обеспечивается отработка программ, во время которых подаётся УВ в определённый момент времени [3]. Расчёты времени выдачи разовых команд, временных и параметрических установок, исходных данных выполняются в НКУ. Результаты расчётов передаются на борт КА в виде рабочей программы, а все управляющие команды (сигналы) формируются в бортовом комплексе управления как заданная функция времени в соответствии с рабочей программой.

При данном методе управление всеми системами и приборами КА происходит по времени в соответствии с программой полёта и обработкой потока информации о реальном состоянии систем КА, рассчитываемых и задаваемых с Земли.

Программно-временное управление базировалось на двух положениях:

1 Определённые операции управления производятся над различными районами земного шара (в различных точках траектории полёта), то есть функционирование БА определяется положением КА.

2 На основании траекторных измерений с Земли можно на определённое время с достаточной степенью точности прогнозировать траекторию движения КА, то есть знать его положение во времени.

АСУ, реализующая программно-временной метод управления КА, включала в себя совокупность средств, находящихся как на борту КА, так и на Земле.

БКУ включал в себя командные устройства, устройства передачи информации на Землю, бортовые коммутационно-логические устройства и реализовывал задачи по управлению КА в соответствии с программой полёта.

НКУ осуществлял подготовку и передачу на борт КА РП для реализации её на определённом участке времени, передачу разовых команд и сверку бортового единого времени с наземным. Подготовка РП производилась в целях решения оперативных задач с учётом прогноза параметров движения центра масс КА, прогноза состояния КА, рассчитываемых в НКУ с учётом данных телеметрической информации и результатов сверки времени.

Функциональными задачами программно-временного управления являлись:

- 1 Приём, дешифрование и выдача после соответствующей логикой обработки на отдельные системы разовых команд.

- 2 Приём, дешифрование временных уставок для их последующего исполнения с необходимой временной задержкой.

- 3 Формирование, хранение и выдача на борт измерительной системы сигналов бортовой шкалы времени, с целью привязки результатов измерений к шкале единого времени.

- 4 Передача на Землю квитанций о правильности прохождения на борт разовых команд.

- 5 Выставка КА в орбитальной системе координат.

- 6 Осуществление режима коррекции орбиты и ориентации КА перед выдачей тормозного импульса.

- 7 Размножение трансляция и логическая обработка командной информации от всех командных устройств и команд взаимного управления от бортовых систем.

8 Распределение электрической энергии в соответствии с программой работы бортовых приборов и защита бортовой сети от перегрузки.

9 Получение и передача на Землю измерительной информации в процессе полёта КА.

Реализация этого метода управления на изделиях ранее осуществлялась с использованием простых электромеханических устройств. На современных изделиях данный метод реализуется программным способом с использованием БЦВМ. Это даёт преимущество данному методу: резкое расширение функциональных возможностей, то есть программы автономной работы могут дополняться фрагментами, формируемыми бортовым программным обеспечением. Однако, как и у большинства выше описанных методов, у него есть недостаток: нет возможности постоянного отслеживания с Земли состояния бортовой аппаратуры во время выполнения программ процесса управления.

Примером программно-временного метода управления может служить спутниковая система «Улисс», изображённая на рисунке 1.3.5, совместного производства Европы и США [12, 13, 45]. Система располагается в околосолнечном пространстве и предназначена для изучения Солнца и, в качестве дополнительной миссии, Юпитера. Для изучения Солнца данная система использует программы, заложенные от НКУ, и в определённый момент времени реализует эти программы.

1.3.5 Автономный метод управления

Автономный метод управления осуществляется с помощью БЦВМ, входящей в состав бортовой аппаратуры и выдающей определённую команду на основе анализа текущих условий, в соответствии с заложенной ранее логикой[4].

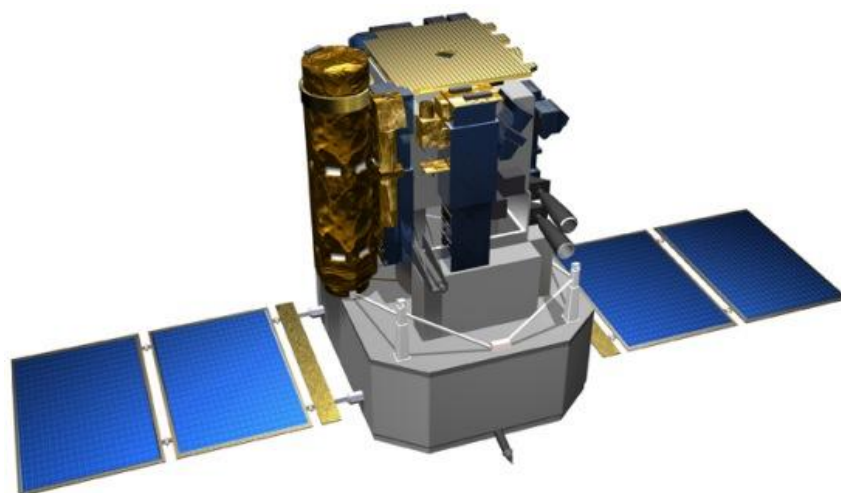


Рисунок 1.3.5 – Космический аппарат спутниковой системы «Улисс»

Наряду с БЦВМ для реализации автономного управления могут использоваться программно-временные или командно-временные устройства. Эти элементы автоматики представляют собой также счётно-решающие устройства, но, по сравнению с БЦВМ, несколько упрощённого типа.

Этот метод самый распространённый благодаря своему преимуществу: постоянная возможность и быстрота принятия решения по управлению за счёт того, что это всё происходит на борту КА. Однако, в этом и недостаток метода: сложность контролирования и изменения логики процесса управления с Земли.

Некоторые задачи, решаемые с помощью автономного метода управления: раскрытие элементов конструкции на начальном этапе полета, автономная отработка программ управления на борту, автономное прохождение теневых участков, обеспечение живучести аппарата при возникновении неисправностей, влияющих на использование аппарата по целевому назначению, и др.

Примером использования автономного метода управления является спутниковая система «TDRS», показанная на рисунке 1.3.6 [14, 15, 45] и разработанная американским предприятием. Данная спутниковая система выведена на ГСО и организует связь и обмен информацией между низколетящими объектами (спутниками, международной космической станцией, воздушными шарами, самолетами) и наземными станциями. Связь и

обмен информацией система обеспечивает с помощью БЦВМ, выдающей команды в соответствии с заложенной логикой.

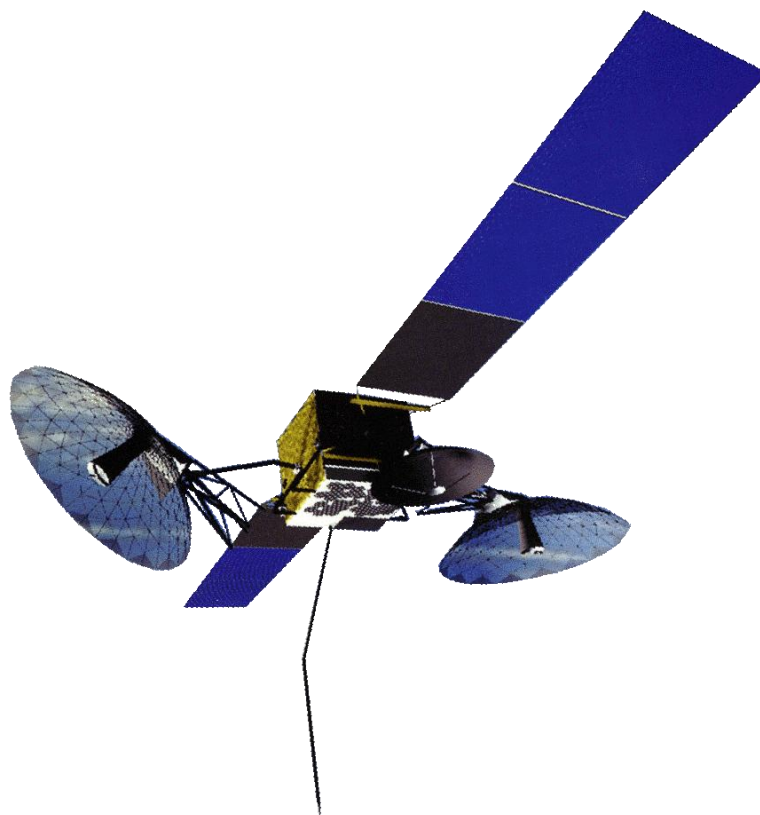


Рисунок 1.3.6 – Космический аппарат спутниковой системы «TDRS»

1.3.6 Координатный метод управления

Координатный метод управления реализуется с помощью управляющих воздействий, закладываемых на КА и выдаваемых по достижению нужных координат [5]. Заключается в том, что управляющие команды формируются как функция измеряемых текущих координат положения КА, текущего состояния подсистем КА и исходных данных, необходимых для выполнения целевых задач КА.

Для осуществления координатного метода управления на КА имеется источник навигационно-баллистической информации, позволяющий производить измерения параметров движения центра масс КА в любой момент

времени. В зависимости от заданных координат целей и текущих координат КА в БЦВМ вырабатываются управляющие команды на включение (выключение) бортовой аппаратуры.

Преимущество данного метода: точность выполнения команд по достижению заданных координат. Недостаток: каждый раз, исходя из отчётов о выполненных командах, с Земли на борт КА закладываются новые команды.

Координатный метод управления используется на спутниковой системе «Cartosat», приведённой на рисунке 1.3.7 [16, 17, 45]. Разработчиком данной системы является индийское предприятие «ISRO». «Cartosat» функционирует на низкой круговой орбите (НКО). Используется для создания и обновления топографических и специальных карт, создания цифровых моделей рельефа, обновления топографо-геодезической подосновы для разработки проектов схем территориального планирования. При достижении нужных координат БЦВМ вырабатывает управляющие воздействия на включение БА, после чего реализуются команды, заложенные от НКУ.

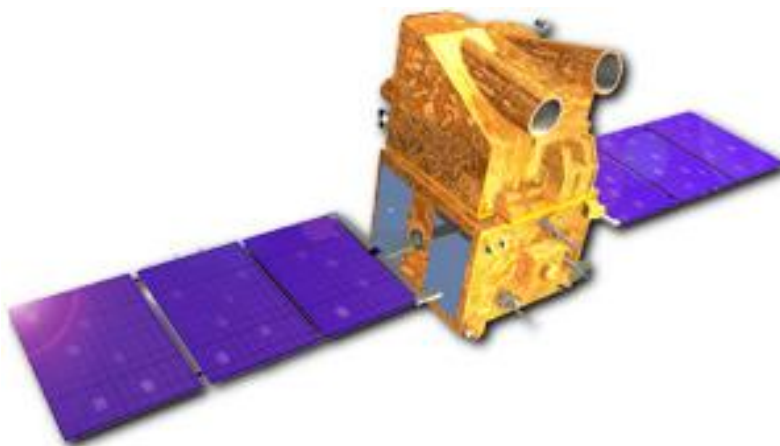


Рисунок 1.3.7 – Космический аппарат спутниковой системы «Cartosat»

1.3.7 Координатно-временной метод управления

Координатно-временной метод управления характеризуется тем, что управляющие команды (сигналы) формируются как функция не только измеряемых, но и прогнозируемых параметров движения центра масс КА. Заключается в том, что подготовка всей необходимой аппаратуры для выполнения целевых задач производится автономно на борту КА по заданным с Земли географическим координатам, их протяжённости и высоте расположения над поверхностью мирового океана [5]. Новые принципы оперативного наведения КА на объекты наблюдения с повышенными точностями и использование координатно-временного метода управления стали возможными благодаря созданию и использованию на КА автономной системы определения и прогнозирования местоположения КА.

Отсюда и следуют основные преимущества метода: повышение точность наведения КА на объекты наблюдения, и резкое усиление оперативности работы и автономности полёта спутника. Недостатки: сложность контролирования и изменения логики процесса управления с Земли.

Примером является китайская спутниковая система «Яогань», показанная на рисунке 1.3.8 [18, 19, 45], находящаяся на НКО. Данная система способствует проведению научных экспериментов, изучению Земли, предсказанию бедствий. Выполнение целевой задачи происходит при достижении нужных координат, которые рассчитаны автономно в соответствии с заложенными с Земли данными, и реализации на этих координатах команд.



Рисунок 1.3.8 – Космический аппарат спутниковой системы «Яогань»

1.3.8 Координатно-программный метод управления

Координатно-программный метод управления является компиляцией рассмотренных координатного и программного методов. Заключается в реализации программ, заложенных с Земли на борт КА и выдаваемых по достижению нужных координат [5].

Преимущества данного метода: точность выполнения серии команд по достижению заданных координат, уменьшение объёма передаваемой информации. Недостаток: сложность контролирования состояния бортовых систем КА в процессе выполнения отдельных команд заложенной программы управления, то есть существует необходимость создавать канал «передачи-приёма» сигналов аварийного оповещения.

Координатно-программный метод управления используется на спутниковой системе «Landsat», изображённой на рисунке 1.3.9 [20, 21, 45] и созданной американским предприятием «OrbitalSciencesBallAerospace». Эта система находится на НКО и решает следующие задачи: сбор и сохранение многоспектральных изображений среднего разрешения; сохранение геометрии, калибровки, покрытия, спектральных характеристик, качества изображений и

доступности данных; бесплатное распространение изображений. Для этого с Земли закладываются программы, позволяющие выполнять целевую функцию системы, которые выполняются на нужных координатах.

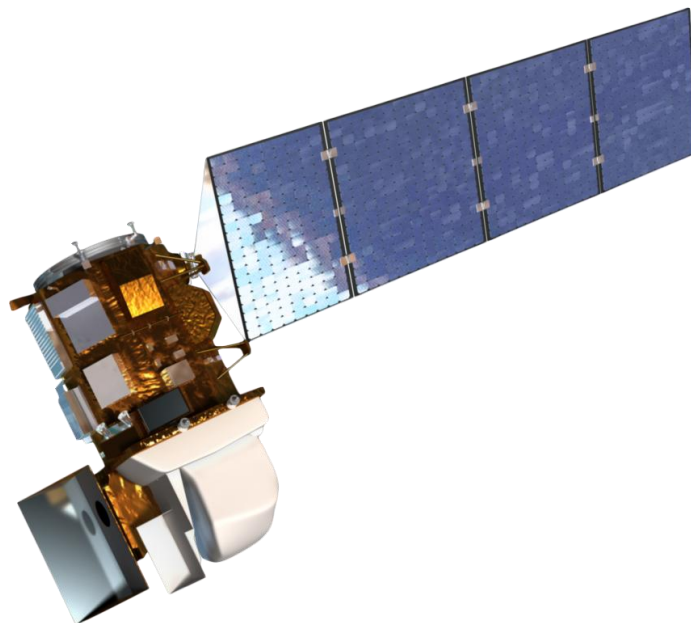


Рисунок 1.3.9 – Космический аппарат спутниковой системы «Landsat»

1.3.9 Сопоставление методов управления

Для сравнения всех существующих методов между собой ниже приведена таблица 1.3.1. Для сравнения выбраны следующие шесть критериев: наличие БЦВМ на борту КА, источник управляющих воздействий, выполнение серии команд, зависимость от координат, наличие КА в зоне радиовидимости и временная точность выполнения команд.

Таблица 1.3.1 – Сопоставление методов управления космическими аппаратами

Метод Управления	Наличие БЦВМ на борту КА	Источник УВ	Выполнение серии команд	Зависимость от координат	Наличие КА в зоне радиовидимости	Временная точность выполнения команд
Командный		НКУ			√	
Программный		НКУ	√			
Командно- программный		НКУ	√		√	
Программно- временной	√	БКУ	√			√
Автономный	√	БКУ	√			
Координатный	√	БКУ		√		
Координатно- временной	√	БКУ		√		√
Координатно- программный	√	БКУ	√	√		
* « » – отсутствие данного критерия; «√» – данный критерий присутствует полностью или частично						

1.4 Постановка задачи исследования

При разработке КА важно ещё на этапе проектирования выбрать соответствующий метод управления КА (или их совокупность).

В настоящее время существуют следующие сложности при выборе метода управления КА:

- большое количество КА в спутниковой системе («ГЛОНАСС», «Гонец»);
- выполнение большого количества целевых задач;
- ужесточение требований по надёжности КА;
- короткие зоны радиовидимости;

- усложнение логики функционирования КА;
- ограничение средств наземного комплекса управления.

Если выбрать не самый подходящий метод управления КА, то возможны следующие последствия:

- 1 Частичное выполнение целевых функций КА.
- 2 Проблемы при выполнении программ, заложенных с Земли.
- 3 Неправильное выполнение программ, заложенных с Земли.
- 4 Неверная передача параметров состояния КА.

Поэтому очень важно ещё на этапе проектирования выбрать подходящий метод управления КА или их комбинацию.

В настоящее время пользуются эмпирическим выбором метода управления КА, который заключается в выборе метода управления КА исходя из накопленного опыта эксперта. Такой подход имеет существенный недостаток – может не учитывать все сложности выбора метода управления КА.

Для решения этого недостатка предлагается разработать методику, в которой будут учитываться все сложности выбора метода управления КА и будет выбираться наиболее подходящий метод управления КА на самом раннем этапе – этапе проектирования.

Цель диссертационной работы разработать методику по выбору метода управления КА на этапе проектирования, которая бы учитывала все сложности процесса управления КА. Данная методика должна улучшить, а в какой-то степени даже упростить, процесс принятия решения по выбору метода управления КА.

Для достижения цели в работе поставлены следующие задачи:

- 1 Проанализировать существующие методы управления КА.
- 2 Определить исходные параметры для создания методики по выбору метода управления КА.
- 3 Разработать методику по выбору метода управления КА на этапе проектирования.

4 Апробировать методику на примере анализа процесса управления одного из эксплуатируемых КА.

При этом внимание уделено различным методам управления КА, как простым, так и сложным. Так как на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ) КА используются разные методы управления, то методика будет рассчитывать метод управления для каждого этапа ЖЦ КА отдельно.

1.5 Выводы по главе 1

В первой главе дана справочная информация о развитии методов управления КА, процессе управления и существующих методах управления КА. Построена схема процесса управления и универсальная модель UML, которая включает в себя все условия для применения каждого из методов управления КА. Дана классификация методов управления, которая может использоваться в процессе определения наиболее подходящего метода управления КА на этапе проектирования. Для каждого из методов управления КА приведены примеры КА (спутниковых систем), на которых они используются в настоящее время. Проведено сопоставление методов управления КА по основным критериям, выделенным из определений.

Анализ существующего эмпирического выбора метода управления КА выявил существенный недостаток, на основе которого предложен вариант создания методики по выбору метода управления КА на самом раннем этапе – этапе проектирования.

2Формирование модели выбора метода управления космическим аппаратом

2.1 Формирование поля знаний

Поле знаний – это неформальное описание основных понятий и взаимодействий между понятиями предметной области, выявленных из системы знаний экспертов, в виде графа, диаграммы, таблицы или текста.

Так как выбор метода управления КА не формализован и во многом зависит от опыта и объёма знаний специалиста, который принимает решение о выборе того или иного метода управления КА, то в данной работе необходимо использовать знания как можно большего количества специалистов в этой области. В связи с этим методика по выбору метода управления будет построена на основе экспертной системы с использованием продукционных правил.

Экспертные системы рассматриваются совместно с полем знаний как модели поведения экспертов в определённой области знаний с использованием процедур логического вывода и принятия решений, а поле знаний – как совокупность фактов и правил логического вывода в выбранной предметной области деятельности [33-42].

Продукционные правила – правила, позволяющие представить знание в виде предложения типа: «если условие, то действие». Продукционные правила прописываются для всех комбинаций исходных параметров и промежуточных гипотез экспертной системы.

В своей работе для построения модели экспертной системы я использовала граф, который состоит из следующих уровней [33-42]:

1 исходных параметров – данные, значения которых определяются по техническому заданию на КА;

2 промежуточных гипотез – промежуточные данные, значения которых определяются по модели экспертной системы с помощью выполнения продукционных правил;

3 выходного параметра – параметр, значение которого определяется по модели экспертной системы на выполнение продукционных правил.

2.2 Составление модели выбора метода управления космическим аппаратом

По мере разработки и эксплуатации новых, более совершенных образцов космических аппаратов совершенствуются и технологии их управления. Вместо первых спутников простейшей конструкции появились современные космические аппараты, представляющие собой сложные электронно-механические устройства. Помимо этого, был значительно увеличен срок активного существования КА (для первых КА - не более года, для КА, разрабатываемых в настоящее время - 15-20 лет), что дополнительно усложняет процесс управления [46].

Одной из проблем при проектировании космических систем является необходимость выбора наиболее подходящего метода управления, который, являясь наиболее технически и экономически целесообразным, позволит решать все поставленные задачи.

2.2.1 Значения выходного параметра

В качестве выходного параметра будут следующие методы управления автоматическими КА:

1 Командный метод управления – метод, при котором каждая конкретная операция управления осуществляется только по командам от НКУ [2, 25].

2 Программный метод управления – метод, который реализуется на борту космического аппарата с использованием программ, закладываемых с Земли, и выполняемых далее автономно [2, 25, 26].

3 Комбинированное управление или командно-программный метод управления – метод управления, при котором производится контроль отработки

бортовой программы и оперативное вмешательство в процесс управления при отклонении его от требуемого [2, 25, 26].

4 Программно-временной метод управления- метод управления, который обеспечивает отработку программ, во время которых подаётся УВ в определённый момент времени [3, 25, 26].

5 Автономный метод управления осуществляется с помощью БЦВМ, входящей в состав бортовой аппаратуры и выдающей определённую команду на основе анализа текущих условий, в соответствии с заложенной ранее логикой [4, 25, 26].

6 Координатный метод управления реализуется с помощью управляющих воздействий, закладываемых на борт КА и выдаваемых по достижению нужных координат [5, 25, 26].

7 «Координатно-временной» метод управления характеризуется тем, что управляющие команды (сигналы) формируются как функция не только измеряемых, но и прогнозируемых параметров движения центра масс КА [5, 25, 26].

8 «Координатно-программный» метод управления заключается в реализации программ, заложенных с Земли на борт КА и выдаваемых по достижению нужных координат [5, 25, 26].

Выходной параметр экспертной системы с возможными вариантами значений, изображены на рисунке 2.2.1.

2.2.2 Выдвижение промежуточных гипотез

Для определения значения выходного параметра необходимо, чтобы уровень обработки исходных параметров корректно отображал картину логических процессов, проходящих на этапе проектирования.

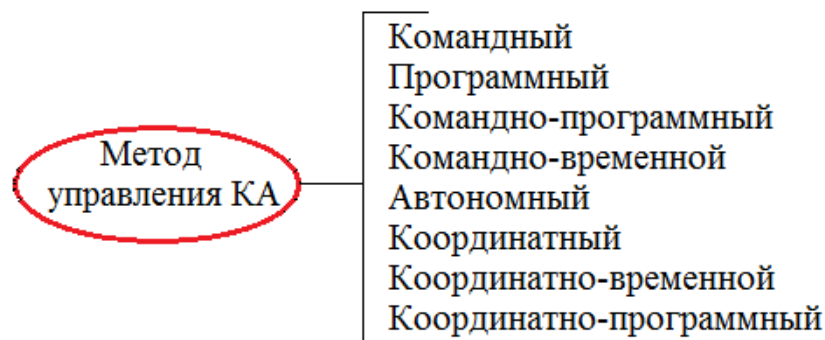


Рисунок 2.2.1– Значения выходного параметра модели экспертной системы по выбору метода управления КА

Ключевая задача экспертной системы – выбор метода управления КА, который в большей степени будет обеспечивать выполнение целевых функций КА, с помощью продукционных правил [33-42].

В качестве основных параметров (промежуточных гипотез в модели экспертной системы) для определения метода управления были выбраны: «Необходимость автономного определения и прогнозирования местоположения КА», «Необходимость автономного функционирования», «Оперативность реагирования на заявки потребителей», «Возможность ретрансляции» и «Частота сеансов радиосвязи», изображённые на рисунке 2.2.2.

«Необходимость автономного определения и прогнозирования местоположения КА» означает, наличие системы, позволяющей измерять и прогнозировать параметры движения центра масс КА в любой момент времени. Данный параметр имеет следующие значения [25, 26]:

- 1 «Есть такая необходимость».
- 2 «Такой необходимости нет».

Этот показатель будет определяться следующими исходными параметрами, показанными на рисунке 2.2.3: «Назначение КА», «Срок активного существования», «Этап жизненного цикла КА», «Тип орбиты» и «Точность удержания».



Рисунок 2.2.2 – Совокупность параметров для определения метода управления

Следующий параметр, используемый для определения значения выходного параметра «Метод управления» – это «*Необходимость автономного функционирования*». Он означает наличие систем на борту КА, которые исходя из заложенной с Земли логики, могут самостоятельно принимать решение о выборе последующей выдаваемой команде. Этот параметр принимает следующие значения:

- 1 «Есть такая необходимость».
- 2 «Такой необходимости нет».

Этот параметр определяется теми же исходными параметрами, что «Необходимость автономного определения и прогнозирования местоположения КА» и изображён на рисунке 2.2.4.



Рисунок 2.2.3 – Совокупность исходных параметров для определения параметра «Необходимость автономного определения и прогнозирования местоположения КА»

«Оперативность реагирования на заявки потребителей» КА определяется скоростью реакции наземного комплекса управления на изменившееся состояние КА. В зависимости от этого параметр может принимать значения [25, 26]:

- 1 Менее 2,5 часов.
- 2 От 2,5 часов до 12 часов.
- 3 От 12 часов до 24 часов.

Оперативность реагирования выбирается исходя из значений исходных параметров, изображённых на рисунке 2.2.5: «Назначение КА», «Этап жизненного цикла», «Тип орбиты» и «Точность удержания» и «Количество пунктов управления».



Рисунок 2.2.4 – Совокупность исходных параметров для определения параметра «Необходимость автономного функционирования»



Рисунок 2.2.5 – Совокупность исходных параметров для определения параметра «Оперативность реагирования»

Следующий промежуточный параметр – это «*Возможность ретрансляции*». Данный параметр определяет возможность передавать информацию КА от НКУ через другой КА и имеет следующие значения:

- 1 «Есть такая возможность».
- 2 «Такой возможности нет».

Возможность ретрансляции определяется следующими параметрами: «Назначение КА», «Этап жизненного цикла», «Тип орбиты» и «Количество пунктов управления», показанными на рисунке 2.2.6.

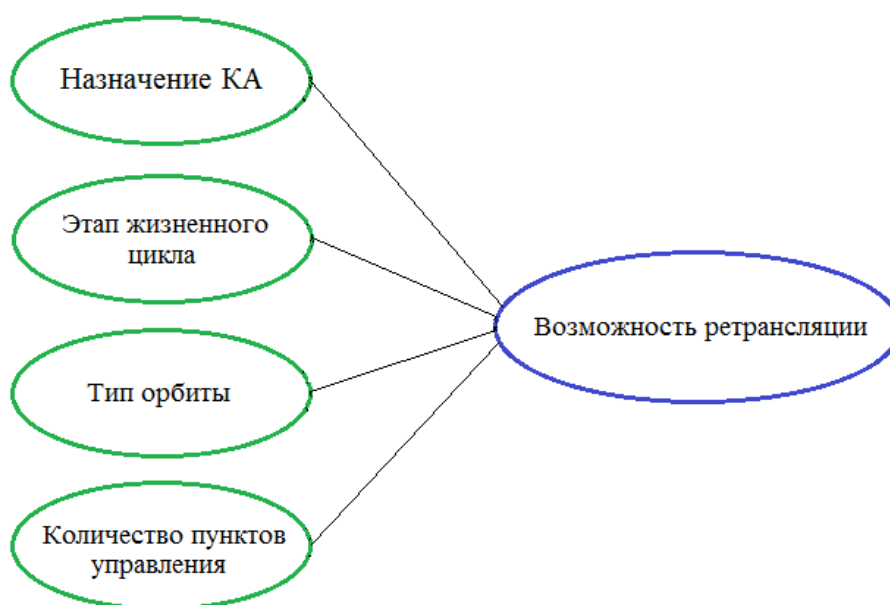


Рисунок 2.2.6 – Совокупность исходных параметров для определения параметра «Возможность ретрансляции»

Последний промежуточный параметр – это «*Частота сеансов радиосвязи*», которое означает количество сеансов радиосвязи НКУ с КА за определённый промежуток времени и принимает следующие значения:

- 1 «Непрерывная» – КА постоянно находится в зоне радиовидимости.
- 2 «Сеансовая» – КА находится в зоне радиовидимости периодически в определённые моменты времени.

3 «По заявкам» – управление КА происходит только при получении сигнала с борта аппарата.

Частота сеансов радиосвязи определяется двумя параметрами, изображёнными на рисунке 2.2.7: «Тип орбиты» и «Количество пунктов управления».

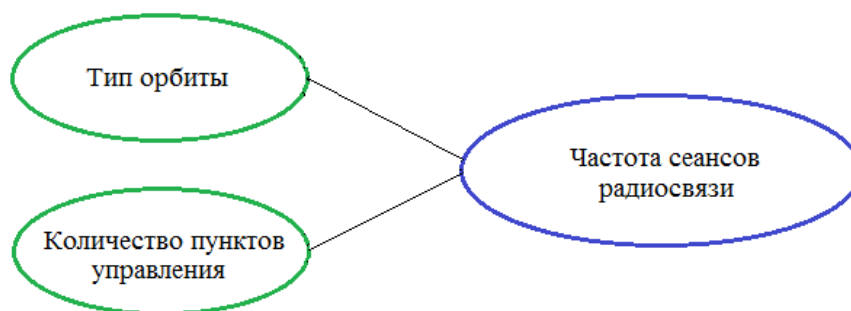


Рисунок 2.2.7 – Совокупность исходных параметров для определения параметра «Частота сеансов радиосвязи»

2.2.3 Определение исходных параметров

Исходя из выше перечисленного, далее приведены необходимые исходные параметры для построения модели экспертной системы по выбору метода управления КА.

Основное, что необходимо первоначально знать – это назначение КА, а именно все его целевые функции. Этот параметр определить не так уж и сложно, но точно выбранное его значение, может служить основанием для выбора состава бортовой аппаратуры КА. Данный параметр имеет следующие значения [25]:

1 «КА связи, телевидения и ретрансляции» предназначены для обеспечения передачи сообщений (телефонных, телеграфных, факсимильных, массивов данных) между наземными станциями, размещённых на больших расстояниях друг от друга.

2 «КА навигации и времени» являются уникальным доступным средством глобального, оперативного, высокоточного определения всех параметров движущихся и статических объектов.

3 «Геодезические КА». Основная задача состоит в изучении Земли как планеты, её геометрической формы и гравитационного поля, свойства которых определяются распределением массы в теле Земли и наличием её вращения.

4 «КА земного мониторинга»предоставляет уникальную возможность получать ценную информацию о земных объектах и явлениях в глобальном масштабе с высоким пространственным и временным разрешением. Космическая съемка поверхности Земли определяет физические, химические, биологические, геометрические параметры объектов наблюдения в различных средах Земли, как правило, используя функциональную зависимость между инструментальной способностью космической техники и искомыми параметрами. Спектральный диапазон бортовых измерителей выбирается при их разработке в зависимости от излучательной способности объектов наблюдения.

5 «КА изучения дальнего космоса» предназначены для исследования межпланетного пространства и небесных тел.

Далее необходимо определить срок активного существования КА, который измеряется в количестве лет штатной эксплуатации КА. Ведь чем больше КА будет существовать на орбите, тем больше команд должно быть заложено в логику БА КА для автономного управления. То есть, этот параметр в совокупности с назначением определяют наполнение бортовой аппаратуры КА. А это может значительно сократить количество и время занятости специалистов в НКУ. Этот параметр имеет следующие значения [25, 26]:

- 1 «До 1года», то есть малоресурсные.
- 2 «От 1 года до 5лет», то есть среднересурсные.
- 3 «Более 5лет», то есть долгоресурсные.

Далее определяется количество НКУ, из которых в дальнейшем будут выдаваться команды управления, будет проводиться контроль за

телеметрической информацией, получаемой с БА КА, и о состоянии его БА.

Этот параметр может принимать следующие значения:

- 1 Один.
- 2 Два.
- 3 Три.
- 4 Более трёх.

Затем необходимо определить орбиту, на которой будет штатная эксплуатация КА для реализации своего назначения. Тип орбиты в совокупности с количеством НКУ будет в дальнейшем влиять на частоту сеансов радиосвязи, поэтому очень важно правильно выбрать орбиту для эффективного выполнения КА своих целевых функций и контроля НКУ за отчётами о выполненных задачах КА и о состоянии его БА. Этот параметр принимает одно из следующих значений [25, 26]:

- 1 «Низкая круговая орбита» – орбита до 2000км.
- 2 «Средняя круговая орбита» – орбита до 20000км.
- 3 «Высокоэллиптическая орбита» – орбита, у которой высота в апогее во много раз превышает высоту в перигее.
- 4 «Геосинхронная орбита» – орбита, на которой период обращения КА равен периоду обращения Земли.

Следующий параметр, который имеет несколько одинаковых значений абсолютно для всех эксплуатируемых КА – этап жизненного цикла, который включает в себя каждый из этапов определённой последовательности, регламентируемые соответствующими нормативными документами, от начала запуска до конца эксплуатации КА. Так как на разных этапах жизненного цикла КА возможно применение различных методов управления КА, то данный параметр введён для уточнения и имеет следующие значения [2]:

- 1 «Выведение» КА на орбиту, близкую к расчётной.
- 2 «Приведение КА в штатную орбитальную позицию» – устранение ошибок выведения и стабилизации полёта КА в рабочей орбитальной позиции, оценка внешних возмущающих моментов, влияющих на параметры орбиты.

3 «Орбитальный манёвр» – процесс использования двигательных систем космического аппарата для изменения его орбиты, либо использование в этих целях сил, создаваемых иными космическими телами или их атмосферой.

4 «Поддержание полёта КА в рабочей орбитальной позиции» при эксплуатации аппарата по целевому назначению.

5 «Увод КА с заданной орбитальной позиции на орбиту «захоронения»» и полёт спутника по ней.

Последний параметр – точность удержания КА на орбите. Этот параметр определяют величину, на которую допускается отклонение КА от заданных координат. Данный параметр определяет наличие специальной аппаратуры на борту КА и частоту контроля за его местоположением на орбите и имеет следующие значения:

- 1 Менше $0,1^\circ$.
- 2 Больше $0,1^\circ$.

2.2.4 Модель экспертной системы

По выбранным параметрам построена модель экспертной системы для выбора метода управления КА, изображённая на рисунке 2.2.8. В данной модели экспертной системы исходные данные определяются из технического задания на КА, а это значит, что уже на этапе проектирования можно определить метод управления КА, а точнее на самом раннем его этапе – этапе получения от заказчика технического задания на КА.

Исходя из построенной методики, значения исходных параметров с помощью продукционных правил определяют каждый из промежуточных параметров. Далее по значениям промежуточных параметров, также используя продукционные правила, выбирается метод управления КА.

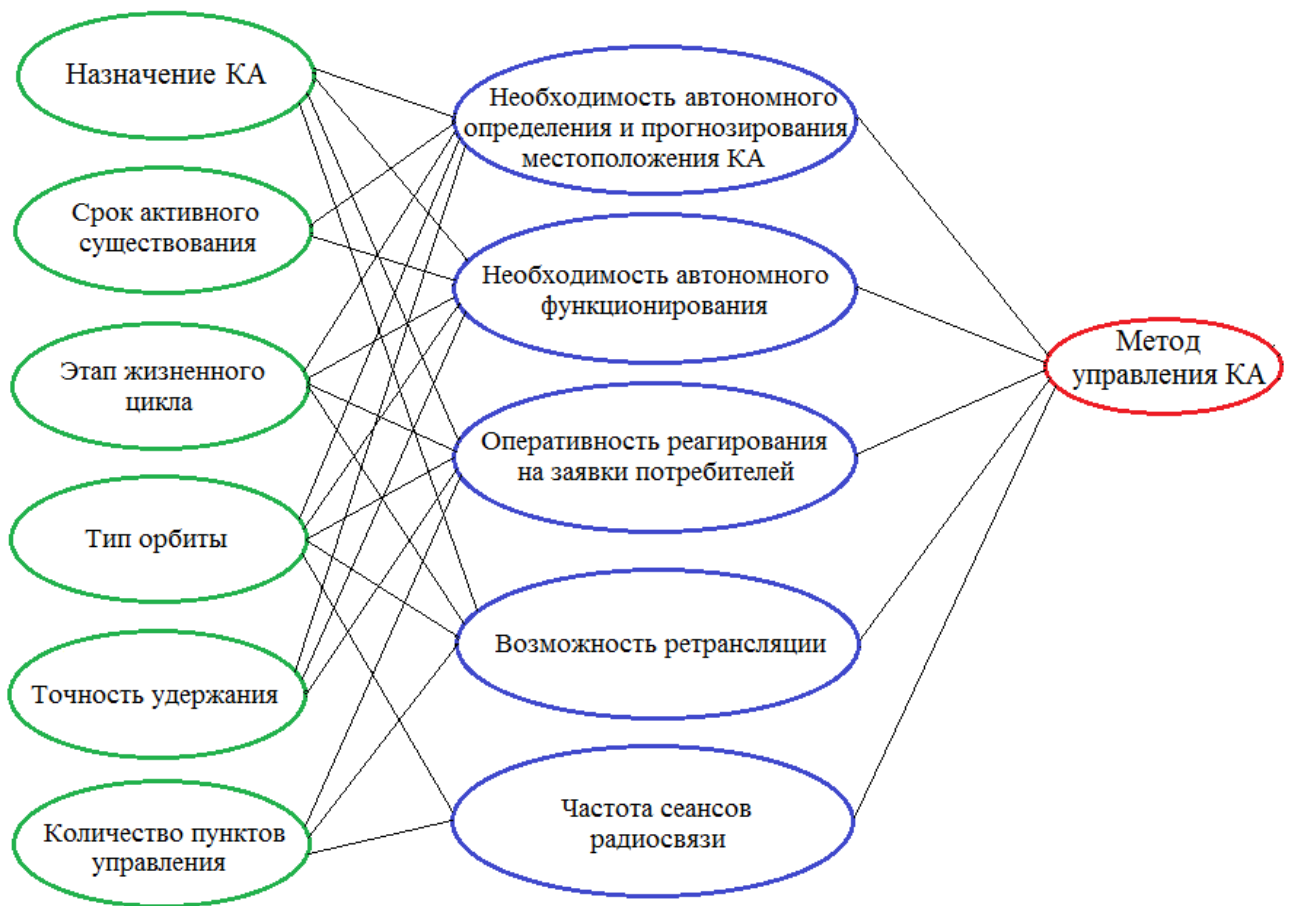


Рисунок 2.2.8 – Модель экспертной системы по выбору метода управления КА на этапе проектирования

2.3 Составление методики по выбору метода управления космическим аппаратом

Метод управления зависит от наличия систем на борту КА, которые отвечают за необходимость автономного определения и прогнозирования местоположения КА и необходимость автономных вычислений. Также для выбора метода управления КА необходимо определить параметры КА, связанные с НКУ: оперативность реагирования НКУ на изменения состояний параметров БА КА, возможность ретрансляции и частоту сеансов радиосвязи КА с НКУ. Таким образом, методика по выбору метода управления КА состоит из восьми этапов:

Этап 1 Определить значения всех исходных параметров по техническому заданию на КА.

Этап 2 Перевести качественные значения исходных параметров в количественные. Это делается для удобства при расчёте метода управления КА в уже существующей программе, разработанной специально для экспертных систем, так как она работает только с количественными параметрами.

Этап 3 Используя значения исходных параметров и продукционные правила, определить необходимость автономного определения и прогнозирования местоположения КА, которая в дальнейшем будет определять возможности КА вне зоны радиовидимости.

Этап 4 По значениям исходных параметров и продукционным правилам определить необходимость автономного функционирования КА для выявления возможности БЦВМ КА принимать решения вне зоны радиовидимости, используя ранее заложенную с Земли логику.

Этап 5 Используя значения исходных параметров и продукционные правила, определить оперативность реагирования НКУ на изменившиеся состояния параметров БА КА.

Этап 6 По значениям исходных параметров с помощью продукционных правил определить возможность ретрансляции информации КА от НКУ через другой КА.

Этап 7 Исходя из значений исходных параметров и продукционных правил, определить частоту сеансов радиосвязи НКУ с КА за определённый промежуток времени.

Этап 8 По значениям промежуточных гипотез с помощью продукционных правил выбрать метод управления КА.

Для каждого КА данную методику необходимо повторить пять раз, так как одним из исходных параметров является этап жизненного цикла. То есть для каждого этапа необходимо выбирать свой метод управления КА.

2.4 Выводы по главе 2

Во второй главе диссертационной работы осуществлено формирование поля знаний, по которому далее построена модель экспертной системы по выбору метода управления КА на этапе проектирования с использованием продукционных правил.

По результатам построенной модели экспертной системы была составлена методика по выбору метода управления КА на этапе проектирования, состоящая из семи этапов и учитывающая каждый этап жизненного цикла КА.

Использование данной методики по выбору метода управления КА позволит на более раннем этапе проектирования из существующего разнообразия методов управления определить именно тот, который будет учитывать все возможные трудности при процессе управления КА. Так как все нюансы каждого метода управления известны, то в последствии возможно значительное сокращение времени на этапе испытаний КА.

[изъято 3 глава]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результатом данной диссертационной работы стала методика по выбору метода управления КА на этапе проектирования.

В ходе работы были решены следующие задачи:

1 Проанализированы существующие методы управления КА, выявлены недостатки в применяемом на данный момент выборе метода управления КА, а также определена необходимость выбора метода управления КА на этапе проектирования.

2 Сформировано поле знаний, определены параметры для создания методики, построена двухуровневая модель экспертной системы по выбору метода управления КА с использованием продукционных правил.

3 Разработана методика по выбору метода управления КА, которую возможно использовать на этапе проектирования и которая учитывает все сложности процесса управления нового разрабатываемого КА. Методика по выбору метода управления КА на этапе проектирования состоит из восьми этапов.

4 Проведена апробация разработанной методики по выбору метода управления КА на этапе проектирования на примере КА спутниковой системы «Гонец – Д1М». В результате апробации было отмечено полное совпадение полученных методов управления КА спутниковой системой «Гонец-Д1М» с методами, используемыми в данный момент. Это показывает возможность применения разработанной методики на этапе проектирования.

Научная новизна: предложена методика по выбору метода управления КА на этапе проектирования, учитывающая все сложности процесса управления КА.

Практическая значимость: предложенная методика может применяться на предприятии Акционерное общество «Информационные спутниковые системы» имени академика М. Ф. Решетнёва для определения метода управления КА с целью учёта требований к создаваемой космической системе

на этапе проектирования КА.

По результатам диссертационного исследования было опубликовано две научные статьи.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АТ – абонентский терминал;
- БА – бортовая аппаратура;
- БКУ – бортовой комплекс управления;
- БРТК – бортовой радиотехнический комплекс;
- БЦВМ – бортовая цифровая вычислительная машина;
- БШВ – бортовая шкала времени;
- ВКР – выпускная квалификационная работа;
- ВЭО – высокоэллиптическая орбита;
- ГСО – геостационарная орбита;
- ГУП – государственное унитарное предприятие;
- ЕССС – Единая спутниковая система связи;
- ЗРВ – зона радиовидимости;
- ИФК – информация функционального контроля;
- КА – космический аппарат;
- КАУ – контур автономного управления;
- КАУР – космический аппарат унифицированного ряда;
- КИК – командно-измерительный комплекс;
- КИП – командно-измерительный пункт;
- КИС – командно-измерительная система;
- КОУ – контур оперативного управления;
- КПИ – командно-программная информация;
- КПИМ – командно-программный массив;
- КТУ – контур технологического управления;
- МСПСС – многофункциональная система персональной спутниковой связи;
- НАКУ – наземный автоматизированный контур управления;
- НИИ – научно-исследовательский институт;
- НКО – низкая круговая орбита;
- НКУ – наземный комплекс управления;

НПП – научно-производственное предприятие;
НСК – наземный связной комплекс;
НС КИС – наземная станция командно-измерительной системы;
РК – радиокоманда;
кв. РК – квитанция;
РН – ракетоноситель;
РФ – Российская Федерация
СКО – средняя круговая орбита;
СКС – станция космической связи;
ССПД – система связи передачи данных;
ТМИ – телеметрическая информация;
ТТЗ – тактико-техническое задание;
УВ – управляющее воздействие;
ФГБУ – федеральное государственное бюджетное учреждение;
ЦИ – цифровая информация;
ЦУП – центр управления полётом;
ЭВМ – электронно-вычислительная машина.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Кравец, В. Г. Автоматизированные системы управления космическими полётами: науч. изд. / В. Г. Кравец. – Москва : Машиностроение, 1995. – 254 с.
- 2 Лапушкин, В. Н. Основы управления космическими аппаратами в полёте: учеб. пособие / В. Н. Лапушкин. – Красноярск : Акционерное общество «Информационные Спутниковые Системы» имени академика М. Ф. Решетнёва, 2012. – 382 с.
- 3 Использование сеансно-временного метода при обращении к спутнику в задаче мониторинга животных в заповедниках [Электронный ресурс] : курсовая работа по экологии // электронная библиотека «Библиофонд». – Режим доступа: <http://knowledge.allbest.ru/ecology>.
- 4 Управление полётом космического аппарата [Электронный ресурс]: статья // электронный журнал «Космос-журнал». – Режим доступа: <http://www.cosmos-journal.ru/articles/936>.
- 5 Кирилин, А.Н. Научно-технические исследования и практические разработки ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс» : науч. изд. / А.Н.Кирилин. – Самара : Космическое аппаратостроение, 2011. – 280 с.
- 6 Космический аппарат «Надежда» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: https://ru.wikipedia.org/wiki/Надежда_КА.
- 7 Иванова, С. Космические средства вооружения : в 18 т. / С. Иванова. – Москва : Оружие и технологии России. Энциклопедия XXI века, 2002. – Т.5. – 703 с.
- 8 Спутниковая система «ГЛОНАСС» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/ГЛОНАСС>.

9 Перов, А. И. ГЛОНАСС. Принципы построения и функционирования : науч. изд. / А. И. Перов, В. Н. Харисов. – Москва : Радиотехника, 2010. – 800 с.

10 Спутниковая система «MILSTAR» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/MILSTAR>.

11 Свитов, Р. Состояние и перспективы развития американских военных систем спутниковой связи / Р. Свитов // Зарубежное военное обозрение. – 2013. – №12. – С. 63-68.

12 Спутниковая система «Улисс» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/ Улисс_\(космический_аппарат\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Улисс_(космический_аппарат)).

13 Рассел, Д. Улисс (космический аппарат) : науч. изд. / Джесси Рассел. – Москва : VSD, 2013. – 143 с.

14 Спутниковая система «TDRS» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/TDRS>.

15 Блинов, В. Н. Малые космические аппараты : справочное пособие / В. Н. Блинов, Н. Н. Иванов, Ю. Н. Сеченов. – Москва : ОмГТУ, 2007. – 348 с.

16 Спутниковая система «Cartosat» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Cartosat-1>.

17 *Карионов, Ю. И.* Результаты тестирования ортофотопланов и цифровых моделей местности, выполненных по снимкам Cartosat-1 (IRS-P5) / Ю. И. Карионов // Научно-популярный журнал Земля из космоса. – 2010. – № 4. – С. 85 – 89.

18 Спутниковая система «Яогань» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Яогань>.

- 19 Рассел, Д. Яогань : науч. изд. / Джесси Рассел. – Москва: VSD, 2013. – 128 с.
- 20 Спутниковая система «Landsat» [Электронный ресурс] : статья // Свободная энциклопедия «Википедия». – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Landsat>.
- 21 Маршалов, К. Американские космические аппараты оптоэлектронной разведки / К. Маршалов. // Зарубежное военное обозрение. – 2013. – №10. – С. 64-68.
- 22 Соловьёв, В. А. Управление космическими полётами (часть 1) : учеб.пособие / В. А. Соловьёв, Л. Н.Лысенко, В. Е. Любинский. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 481 с.
- 23 Соловьёв, В. А. Управление космическими полётами (часть 2) : учеб.пособие / В. А. Соловьёв, Л. Н.Лысенко, В. Е. Любинский. – Москва: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2010. – 432 с.
- 24 Микрин, Е. А. Бортовые комплексы управления космическими аппаратами и проектирование их программного обеспечения : науч. изд. / Е. А. Микрин. – Москва: МГТУ им. Баумана, 2003. – 336 с.
- 25 Чеботарёв, В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения. Книга 1. Внешнее проектирование космического аппарата : учеб.пособие / В. Е. Чеботарёв. – Красноярск.: СибГАУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2004. – 131 с.
- 26 Чеботарёв В. Е. Проектирование космических аппаратов систем информационного обеспечения. Книга 2. Внутреннее проектирование космического аппарата : учеб.пособие / В. Е. Чеботарёв. – Красноярск.: СибГАУ им. академика М. Ф. Решетнёва, 2005. – 168 с.
- 27 Ловцов, Д. А. Программно-математическое обеспечение автоматизированной системы управления космическими аппаратами : науч. изд. / Д. А. Ловцов. – Москва : Военная академия имени Ф. Э. Дзержинского, 1995. – 408 с.

28 Алексеев, К. Б. Управление космическими летательными аппаратами : науч. изд. / К. Б. Алексеев, Г. Г. Бебенин. – Москва: Машиностроение, 1974. – 218 с.

29 Авдуевский, В. С. Основы теории полёта и проектирования космических аппаратов : науч. изд. / В. С. Авдуевский, Б. М. Антонов. – Москва : Машиностроение, 1972. – 713 с.

30 Боннар, Б. Небесная механика и управление космическими летательными аппаратами : науч. изд. / Бернар Боннар, Людовик Фобур, Эммануэль Треля. – Москва : Институт компьютерных исследований, 2014. – 326 с.

31 Молотов, Е. П. Наземные радиотехнические системы управления космическими аппаратами : монография / Е. П. Молотов. – Москва: Физматлит, 2004. – 256 с.

32 Чеботарёв, В. Е. Основы проектирования космических аппаратов информационного обеспечения : учеб.пособие / В. Е. Чеботарёв, В. Е. Косенко. – Красноярск :СибГАУ, 2011. – 488 с.

33 Джарратано, Д. Экспертные системы: принципы разработки и программирования : учеб.пособие / Джозеф Джарратано, Гари Райли. – Москва: Издательский дом «Вильямс», 2006. – 1152 с.

34 Ручкин, В. Н. Универсальный искусственный интеллект и экспертные системы : учеб.пособие / В. Н. Ручкин, В. А. Фулин. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2009. – 240 с.

35 Уотермен, Д. Руководство по экспертным системам : учеб.пособие / Д. Уотермен. – Москва : Мир, 1989. – 441 с.

36 Нейлор, К. Как построить свою экспертную систему : учеб.пособие / К. Нейлор. – Москва :Энергоатомиздат, 1991. – 288 с.

37 Джексон, П. Введение в экспертные системы : учеб.пособие / П. Джексон. – Москва : Издательский дом «Вильямс», 2001. – 270 с.

38 Убейко, В.М. Экспертные системы в технике и экономике : учеб.пособие / В. М. Убейко, В. В. Убейко. – Москва : МАИ, 1992. – 240 с.

39 Масленникова, О. Е. Основы искусственного интеллекта : учебн. пособие / О. Е. Масленникова, Попова И. В. – Магнитогорск : Магнитогорский государственный университет, 2008. – 282 с.

40 Макаров, И. М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления : науч. изд. / И. М. Макаров, В. М. Лохин, С. В. Манько. – Москва: Наука, 2006. – 333 с.

41 Элти, Дж. Экспертные системы: концепции и примеры : учеб. пособие для вузов / Дж Элти, М. Кумбс. ; под общ. ред. Б. И. Шитикова. – Москва : Финансы и статистика, 1987. – 191 с.

42 Хейес-Рот, Ф. Построение экспертных систем : монография / Ф. Хейес-Рот, Д. Уотерман, Д. Ленат. – Москва : Мир, 1987. – 441 с.

43 Хасанова, Р. А. Распределённая система управления обработкой результатов электрических испытаний бортового комплекса управления: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук / Хасанова Рената Айтугановна. – Красноярск, 2014. – 22 с.

44 Низкоорбитальная космическая система персональной спутниковой связи и передачи данных : научное издание / А. И. Галькевич, С. О. Владимиров, В. М. Дубровский, и др. – Москва, 2013. – 170 с.

45 Зюзина, В. И. Методы управления автоматическими космическими аппаратами/ Зюзина В. И., Космынина Н. А.// Молодежь и современные информационные технологии. – 2016 – Том 1. – С. 253-254.

46 Зюзина, В. И. Поле знаний для выбора метода управления космическим аппаратом / В. И. Зюзина // «Молодёжь и наука: проспект Свободный». – 2016. – С. 24-27.