

Обеспечение требуемых показателей достоверности передачи сигналов оповещения о возникновении нештатной ситуации на борту космического аппарата

А. А. Легошкo, В. А. Крягин, В. В. Джумков

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
vka@mil.ru

Аннотация. Наземный комплекс управления (НКУ) осуществляет выполнение операции по поддержанию орбитальной структуры космических систем (КС), управление и контроль выполнения динамических операций в космосе, управление функционированием бортовой аппаратуры космического аппарата (КА), а также контроль и диагностику ее состояния. Расширение и совершенствование состава средств НКУ и наземного комплекса приема, обработки и распространения целевой информации определяет необходимость регулярного совершенствования алгоритмов и программно-математического обеспечения управления КА, особенно при возникновении нештатных ситуаций на борту КА.

Оперативность парирования возникновения нештатных ситуаций достигается за счет принятия и выполнения технических решений по выходу из нештатных ситуаций на основе радиосигналов, принимаемых с борта КА. Таким образом, обеспечение достоверности приема сигналов оповещения о возникновении нештатной ситуации на борту КА, оказывает существенное влияние на функционирование КС в целом и является актуальной научной задачей.

Ключевые слова: наземный комплекс управления, бортовая аппаратура, космический аппарат, сигнал оповещения, нештатная ситуация, достоверность приема, космический комплекс, управление, сигнально-кодовая конструкция

I. ВВЕДЕНИЕ

Выполнение задач управления КА реализуется радиоэлектронными системами (РЭС) наземного комплекса управления (НКУ) путем проведения сеансов управления (связи) с КА в соответствии технологическим циклом управления КА. Во время сеанса связи на борт КА РЭС передают массивы командно-программной информации (КПИ), а по обратному каналу принимают:

- квитанции о выполнении разовых команд и команд управления;
- телеметрическую информацию (ТМИ);
- информацию оперативного контроля о состоянии бортовой аппаратуры (БА) (целевой и обеспечивающей).
- НКУ решает следующие задачи:
- подготовка РЭС, входящих в состав НКУ, к запуску и управлению КА в полете;

- автоматизированное планирование операций управления и работы РЭС;
- управление КА в течении всего срока активного существования, в том числе при возникновении нештатной ситуации;
- автоматизированный контроль выполнения КА программы полёта;
- прием и обработка ТМИ при отказах БА и возникновении нештатных ситуаций.

Системы связи и передачи данных (ССПД) выполняют функции передачи информационных потоков КПИ и ТМИ между центром управления полетом (ЦУП) и РЭС НКУ. СППД совместно с РЭС управления КА составляют техническую основу управления КА в полете.

Обнаружение неисправностей в БА КА, в большинстве случаев, является результатом анализа принятой ТМИ, так как бортовые системы контроля работоспособности КА не всегда могут обнаружить дестабилизирующие воздействия различного характера [1, 2].

Таким образом, для оперативного обнаружения нештатных ситуаций на борту КА, оповещения ЦУП, а также скорейшего восстановления работоспособного состояния БА целесообразно реализовать передачу сигнала оповещения о возникновении нештатной ситуации на борту (СОНш).

II. ФОРМИРОВАНИЕ СИГНАЛОВ ОПОВЕЩЕНИЯ О ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Современный НКУ должен обеспечить автоматизированное управление КА в течение гарантийного срока его активного существования при решении им целевых задач и в том числе в случае возникновения нештатной ситуации.

Автоматизированное управление КА на всех этапах орбитального полета предполагает наличие программно-математического обеспечения БА для обнаружения нештатной ситуации.

Для оперативного информирования НКУ о своем состоянии КА должен включать в свой систему контроля работоспособности целевой и обеспечивающей аппаратуры, а также специализированные средства для обнаружения дестабилизирующих воздействий.

Формирование СОНш реализуется следующим образом: в бортовой комплекс управления (БКУ) поступает информация от обеспечивающей аппаратуры. На основе анализа принятой информации БКУ принимает решение о режиме функционирования БА. При выходе значений параметров, характеризующих штатное функционирование от допустимых значений, а также не корректное функционирование программного обеспечения БА БКУ формирует СОНш, который немедленно передается по служебному радиоканалу.

Реализация данной технологии позволит специалистам ЦУП выработать решение по парированию возникшей ситуации, провести коррекцию технологического цикла управления для восстановления штатного функционирования КА.

III. ФОРМАЛИЗОВАННОЕ ОПИСАНИЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДОСТОВЕРНОСТИ ПЕРЕДАЧИ СИГНАЛОВ ОПОВЕЩЕНИЯ О ВОЗНИКНОВЕНИИ НЕШТАТНОЙ СИТУАЦИИ НА БОРТУ КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

СОНш реализуется в виде сообщения, определенной структуры (рис. 1). Массив данных, содержащий характеристики неисправности БА, должен быть записан в формализованном виде для сокращения объема передаваемого потока (до единиц Мб).

Номер КА	Дата, время	Признак нештатной ситуации	Сообщение
----------	-------------	----------------------------	-----------

Рис. 1. Структура сообщения о нештатной ситуации

Сообщение, такого объема не требует высокой пропускной способности радиосистемы, и позволит использовать сигнально-кодovou конструкцию (СКК), обеспечивающую требуемую достоверность, сопоставимую с КПИ.

Принцип формирования СОНш на борту КА представлен на рис. 2.

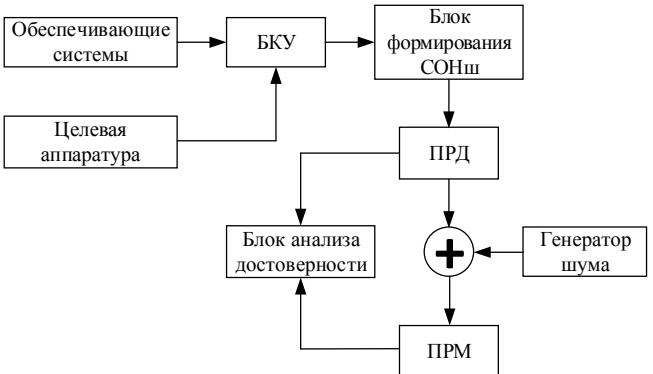


Рис. 2. Имитационная модель исследования достоверности передачи СОНш

На основе разработанной имитационной модели исследования достоверности передачи сигналов оповещения о возникновении нештатной ситуации на борту КА, разработан программный комплекс в графической среде разработки и программирования LabVIEW.

Входными данными для работы программного комплекса являются:

- время и дата обнаружения неисправности;
- номер КА;
- признак неисправности;
- формализованное описание обнаруженной неисправности.

Характеристики достоверности передачи СОНш получены при следующих условиях:

- объем передаваемого сообщения – 180 бит;
- тип помехи – шумовая;
- помехоустойчивые коды – Бозе-Чедхури-Хокуингхема (БЧХ), Рид-Соломона, Голея.

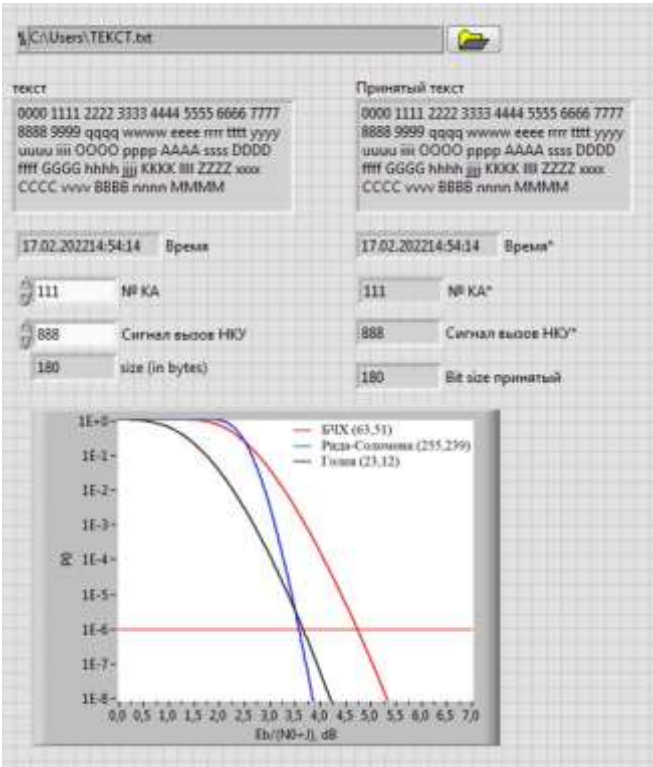


Рис. 3. Имитационная модель исследования достоверности передачи СОНш

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Моделирование было проведено с использованием вышеуказанных помехоустойчивых кодов и двоичной фазовой модуляцией.

Расчет вероятности ошибочного приема сообщения P_0 был произведен по формуле [3]:

$$P_0 = \sum_{i=t+1}^n C_n^i p^i (1-p)^{n-i},$$

где C_n^i – число сочетаний по i из n ; p – вероятность битовой ошибки; n – количество символов закодированного сообщения; k – количество информационных символов, t – кратность гарантированно исправляемых кодом ошибок.

Результаты моделирования представлены в таблице.

ТАБЛИЦА I ЗАВИСИМОСТЬ ОТНОШЕНИЯ ЭНЕРГИИ БИТА
К МОЩНОСТИ ШУМОВОЙ ПОМЕХИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ
ПОМЕХОУСТОЙЧИВЫХ КОДОВ С ФИКСИРОВАННОЙ ДЛИНОЙ
СООБЩЕНИЯ

Вид помехоустойчивого кода	$E_b/(N_0+J)$, дБ	P_0
БЧХ (63,51)	4,88	10^{-6}
Рида-Соломона (255,239)	3,65	10^{-6}
Голея (23,12)	3,81	10^{-6}

V. ВЫВОД

Реализация технологии передачи сигналов оповещения о возникновении нештатной ситуации на борту космического аппарата по радиоканалу КА-РЭС наземного комплекса управления позволит оперативно принимать технические решения для восстановления работоспособности БА КА, а анализ причин

возникновения нештатных ситуаций позволить исключить их появление в будущем и, в том числе, в перспективных космических средствах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Соловьев В.А. Управление космическими полетами: учеб. пособие в 2 ч. / В.А. Соловьев, Л.Н. Лысенко, В.Е. Любинский. М.: Изд-во МГТУ имени Н.Э. Баумана. 2009. 477 с.
- [2] Левашко А.В., Осьминин В.Н., Киселёв К.В., Трегуб В.А. Перспективы развития наземного комплекса управления космическими аппаратами дистанционного зондирования земли // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2018. Т. 164 № 3. С. 19-24.
- [3] Ряховский Е.П. Шумоподобные сигналы в каналах управления космическими аппаратами. Часть 2. Принципы применения: учебное пособие / Е.П. Ряховский. СПб.: ВКА имени А.Ф. Можайского. 2014. 223 с.