



ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 79 за 2014 г.



Баранова Т.П., Буликов В.Г.,
Гайфулин С.А., Луцикович В.В.,
Молчанова Г.Ю., Семенова Т.В.

Автоматизированная
испытательная система.
Слежение за объектом
контроля

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Автоматизированная испытательная система. Слежение за объектом контроля / Т.П.Баранова [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2014. № 79. 23 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-79>

**Ордена Ленина
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Российской академии наук**

**Т.П.Баранова, В.Г.Буликов, С.А.Гайфулин,
В.В.Луцикович, Г.Ю.Молчанова, Т.В.Семенова**

**Автоматизированная
испытательная система.
Слежение за объектом контроля**

Москва — 2014

**Т.П.Баранова, В.Г.Буликов, С.А.Гайфулин, В.В.Луцикович,
Г.Ю.Молчанова, Т.В.Семенова**

Автоматизированная испытательная система

Слежение за объектом контроля

Автоматизированная испытательная система (АИС) предназначена для проведения наземных испытаний космических аппаратов (КА). Система представляет собою многомашинный программно-аппаратный комплекс, связанный с КА технологической аппаратурой. В работе рассматривается задача проведения испытаний КА с помощью АИС и, в частности, подсистема программного обеспечения, предназначенная для слежения в реальном времени за состоянием КА.

Ключевые слова: испытание, контроль, слежение, космический аппарат, внешний объект.

**T.P.Baranova, V.G.Bulikov, S.A.Gaifulin, V.V.Lutsikovich,
G.Yu.Molchanova, T.V.Semenova**

The automatic testing system.

Tracking of the object of control

The automatic system for on-ground space-craft (SC) testing is outlined. The system is a hardware-software complex coupled with an SC. The paper discusses the problem of testing the spacecraft, in particular, a software subsystem, designed to track the state of the objects in real time.

Key words: testing, monitoring, tracking, spacecraft, object.

Введение

Проведение наземных испытаний космических аппаратов (КА) производится с помощью автоматизированной испытательной системы (АИС). Космический аппарат состоит из бортовых систем различного назначения, таких как системы электроснабжения, радиосвязи, бортовых измерений, управления и т.п. Кроме того, в состав КА входит бортовая вычислительная система (БВС), состоящая из нескольких компьютеров.

Испытательные действия задаются в виде директив специального языка испытаний Диполь [4]. Последовательности директив, реализующие различные этапы испытаний, оформляются в виде программ испытаний. Испытываемый КА называется также объектом контроля.

В процессе испытаний выполняются действия следующих типов:

- выдача команд, инициирующих выполнение необходимых функций бортовыми системами объекта контроля;
- измерение значений параметров, характеризующих состояние систем объекта контроля (параметров электрических цепей, температуры, давления, содержимого памяти БВС и т.п.);
- контроль правильности изменения значений параметров в соответствии с выдаваемыми командами.

Команды, параметры, а также бортовые программы объекта контроля называются внешними объектами (ВО). Внешние объекты обозначаются специальным образом организованными идентификаторами. Информация, необходимая для работы с ВО, хранится в базе данных (БД).

Контроль значений параметров может быть однократным или непрерывным. Организация непрерывного контроля за поведением параметров и выявление событий, связанных с отклонением состояния объекта контроля от нормы, называется слежением за параметрами. В процессе слежения выполняется также инициативный запуск программ испытаний, связанных с реакцией на эти события или с определенными временными моментами испытаний.

В работе рассматривается организация процесса слежения и набор директив языка Диполь, предназначенных для управления этим процессом.

1. Структура АИС

Автоматизированная испытательная система (АИС) представляет собой многомашинный программно-аппаратный комплекс, построенный на базе персональных компьютеров (ПК). АИС была разработана в РКК “Энергия”. В ИПМ было разработано программное обеспечение центрального компьютера, включая средства моделирования и отладки [3].

Ниже на рис.1 приведена структура АИС. Все компьютеры объединены локальной вычислительной сетью (ЛВС).

Центральный ПК управления (ЦПКУ) связывает все компоненты АИС в единую систему, он снабжен пультом оперативного управления, с помощью которого оператор проводит испытания и следит за их ходом. ЦПКУ соединен с объектом контроля по нескольким трактам. Трасс состоит из компьютера и технологической аппаратуры (ТА). На приведенном рисунке показаны четыре тракта, связанные с ОК: ВПКУ, ПККИ, НТКСИ, и ССБВС. Три компьютера – ПКПРТ, ПКДУ и ПКРЭП – с объектом контроля не связаны и служат для организационных целей.

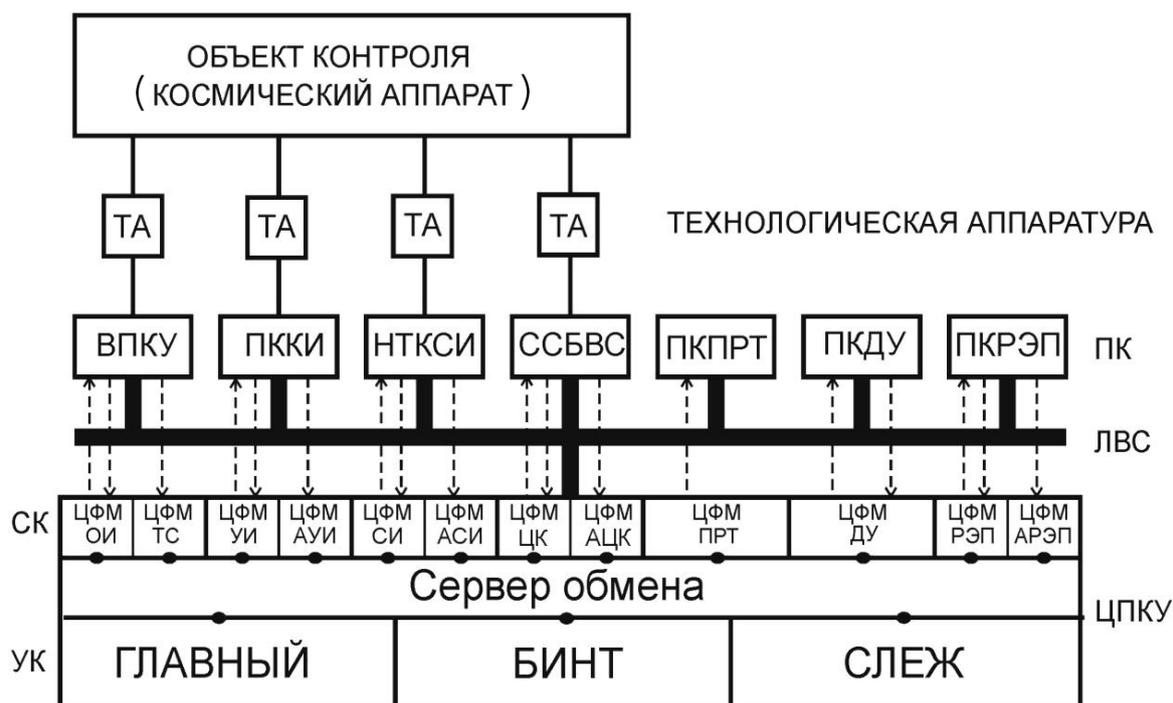


Рис.1. Структура АИС

ВПКУ – вспомогательный ПК управления. По этому тракту в центральный компьютер поступает оперативная информация о так называемых сигнальных параметрах, отражающих состояние (замкнут-разомкнут) контактов устройств коммутации.

ПККИ – ПК команд и измерений. По этому тракту производится выдача на объект контроля команд, т.е. воздействий на исполнительные механизмы объекта контроля, а также измерение значений параметров электрических цепей (токов, напряжений, сопротивлений).

НТКСИ – наземный технологический комплекс системы измерений. По этому тракту ведется систематический сбор телеметрической информации о состоянии объекта контроля.

ССБВС – система связи с бортовой вычислительной системой (БВС). По этому тракту можно выдавать команды, запрашивать значения параметров, читать из памяти БВС, записывать в память БВС, запускать программы в БВС и контролировать результат их выполнения.

ПКПРТ – ПК протокола. Дополнительное рабочее место, с которого можно следить за протоколом, не оказывая влияния на ход испытаний.

ПКДУ – ПК дистанционного управления ходом испытаний. На этот компьютер можно перевести управление испытаниями, заблокировав управление с центрального компьютера.

ПКРЭП – ПК руководителя электрических проверок.

ЦПКУ – центральный ПК управления. Программное обеспечение (ПО) ЦПКУ представляет собой многопоточную систему. В процессе выполнения своих функций потоки обмениваются пакетами данных. Передачу пакетов между потоками обеспечивает Сервер обмена. ПО ЦПКУ состоит из двух компонент – управляющей и согласующей.

Управляющая компонента обеспечивает выполнение директив оператора. Оператор может запускать программы испытаний, приостанавливать их работу, выполнять с пульта отдельные директивы. Он также должен реагировать на возникновение аварийных ситуаций и принимать меры по их устранению. Результаты испытаний фиксируются в протоколе, который записывается в файл и выдается на экран. Управляющая компонента состоит из потоков: ГЛАВНЫЙ, БИНТ (Блок ИНТерпретации), СЛЕЖ. Поток ГЛАВНЫЙ порождает все остальные потоки и обеспечивает возможность оперативного вмешательства в ход испытаний с пульта ЦПКУ. Поток БИНТ интерпретирует директивы программы испытаний и директивы оператора. Поток СЛЕЖ реализует механизм слежения за изменением значений выбранных параметров объекта контроля и запуск программ испытаний по времени.

Согласующая компонента обеспечивает обмен информацией между ЦПКУ и объектом контроля и состоит из центральных функциональных модулей (ЦФМ), реализованных в виде отдельных потоков. ЦФМ являются представителями соответствующих трактов в ЦПКУ. Каждому тракту соответствуют два ЦФМ: синхронный и асинхронный. Синхронный ЦФМ связан с компьютером соответствующего тракта двумя односторонними каналами. По одному каналу ЦФМ посылает в компьютер запрос на выполнение нужного действия, а по другому получает из компьютера ответ на запрос. Асинхронный ЦФМ связан с компьютером одним каналом, направленным от компьютера к ЦФМ. По этому каналу приходят асинхронные (инициативные) пакеты, содержащие информацию об изменениях, происходящих в объекте контроля.

В целом ПО ЦПКУ реализует интерфейс с испытателем, выдачу команд и управляющих воздействий на объект контроля через другие компьютеры, прием и обработку асинхронной информации из трактов, установку слежения за изменением параметров на объекте контроля и отработку заданной реакции, ведение протоколов испытаний.

2. Общая организация слежения за объектом контроля

Состояние объекта контроля характеризуется набором значений параметров. Параметры делятся на сигнальные и аналоговые. Сигнальные параметры имеют значения 1 или 0, которые определяют одно из двух возможных состояний. Например, 1 означает замкнутый контакт или наличие напряжения в цепи, а 0 означает разомкнутый контакт или отсутствие напряжения. Аналоговые параметры – это значения физических величин, которые, как правило, задаются вещественными числами. Например, напряжение в электрической цепи, температура или давление в некотором месте объекта контроля.

Основой контроля состояния объекта является проверка значений параметров на соответствие заданным допускам. Для аналоговых параметров задаются два допуска. Если значение параметра больше или равно нижнему допуску и меньше или равно верхнему допуску, то фиксируется, что параметр находится в допуске и проверка завершилась штатно, иначе фиксируется, что параметр не в допуске и проверка завершилась нештатно. Один из допусков может быть опущен. Для сигнальных параметров задается один допуск. Если значение параметра равно допуску, фиксируется, что параметр в допуске и проверка завершилась штатно.

Чтобы контролировать штатное состояние объекта контроля, необходимо в любой момент времени иметь информацию о значениях большинства параметров объекта. Сбор этой информации производится в трактах с помощью технологической аппаратуры. Этот же процесс организован в космическом аппарате, поскольку задача контроля штатного состояния является одной из основных при его эксплуатации. Организация сбора информации о параметрах описана в п.3.1.

Существуют несколько вариантов поведения параметров, характеризующихся своими особенностями изменения значений. Для каждого такого варианта в языке Диполь имеется своя директива, учитывающая эти особенности.

Первый вариант связан с выдачей команд, с помощью которых производится управление функционированием космического аппарата. В процессе испытаний необходимо проверить правильность функционирования объекта контроля при выдаче различных команд управления бортовыми системами. Выдача команды приводит к тому, что в течение некоторого интервала времени связанная с командой группа параметров определенным образом меняет свои значения. При этом поведение других параметров не должно меняться. Контроль этих изменений производится директивами интервальных проверок ИНТЕРВ, ИНТЕРВТС, которые описаны в п.3.3. Интервальная проверка завершается штатно, если перечисленные в ней параметры в течение определенного интервала времени входят в заданные допуски. При нештатном завершении проверки (какой-либо параметр не в

допуске) выполняется указанная в директиве реакция, с помощью которой могут быть предприняты дополнительные действия (ручные или автоматические) по установлению и устранению причин отклонения от нормы.

Достаточно распространенным является вариант, когда значения параметров остаются в пределах заданных допусков. Контроль за таким поведением параметров реализуется директивой слежения за параметрами СЛЕДИТЬ (см. п.3.2). Эта директива инициирует непрерывный контроль значений перечисленных в ней параметров, который производится в фоновом режиме и опирается на постоянный опрос значений параметров. Если при очередной проверке значение параметра выйдет за пределы допусков, то выполняется реакция на нештатное завершение проверки. Реакцией может быть останов текущей работы и запуск на выполнение некоторой программы испытаний, именуемой далее – программа реакции, или переход к ручным действиям.

Другим вариантом является изменение параметров по определенному закону. Контроль такого поведения параметров выполняется с помощью директивы периодического запуска программы через заданный промежуток времени СЛЕДИТЬ ПРОГ (см. п.4.1). При очередном вызове программы можно проанализировать изменение значения параметра во времени в соответствии с нужным законом и предпринять необходимые действия при отклонении от этого закона.

В ряде случаев проверка значений параметров или проведение нужных работ привязываются к определенным моментам времени. В п.4.2. описана директива запуска программ по времени ЗАПУСК с указанием времени в виде смещения относительно текущего момента или в виде значения стартового секундомера. По этой директиве формируется заявка на запуск программ, при этом текущая работа продолжается. Запуск программы производится по достижению указанного для нее времени.

Выполнение программ испытаний, запускаемых по времени или в качестве реакции при слежении за параметрами, а также программ, вызываемых оператором с пульта, может пересекаться. Для разрешения возможных коллизий, возникающих при запуске этих программ, разработана дисциплина взаимодействия программ (см. п.5).

3. Слежение за параметрами

Слежение за параметрами опирается на систематический сбор информации о значениях параметров, который выполняется всегда и составляет базовый уровень работы с параметрами.

Само слежение выполняется с помощью специальных директив и делится на два вида: контроль нахождения параметра в заданных допусках и контроль входа параметра в заданные допуски после выдачи команд. Эти два вида слежения взаимно исключают друг друга. В любой момент времени для

конкретного параметра либо выполняется один из указанных видов слежения, либо слежение отсутствует.

3.1. Базовый уровень работы с параметрами

Анализ значений параметров и принятие решений о дальнейшем ходе испытаний производится, в основном, в ЦПКУ. Поэтому для повышения точности проведения испытаний при сборе информации о параметрах желательно фиксировать текущие значения параметров как можно ближе к ЦПКУ. Информация о значениях параметров объекта контроля поступает в ЦПКУ по трактам. В тракте можно выделить три основных уровня: сам объект контроля и технологическая аппаратура, компьютер тракта, центральный функциональный модуль ЦПКУ. В зависимости от особенностей тракта информация о параметрах поступает с одного из этих уровней.

На уровне ЦФМ ЦПКУ формируется массив текущих состояний параметров, в котором фиксируются все изменения значений параметров, а также информация о выполняемых с параметром действиях: вид слежения, блокировка слежения, блокировка выдачи сообщений об изменении и т.п. Если в ЦФМ ЦПКУ есть массив текущих состояний, то все действия с параметром выполняются наиболее быстро без обращения к другим компьютерам.

На уровне компьютера тракта формируется аналогичный массив текущих состояний. В этом случае для получения информации о параметре из ЦПКУ необходимо сделать запрос к компьютеру тракта.

Если параметра нет в массиве текущих состояний, то из ЦПКУ посылается запрос в компьютер тракта и далее либо к БВС объекта контроля, либо к технологической аппаратуре.

Организация работы конкретных трактов описана ниже. Каждый тракт обслуживает свою группу параметров.

Тракт ВПКУ связан с сигнальными параметрами и производными от них логическими параметрами и готовностями.

Основу составляют сигнальные параметры, отражающие состояние контактов, датчиков и т.п. (см. п.2). С помощью технологической аппаратуры тракта фиксируются изменения сигнальных параметров и формируются кадры изменений, которые с определенной периодичностью передаются в компьютер ВПКУ. В ВПКУ по этой информации формируется массив текущих состояний параметров. Этот массив может быть выдан на экран ВПКУ в виде отдельных табло. Кадры передаются также в ЦПКУ, где формируется такой же массив текущих состояний и производится выдача кадра в протокол. Благодаря такой организации обеспечивается быстрое получение значений сигнальных параметров.

Значения логических параметров вычисляются по некоторым формулам, аргументами которых являются сигнальные параметры. Например, если определить логический параметр как логическое произведение двух сигнальных параметров, то его значение 1 будет означать, что оба контакта,

связанные с сигнальными параметрами, замкнуты. Значения логических параметров также входят в массив текущих состояний.

Для этих параметров, помимо текущих значений (0,1), фиксируются также короткие срабатывания на заданном интервале времени. Короткие срабатывания задаются тремя двоичными разрядами. В начале интервала необходимо установить исходное состояние параметра путем троекратного повторения текущего значения: 000 – датчик выключен, 111 – датчик включен. Установка производится директивой ТС_СБРОС или при задании слежения. С течением времени состояние 000 переходит в 001 – датчик включился – и далее в 010 – датчик включился и затем выключился (короткое включение). Аналогично, 111 переходит в 110 – датчик выключился – и далее в 101 (короткое выключение). Таким образом в системе фиксируются быстротекущие изменения.

Готовность – это обобщенный параметр, отражающий состояние группы дискретных параметров, связанных с некоторой бортовой системой. Для готовности в базе данных задается список параметров, входящих в группу, с указанием их значений. Если значения всех параметров, входящих в данную группу, равны указанным в базе данных, то значение готовности равно 1. Это означает, что бортовая система готова к выполнению запланированной работы. Если значение хотя бы одного параметра группы отличается от заданного, то значение готовности равно 0. Значения готовностей не входят в массив текущих состояний и вычисляются при каждом запросе.

По тракту БВС доступна практически вся информация о состоянии объекта контроля. Прежде всего, это текущие значения дискретных и аналоговых параметров. В космическом аппарате с помощью системы бортовых измерений производится постоянный опрос значений параметров. Эта информация используется на борту для контроля состояния и управления КА, а также передается в наземный технологический комплекс сбора информации (НТКСИ) в виде потока телеметрической информации. При наземных испытаниях значения параметров передаются также из БВС в компьютер ССБВС, где формируется массив текущих состояний параметров. Состав параметров в массиве зависит от этапа испытаний. По тракту БВС можно также выдавать команды, запускать бортовые программы и запрашивать значения переменных, содержащих результаты их работы. Из БВС в ЦПКУ поступают сообщения, которые характеризуют определенные события, происходящие в объекте контроля. Для того чтобы можно было работать с сообщением как с параметром, его надо описать (выделить) с помощью директивы СООББВС. В этом случае в массиве текущих состояний ЦПКУ (в ЦФМАЦК) для сообщения будет выделена своя позиция. С сообщением связаны поля: глобальный и локальный счетчики количества сообщений, признаки блокировки и слежения. Значением такого параметра-сообщения является количество переданных из БВС сообщений, которое фиксируется в счетчиках. Локальный счетчик

используется при слежении. Его можно установить в исходное состояние, равное нулю, директивой СООБ_СБР или в начале директивы слежения.

НТКСИ фиксирует весь поток телеметрической информации, поступающей из КА. При эксплуатации КА этот поток используется для анализа состояния КА в реальном времени и последующего полного анализа всего потока. Во время наземных испытаний в компьютере НТКСИ формируется массив текущих состояний параметров аналогично компьютеру ССБВС. Состав параметров в массиве может настраиваться независимо от массива в ССБВС с учетом текущих потребностей испытаний.

По тракту ПККИ выдаются команды и измеряются значения аналоговых параметров. В составе технологической аппаратуры имеется измеритель. Для измерения напряжения между двумя точками цепи необходимо подключить эти точки к шинам измерителя, снять показания и отключить точки от шин. Указанные особенности не позволяют широко использовать этот тракт для слежения.

Сигнальные и логические параметры тракта ВПКУ и выделенные сообщения тракта БВС составляют группу инициативных параметров. При каждом изменении инициативного параметра в протокол выдается сообщение в виде кадра или сообщения БВС.

С помощью директивы БЛОКИР можно заблокировать выдачу в протокол сообщения инициативного параметра, при этом все изменения состояния параметра продолжают отслеживаться. Директива РАЗБЛОК отменяет блокировку выдачи сообщений.

Замечание. Директивы записываются в табличном или в строчном формате.

Директивы в табличном формате состоят из одной или нескольких строк. Первая строка называется основной, остальные – дополнительными. Основная строка состоит из полей, в которых задаются:

Поле 1	(Т)	– задается тип строки (буква О);
Поле 2	(Время/Метка)	– могут быть заданы метка или время начала выполнения директивы с указанием секундомера;
Поле 3	(Операция)	– задается название директивы;
Поле 4	(П)	– задается условие выполнения директивы и блокировка останова;
Поле 5	(Аргумент1)	} – заполняются в зависимости от директивы.
Поле 6	(Аргумент2)	
Поле 7	(Код)	

Дополнительные строки заполняются в соответствии с синтаксисом каждой директивы и, в основном, используются при работе с внешними

объектами (ВО). В дополнительных строках поле 1 не заполняется, в поле 2 может быть указано время, отсчитанное от начала директивы, в поле 3 задается идентификатор ВО. Для некоторых ВО требуется дополнительное указание, которое задается в поле 4. Остальные поля заполняются в соответствии с синтаксисом директивы.

Директивы в строчном формате состоят из одной строки, которая соответствует основной и одной дополнительной строке табличного формата. Название директивы и ее аргументы записываются подряд и отделяются пробелами.

Директивы в табличном формате используются в программах испытаний. Они позволяют выполнять однотипные действия над группами команд и параметров. Строчный формат используется при вводе директив оператора с клавиатуры. Формат не влияет на выполнение директивы. Директивы с одинаковыми аргументами, представленные в разных форматах, эквиваленты.

3.2. Контроль нахождения параметров в допусках

Данный вид слежения устанавливается директивой СЛЕДИТЬ и контролирует консервативный вариант поведения параметра, когда значение параметра должно оставаться в заданных допусках.

Ниже в табл.1 директива приведена в табличном формате.

Таблица 1

Директива СЛЕДИТЬ за параметрами

Т	Время/Метка	Операция	П	Аргумент1	Аргумент2	Код
1	2	3	4	5	6	7
О	[<мет/вр>]	СЛЕДИТЬ			<реак>	[А]
Т	<СООБЩЕНИЕ, общее для всех параметров слежения в директиве>					
		<идпар>	[<ду>]	<ндоп>	<вдоп>	
Т	<СООБЩЕНИЕ для параметра, указанного в предыдущей строке>					
		

Где:

- <мет/вр> – метка | время начала выполнения директивы;
- <реак> – реакция = СЛЕД | СТОП | <имя_прог>. Здесь и далее <имя_прог> – имя файла (без расширения) с программой испытаний;
- А – признак аварийности;
- <идпар> – идентификатор параметра;
- <ду> – дополнительное указание (определяет тип представления значения параметра);

- <ндоп> – нижний допуск;
- <вдоп> – верхний допуск.

В директиве перечисляются идентификаторы параметров с допусками. Правило задания допусков описано в п.2.

С помощью строк с указанием типа "Т" в поле 1 задаются сообщения разработчика программы. С любым параметром может быть связано не больше одной строки сообщения. Локальная строка типа "Т", записанная непосредственно после строки с идентификатором параметра, связывается только с этим параметром. Если строка типа "Т" записана в первой дополнительной строке (общая строка), то она связывается со всеми параметрами слежения, у которых отсутствует локальная строка.

По этой директиве вся информация о параметрах заносится в специальную таблицу слежения. Если параметр не был ранее поставлен на слежение и его нет в таблице, то для него заводится новая строка. Если параметр уже стоит на слежении, то производится коррекция связанной с ним информации (реакция, допуски и др.).

Далее информация о каждом параметре передается в соответствующий тракт, где она также фиксируется в таблице тракта.

При постановке параметра на слежение его значение сразу проверяется на допуски. Если значение параметра находится вне допусков, то выполняется действие, описанное ниже.

Если же значение параметра находится в допусках, то далее начинается постоянный контроль его значения, выполняемый в фоновом режиме без прерывания текущей работы (текущей программы испытаний). Постоянный контроль выполняется следующим образом:

- если параметр находится в массиве текущих состояний, то проверка на допуски производится при фиксации изменения параметра в массиве;
- если параметра нет в массиве текущих состояний, то в тракте организуется циклический опрос и проверка значения параметра.

Если при очередной проверке значение параметра окажется вне допусков, то из тракта в ЦПКУ передается сигнальный пакет, который инициирует следующие действия:

- выдачу в протокол системного сообщения о выходе параметра из допусков (красным шрифтом на сером фоне);
- выдачу в протокол сообщения разработчика, связанного в директиве с данным параметром;
- отработку реакции на нештатное завершение проверки, заданную аргументом <реак>.

Реакция СЛЕД не предусматривает никаких дополнительных действий. Выполнение текущей программы испытаний, если таковая имеется, не прерывается.

Реакция СТОП "мягко" останавливает выполнение текущей программы испытаний, если таковая имеется. При этом текущая директива выполняется до конца, а если есть ожидание времени начала следующей директивы или ожидание окончания паузы, то такое ожидание прерывается. После останова можно выполнять ручные действия с пульта управления или выдать директиву ПУСК для продолжения работы прерванной программы испытаний.

Реакция <имя_прог>, в общем случае, вызывает "мягкий" останов выполнения текущей программы испытаний и запуск указанной программы реакции. После завершения программы реакции управление возвращается прерванной программе испытаний. При выполнении данной программы реакции могут возникнуть потребности в обработке реакции слежения для других параметров или в запуске программ по времени. Эта ситуация разрешается в соответствии с приоритетом режима слежения (см. п.5).

Признак "А" в поле 7 основной строки задается для особо важных параметров слежения, связанных с различными аварийными ситуациями. Если этот признак задан, то отработка выхода из допусков имеет следующие особенности:

- общее сообщение выдается как аварийное и помещается в специальную выделенную панель окна экрана;
- останов текущей программы испытаний выполняется "жестко" с принудительным завершением длительной текущей директивы (кроме директивы ВЫДАТЬ команду). К длительным относятся директивы с количеством параметров более одного. В таких директивах после отработки каждой строки выполняется проба на принудительное завершение директивы;
- запускаемая программа реакции имеет более высокий приоритет по сравнению с программой реакции без признака "А" (см. п.5). После ее завершения прерванная программа испытаний остается на останове.

Для параметра, вышедшего из допусков, продолжается проверка значения и при его входе в допуски выдается уведомительное системное сообщение (белым шрифтом на сером фоне) и возобновляется контроль выхода параметра из допусков.

Контроль при слежении выполняется в фоновом режиме по отношению к текущей программе испытаний до тех пор, пока не будет выдана директива блокировки слежения или директива отмены слежения.

На рис.2 показан пример протокола испытаний при выполнении директивы СЛЕДИТЬ (испытание проводится в режиме имитации объекта контроля).

В этом примере на слежение поставлены четыре параметра, и в качестве реакции задана программа с индексом **cg_sl**. Один из параметров – **COITF_DBL1_SEG** – поставлен на имитацию слежения. Далее, при имитации изменения значения параметра, в первом случае выдается сообщение о том, что параметр находится в допуске (белый шрифт на сером фоне), а во втором случае, при выходе значения параметра из допуска, выдается сообщение (красный шрифт на сером фоне) и запускается программа реакции **cg_sl.dip**.

```

13:49:24.870 006 13.49.24 ВЫЗВАТЬ SL_PAR_CK2
D:\Work_TG\Dir_sl\sl_par_ck2.dip
KC = 8047C617
Следить за параметрами ЦК2
13:49:24.900 001 13.49.24 ПРОГРАМ SL_PAR_CK2
13:49:24.920 002 13.49.24 СЛЕДИТЬ 1BD@COITF_DBL1_SEG И НД=2 ВД=15 CG_SL
13:49:24.920 002 13.49.24 СЛЕДИТЬ 1BD@COITF_DBL2_SEG И НД=3 ВД=25 CG_SL
13:49:24.920 002 13.49.24 СЛЕДИТЬ 1BD@СВИН_CNT И НД=4 ВД=35 CG_SL
13:49:24.920 002 13.49.24 СЛЕДИТЬ 1BD@СВИН_CTST И НД=5 ВД=45 CG_SL
13:49:24.980 003 13.49.24 ИМС
1BD@COITF_DBL1_SEG
13:49:25.000 004 13.49.25 СООБЩ Параметры поставлены на слежение
и на имитацию в ЦФМЦК2
1)Проверьте запись в таблице слежения
2)Имитируйте приход инци. порции от слеж.
нажатием клавиши Alt+F5 (2 раза).
3)Выдайте ПУСК для завершения ЦГ
13:49:25.030 005 13.49.25 СТОП
6_3_1
13.49.38 1BD@COITF_DBL1_SEG И ЗНАЧ=2 НД=2 ВД=15 СЛЕЖЕНИЕ В НОРМЕ
13.49.39 1BD@COITF_DBL1_SEG И ЗНАЧ=1 НД=2 ВД=15 СЛЕЖЕНИЕ->ЗАПУСК CG_SL
ЗАПУСК ЦГ СЛЕЖЕНИЯ
13:49:39.150 13.49.39 ВЫЗВАТЬ CG_SL
D:\Work_TG\Dir_sl\cg_sl.dip
KC = ECD56275
Провер. цвета симв., фона при выз. ЦГ слеж.
13:49:39.190 001 13.49.39 ПРОГРАМ *
13:49:39.190 002 13.49.39 СООБЩ Вызвана ЦГ слежения CG_SL
13:49:39.190 003 13.49.39 ПАУЗА 3
13:49:42.220 004 13.49.42 КПРОГРАМ CG_SL (00:00:03.630) -> SL_PAR_CK2 СЛЕЖ_ПУСК (СТОП -> ПУСК)
14:01:30.580 006 14.01.30 ПУСК SL_PAR_CK2
14:01:30.580 006 14.01.30 ИМС
1BD@COITF_DBL1_SEG ОТМЕН
14:01:30.590 007 14.01.30 КПРОГРАМ SL_PAR_CK2 (00:12:05.719) -> DIR_SL

```

Рис.2. Пример выполнения директивы СЛЕДИТЬ

Данный вид контроля за параметрами можно временно заблокировать или отменить совсем. Для этого предназначены директивы БСЛЕДИТЬ и КСЛЕДИТЬ.

Блокирование/разблокирование слежения за параметрами выполняется директивой БСЛЕДИТЬ.

Директива в табличном формате приведена в табл.2.

Таблица 2

Директива БСЛЕДИТЬ для параметров

Т	Время/Метка	Операция	П	Аргумент1	Аргумент2	Код
1	2	3	4	5	6	7
О	[<мет/вр>]	БСЛЕДИТЬ		<вид_бл>		
		<пар>				
		...				

Где:

- <мет/вр> – метка | время начала выполнения директивы;
- <вид_бл> – может принимать значение БЛОКИР (блокировать параметры) или РАЗБЛОК (разблокировать ранее заблокированные параметры);
- <пар> – параметр или вид группы параметров.

Директива обеспечивает возможность блокирования или разблокирования слежения без исключения параметров из таблицы слежения. В директиве могут указываться как конкретные параметры, так и все параметры какого-либо вида, или одновременно то и другое.

При наличии блокировки параметра фиксируются все изменения состояний этого параметра, но без выдачи сообщений в протокол и отработки реакций.

Отмена слежения за параметрами производится директивой КСЛЕДИТЬ. Директива в табличном формате приведена в табл.3.

Таблица 3

Директива КСЛЕДИТЬ для параметров

Т	Время/Метка	Операция	П	Аргумент1	Аргумент2	Код
1	2	3	4	5	6	7
О	[<мет/вр>]	КСЛЕДИТЬ				
		<пар>				
		...				

Где:

- <мет/вр> – метка | время начала выполнения директивы;
- <пар> – параметр или вид группы параметров.

Аргумент <пар> определяет группу снимаемых со слежения параметров: это может быть конкретный параметр, все параметры в заданном тракте или вообще все параметры по всем трактам.

3.3. Контроль входа параметра в допуски

Данный вид слежения выполняется с помощью директив ИНТЕРВ, ИНТЕРВТС, которые контролируют процесс входа перечисленных в директиве параметров в заданные для них допуски после выдачи команд.

Директива ИНТЕРВ

Директива ИНТЕРВ в табличном формате приведена в табл.4.

Таблица 4

Директива ИНТЕРВ

Т	Время/Метка	Операция	П	Аргумент1	Аргумент2	Код
1	2	3	4	5	6	7
О	[<мет/вр>]	ИНТЕРВ		<интервал>	[<реак>]	
		[<идком>]	[<ду>]			
		
		<идпар>	[<ду>]	<ндоп>	<вдоп>	[<П>]
		

Где:

- <мет/вр> – метка | время начала выполнения директивы;
- <интервал> – интервал времени;
- <реак> – реакция = СТОП | СЛЕД | <имя_прог>;
- <идком> – идентификатор команды;
- <ду> – дополнительное указание (определяет тип представления значения параметра);
- <идпар> – идентификатор параметра;
- <ндоп> – нижний допуск;
- <вдоп> – верхний допуск;
- <П> – указание = С.

В начале директивы могут быть заданы любые команды. Далее перечисляются идентификаторы параметров с допусками. Правило задания допусков описано в п.2

Если для параметра ранее был установлен контроль нахождения в допусках по директиве СЛЕДИТЬ, то этот контроль отменяется.

Далее, если заданы команды, то выполняется выдача всех команд и начиная с этого момента производится отсчет интервала времени. Если команды не заданы, то отсчет времени интервала начинается от начала директивы.

Затем в заданном интервале времени производится циклический запрос значений параметров и проверка их на допуски. Для ускорения получения результатов запроса параметры по одному тракту объединяются в один групповой запрос.

Если параметр оказался в допусках, то он исключается из дальнейшей интервальной проверки, и, при наличии у данного параметра указания "С", он будет поставлен на контроль нахождения в указанных допусках (так как это

делается по директиве СЛЕДИТЬ). Момент входа параметра в допуски фиксируется в протоколе.

Если все параметры в пределах заданного интервала оказались в допусках, то директива завершается штатно до истечения интервала.

Если по завершении интервала проверки хотя бы один параметр оказался вне допусков, то директива завершается нештатно с выдачей в протокол всех ненорм на момент окончания проверки и отработкой реакции.

В случае штатного завершения директивы продолжает выполняться программа испытаний. В случае нештатного завершения поведение программы испытаний определяется реакцией, заданной аргументом <реак>.

На рис.3 показан пример протокола испытаний при выполнении директивы ИНТЕРВ.

```

Протокол испытаний
17.09.23  ВЫЗВАТЬ  intx
                D:\MultiLang_RAD\WinPris\intx.dip
                Проверка директивы ИНТЕРВ
001 17.09.27  ПУСК      intx
001 17.09.27  ПРОГРАМ  Запрос параметров по тракту ЦК2
002                Метка   :N1
002 17.09.27  ИНТЕРВ   5
                ИНТЕРВАЛ 5 сек
002 17.09.27  ПРОВЕРКА ZMODR_KO1 U=27.5 Вольт НД=0.0 ВД=100.0
002 17.09.27  ПРОВЕРКА 1COR@C0ITF_DBL1_SEG И=0x0004 (=4)
                НД=1 ВД=10
002 17.09.27  ПРОВЕРКА 1COR@C0ITF_DBL2_SEG И=0x0005 (=5)
                НД=1 ВД=10
002 17.09.27  ПРОВЕРКА KN0D_KOM10.2      T=001,101 ДОПУСК=101
17.09.32      ИСТЕК ИНТЕРВАЛ
002 ? 17.09.32  ПРОВЕРКА KN0D_KOM1.2      T=100,010 ДОПУСК=001
?                ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ
002 ? 17.09.32  ПРОВЕРКА KN0D_KOM1.3      T=010,001 ДОПУСК=100
?                ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ
002 ? 17.09.33  ПРОВЕРКА KN0D_KOM10.1     T=001,101 ДОПУСК=010
?                ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ
002 ? 17.09.33  ПРОВЕРКА KN0D_KOM10.3     T=101,100 ДОПУСК=000
?                ПАРАМЕТР НЕ В ДОПУСКЕ
003 17.09.34  КПРОГРАМ intx (00:00:10.564)
                КОЛИЧЕСТВО НЕШТАТНЫХ ЗАВЕРШЕНИЙ =1

```

Рис.3. Пример выполнения директивы ИНТЕРВ

В данном примере в течение заданного интервала (5 сек) производится проверка 8 параметров. Четыре параметра вошли в допуски, о чем выданы сообщения черным цветом. Другие четыре параметра до конца интервала не вошли в допуски и для них выданы сообщения красным цветом.

Директива ИНТЕРВТС

Директива предназначена для проведения интервальной проверки только инициативных параметров тракта ВПКУ. Формат директивы аналогичен формату директивы ИНТЕРВ. Значения аргументов директивы идентичны аргументам директивы ИНТЕРВ.

Особенностью отработки этой директивы является то, что вместо циклического запроса значений параметров сразу производится передача

информации обо всех параметрах в ЦФМТС, где и производится контроль за входом в допуски, т.е. используется технология фоновой работы, как и при выполнении директивы СЛЕДИТЬ.

4. Запуск программ по времени

К механизму слежения относятся также возможность периодического выполнения программ испытаний, запуск программ испытаний по стартовому секундомеру и запуск по относительному времени. При запуске таких программ учитывается режим слежения (см. п.5).

Замечание: В этом пункте для сокращения записи структура директив приводится в строчном формате.

4.1. Периодически выполняемые программы

С помощью периодически выполняемых программ контролируется правильность изменения значений параметров во времени. Периодический запуск программы организуется директивой СЛЕДИТЬ, которая имеет вид:

СЛЕДИТЬ ПРОГ <имя_прог> <времясек>

Где:

- ПРОГ – указывает на периодическое выполнение заданной программы испытаний;
- <имя_прог> – имя программы испытаний;
- <времясек> – период времени.

По директиве фиксируется факт установки программы на выполнение и затем через заданный период времени текущая программа испытаний, если таковая имеется, останавливается и автоматически запускается периодическая программа, указанная аргументом <имя_прог>. По ее завершению восстанавливается и продолжает выполнение прерванная программа. Эта процедура повторяется с заданным периодом. Отсчет периода производится от времени окончания периодической программы.

Периодические программы можно заблокировать, после чего время будет контролироваться, но запуск программы не производится. Блокирование производится директивой:

БСЛЕДИТЬ БЛОКИР ПРОГ <имя_прог>

Разблокировать программу можно директивой:

БСЛЕДИТЬ РАЗБЛОК ПРОГ <имя_прог>

Снять совсем программу с периодического запуска (конец слежения) можно директивой:

КСЛЕДИТЬ ПРОГ <имя_прог>

4.2. Программы, запускаемые по времени и по секундомеру

Этот вид запуска позволяет выполнять проверку значений параметров в заранее запланированные моменты времени. В процессе предстартовой подготовки необходимо выполнить последовательность проверок и работ с привязкой ко времени по стартовому секундомеру.

Установка на слежение по стартовому секундомеру или по относительному времени производится директивой ЗАПУСК:

ЗАПУСК <имя_прог> <время_зап> [<М>] [СР]

Где:

- <имя_прог> – имя вызываемой программы испытаний;
- <время_зап> – время запуска = <время>С | +<время>;
- <М> – метка, помечающая задание на запуск программы испытаний в указанное время;
- СР – указание, означающее срочное прерывание текущей программы.

По директиве фиксируется заявка на выполнение программы в указанное время. Время может быть задано в виде <время>С, что означает время запуска по стартовому секундомеру, или в виде +<время>, что означает время запуска в виде смещения относительно текущего времени. В обоих случаях отсчет времени производится в фоновом режиме без прерывания текущей работы. По достижении заданного времени программа испытаний запускается на выполнение с прерыванием текущей программы. Приоритеты запуска этих программ описаны в п.5.

При установке запуска по относительному времени может указываться одинаковое смещение для одной и той же программы испытаний, если установка выполняется в разных директивах ЗАПУСК, т.е. в разное установочное время. Это означает, что по смещению нельзя точно идентифицировать конкретный запуск. В этих случаях для идентификации используется метка.

В программе может быть несколько директив ЗАПУСК. Очередная директива ЗАПУСК не заменяет предшествующие директивы. Таким образом, допускается установка запуска по времени одних и тех же программ испытаний в разное время без отмены предыдущих заданий для этих программ.

Для отмены заданий используется та же директива ЗАПУСК в различных формах.

Отмена всех заданий:

ЗАПУСК ** ОТМЕН

Отмена всех заданий для указанной программы испытаний:

ЗАПУСК <имя_прог> ОТМЕН

Отмена одного задания для программы испытаний с указанным временем:

ЗАПУСК <имя_прог> <время>С ОТМЕН

Отмена одного задания для программы испытаний с указанной меткой <М>:

ЗАПУСК <имя_прог> <М> ОТМЕН

5. Дисциплина запуска программ по времени и программ реакции

Для программ реакции и программ, запускаемых по времени, в ПО ЦПКУ реализована общая дисциплина запуска. Далее программы реакции и программы, запускаемые по времени, будем называть общим термином – программы слежения.

Запуск программ слежения регулируется с помощью набора режимов слежения. Режим слежения характеризует тип запуска программы слежения или отсутствие запущенных программ. Значение режима слежения задает его приоритет. Ниже перечислены режимы слежения в порядке возрастания приоритетов:

ПУСК	Устанавливается при отсутствии запущенных программ слежения.
СТОП1	Устанавливается: <ul style="list-style-type: none"> – при запуске программы реакции, указанной ранее в директиве СЛЕДИТЬ при установке параметров на слежение с реакцией <имя_прог>, но без параметра "А"; – при запуске периодических программ.
СТОП2	Устанавливается при запуске программы реакции, заданной ранее с признаком "А" (аварийная) при установке слежения за параметрами в директиве СЛЕДИТЬ.
СТОП3	Устанавливается при запуске программ по относительному времени.
СТОП4	Устанавливается при запуске программ по стартовому секундомеру.

Для запоминания режимов слежения используется стек, который работает по принципу LIFO. Первоначально, при запуске ПО ЦПКУ, в стек заносится значение режима ПУСК, имеющего самый низкий приоритет, и он становится текущим. Далее, при необходимости запустить какую-либо программу

слежения, проверяется текущий приоритет в стеке. Если запускаемая программа имеет более высокий приоритет, то этот приоритет добавляется в стек и становится текущим, а программа запускается на выполнение. В противном случае программа не запускается, при этом программы реакции и периодические программы ставятся в специальную очередь ожидания на запуск, а программы, запускаемые по относительному времени или по стартовому секундомеру, исключаются из дальнейшей работы, о чем выдается сообщение. Разработчик должен так спланировать взаимодействие программ слежения, чтобы таких случаев пропавания запуска программ не возникало.

При завершении выполнения любой программы слежения необходимо удалить из стека связанный с этой программой режим. Это действие автоматически не выполняется. Об этом должен позаботиться разработчик программы слежения, указав в директивах завершения КПРОГРАМ, ВЫХОД, РВЫХОД в поле 5 аргумент СЛЕЖ_ПУСК.

После удаления из стека режима завершенной программы слежения текущим в стеке становится режим предыдущей программы слежения или режим ПУСК, если это была последняя запущенная программа слежения.

Заключение

АИС нашла широкое применение и успешно использовалась в течение многих лет при разработке и испытаниях различных космических аппаратов, таких как обитаемый модуль “Заря” Международной космической станции, спутники связи типа “Ямал”, грузовой космический корабль “Прогресс–М”, транспортный космический корабль “Союз ТМА”, европейский космический корабль ATV, египетский космический аппарат E-Star и другие космические аппараты.

Перечень сокращений

АИС	автоматизированная испытательная система
БВС	бортовая вычислительная система
БД	база данных
ВО	внешний объект
ВПКУ	вспомогательный персональный компьютер управления
КА	космический аппарат
НТКСИ	наземный технологический комплекс системы измерений
ПК	персональный компьютер
ПКДУ	персональный компьютер дистанционного управления
ПККИ	персональный компьютер команд и измерений
ПКПРТ	персональный компьютер протокола
ПКРЭП	персональный компьютер руководителя электрических проверок
ПО	программное обеспечение
ССБВС	система связи с бортовой вычислительной системой
ТА	технологическая аппаратура
ЦПКУ	центральный персональный компьютер управления
ЦФМ	центральный функциональный модуль
ЦФМТС	центральный функциональный модуль телесигнальных параметров

Литература

1. Т. П. Баранова, В. Г. Буликов, В. Ю. Вершубский, С. А. Гайфулин, В. В. Луцикович, Г. Ю. Молчанова, Т. В. Семенова, М. Р. Шура-Бура. Автоматизированная испытательная система. // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2008, № 29, 14 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2008-29>
2. М. Р. Шура-Бура, М. М. Горбунов-Посадов, Т. П. Баранова, В. Г. Буликов, В. Ю. Вершубский, С. А. Гайфулин, В. В. Луцикович, Г. Ю. Молчанова, М. А. Рогоза, Т. В. Семенова. Автоматизированная испытательная система. Программное обеспечение центрального персонального компьютера управления. Итоговый научно-технический отчет. НГР_01.2.007 02883, М., 2009, 60 с.
3. Т. П. Баранова, В. Г. Буликов, В. Ю. Вершубский, С. А. Гайфулин, В. В. Луцикович, Г. Ю. Молчанова, Т. В. Семенова. Автоматизированная испытательная система. Имитаторы // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша, 2011, № 19, 24 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2011-19>

4. Т. П. Баранова, В. Г. Буликов, С. А. Гайфулин, В. В. Луцикович, Г. Ю. Молчанова, Т. В. Семенова. Автоматизированная испытательная система. Язык программирования Диполь. // Препринты ИПМ им. М.В. Келдыша, 2014, № 7, 23с.
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-7>

Оглавление

Введение.....	3
1. Структура АИС.....	3
2. Общая организация слежения за объектом контроля	6
3. Слежение за параметрами	7
3.1. Базовый уровень работы с параметрами	8
3.2. Контроль нахождения параметров в допусках	11
3.3. Контроль входа параметра в допуски	15
4. Запуск программ по времени	18
4.1. Периодически выполняемые программы	18
4.2. Программы, запускаемые по времени и по секундомеру	19
5. Дисциплина запуска программ по времени и программ реакции.....	20
Заключение	21
Перечень сокращений	22
Литература	22