



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

Препринты ИПМ • Препринт № 7 за 2014 г.



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

Автоматизированная
испытательная система.
Язык программирования
Диполь

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Автоматизированная испытательная система. Язык программирования Диполь / Т.П.Баранова [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2014. № 7. 23 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2014-7>

**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.
Язык программирования Диполь**

Москва — 2014

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

**Автоматизированная испытательная система.
Язык программирования Диполь**

Рассматривается язык Диполь, предназначенный для описания процесса наземных испытаний космических аппаратов (КА) с помощью автоматизированной испытательной системы (АИС). Основой языка являются испытательные директивы, с помощью которых производятся выдача необходимых команд испытываемой аппаратуре, измерение и анализ требуемых параметров, управление ходом выполнения программ испытаний, работа со временем и т.п.

Ключевые слова: испытание, команда, параметр, директива, космический аппарат.

**Tatiana Petrovna Baranova, Valentin Georgievich Bulikov,
Sergey Andreevich Gaifulin, Vladimir Vladimirovich Lucikovich,
Galina Yurievna Molchanova, Tatiana Vladimirovna Semenova**

**The automatic testing system.
Dipol programming language.**

The Dipol programming language — utilized for description of on-ground spacecraft (SC) testing process conducted using the automatic testing system (ATS) — is considered. The language is based on testing directives used to issue the necessary commands for the equipment under review, measure and analyze required parameters, operate the testing program pipeline, manage the timescale, etc.

Key words: testing, command, parameter, directive, spacecraft

Введение

В работе рассматривается язык Диполь, предназначенный для описания процесса наземных испытаний космических аппаратов (КА). Язык разработан в рамках создания автоматизированной испытательной системы (АИС), с помощью которой проводятся наземные испытания космических аппаратов.

1. Задача проведения испытаний космических аппаратов

КА является сложным электромеханическим объектом. При проектировании КА создается документация, содержащая описание его устройства и правил функционирования. По этой документации изготавливаются конкретные экземпляры КА. Цель испытаний — установить, что данный экземпляр КА соответствует документации. В процессе испытаний могут быть выявлены ошибки, как в КА, так и в документации.

Структурно КА состоит из отдельных систем, приборов и т.п. В состав КА также входит бортовая вычислительная система (БВС), состоящая из нескольких компьютеров.

Электронная часть КА представляет собой совокупность электрических цепей. Механическая часть включает силовые установки (моторы и т.п.).

Основными действиями при проведении испытаний являются выдача команд и измерение значений параметров, при этом проверяется правильность изменений значений нужных параметров после выдачи заданных команд.

Выдача команд обычно вызывает замыкание-размыкание контактов, что приводит к определенным действиям. Различаются тумблерные и кнопочные команды. Тумблерные команды производят включение-отключение устройств, например, “включить обогреватель”. Кнопочные команды выдаются на некоторое время, например, подать напряжение на заданную цепь на 100 мсек.

Параметры характеризуют состояние КА. Различаются сигнальные и аналоговые параметры.

Сигнальные параметры имеют значение 0 или 1. Например, с тумблерной командой связывается сигнальный параметр, показывающий состояние тумблера: 1 — включен, 0 — отключен.

Аналоговые параметры — это значения физических величин. Например, напряжение между заданными точками цепи, температура, давление в некотором месте КА. С аналоговыми параметрами связывается единица измерения.

При работе с БВС в процессе испытаний используются все возможности, предоставляемые ее программным обеспечением, например, обмен информацией с памятью компьютера (это обеспечивает также выдачу команд и запрос параметров), запуск и останов программ, передачу в БВС указаний из согласованного списка, прием специальных сообщений о ходе работы БВС.

Испытания конкретного КА производятся в следующем порядке:

- 1) Защитные операции (ЗО). Проверяется целостность каждой электрической цепи, т.е. отсутствие в ней обрывов. Проверяется разобщенность всех цепей, т.е. отсутствие перемычек между ними.
- 2) Проверочные включения (ПВ). Для каждой системы (прибора) производится проверка работоспособности путем включения, выдачи команд на выполнение отдельных функций с проверкой результатов работы системы и выключения.
- 3) Комплексные испытания (КИ). Проверяется взаимодействие систем КА на различных этапах его работы в реальном времени. Например, начальное приведение КА в рабочее состояние, установление связи с наземными станциями, спуск с орбиты и т.п.

2. Средства проведения испытаний

Испытательные действия задаются в виде директив языка Диполь. Последовательности директив, реализующие различные этапы испытаний, оформляются в виде программ испытаний.

Испытания производятся с помощью АИС.

АИС представляет собой многомашинный программно-аппаратный комплекс на базе персональных компьютеров (ПК), соединенных между собой с помощью сети типа Ethernet (рис. 1.).

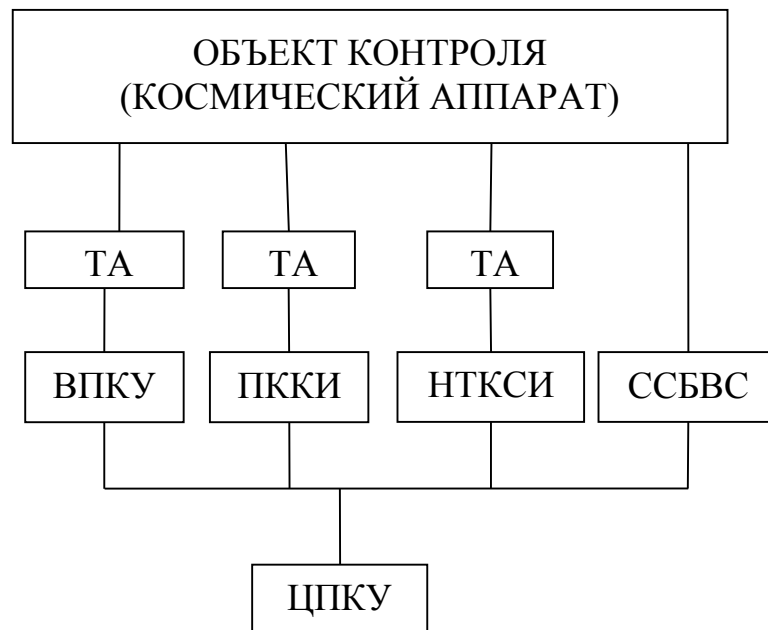


Рис.1. Автоматизированная испытательная система

Испытываемый в данный момент КА называется также объектом контроля (ОК).

ЦПКУ — центральный ПК управления. Он снабжен экраном и клавиатурой, с помощью которых оператор проводит испытания и следит за их ходом. ЦПКУ соединен с ОК по нескольким трактам. Тракт состоит из

компьютера и технологической аппаратуры (ТА), связанной своими специфическими средствами с ОК. По трактам производится обмен информацией между ОК и ЦПКУ.

Логически программное обеспечение ЦПКУ состоит из управляющей компоненты и согласующей компоненты.

Управляющая компонента выполняет испытательные директивы. Результаты испытаний фиксируются в файле протокола и отображаются на экране. Оператор может запускать программы, приостанавливать их работу, выполнять с пульта отдельные директивы. Он также оперативно реагирует на отклонения от нормального хода испытаний, аварийные ситуации и т.п.

Согласующая компонента обеспечивает обмен информацией с ОК и состоит из центральных функциональных модулей (ЦФМ). Для каждого тракта имеются два ЦФМ — синхронный и асинхронный. Синхронный ЦФМ связан с соответствующим компьютером тракта двумя односторонними каналами. По одному в компьютер посылается запрос на выполнение нужного действия, а по другому принимается ответ на запрос. Асинхронный ЦФМ связан с компьютером одним каналом, направленным от компьютера к ЦФМ. По этому каналу приходят асинхронные (инициативные) пакеты с информацией об изменениях, происходящих в ОК. ЦФМ сохраняет эту информацию и, если требуется, передает в управляющую компоненту заявку на выполнение нужных действий. Тракты выполняют описанные ниже функции. Компьютеры трактов также имеют экран и клавиатуру для вспомогательных работ и обмена информацией.

ВПКУ — вспомогательный ПК управления. В ТА фиксируется информация об изменении сигнальных параметров, которая периодически передается в ВПКУ, где формируется массив реальных состояний параметров и организуется его отображение на экране ВПКУ. Эта же информация передается из ВПКУ в соответствующий ЦФМ ЦПКУ, где также формируется массив реальных состояний.

ПККИ — ПК команд и измерений. По тракту ПККИ с помощью средств ТА производится выдача на ОК релейных, матричных, токовых команд, а также измерение значений параметров электрических цепей (токов, напряжений, сопротивлений).

НТКСИ — наземный технологический комплекс системы измерений. По тракту НТКСИ с помощью средств ТА ведется систематический сбор и сохранение телеметрической информации о состоянии ОК.

ССБВС — система связи с бортовой вычислительной системой. Обмен ССБВС с БВС производится по специальному каналу, не входящему в сеть АИС. ТА отсутствует. Поступающие из БВС сообщения передаются в соответствующий ЦФМ ЦПКУ, где для них формируется массив реальных состояний.

Испытания производятся на специальных стендах, объединяющих в единое целое ОК, АИС, вспомогательные средства, имитацию реальных условий, в которых работает ОК, и т.п.

3. Язык Диполь

3.1. Историческая справка

Работа над языком Диполь началась весной 1983 г. в связи с проектом орбитального корабля “Буран”. Наземные испытания корабля должны были проводиться с помощью автоматизированного испытательного комплекса (АИК), организованного на основе ЭВМ СМ-2М. При этом остро встал вопрос о написании машинных программ испытаний, поскольку инженеры-испытатели, проектирующие алгоритмы испытаний, не были специалистами в вопросах программирования.

Для решения этого вопроса было предложено, опираясь на имевшиеся средства описания процесса испытаний, разработать язык высокого уровня, ориентированный на профессионалов — испытателей. В то время испытания проводились в основном с помощью ручных станций. Последовательность испытательных действий записывалась в журналы испытаний в виде таблиц. Каждая строчка таблицы содержала необходимую информацию о действии и объекте действия — команде, параметре, которые обозначались определенным образом организованными идентификаторами. Подобная запись процесса испытаний называлась ДИЛ (директивная логика).

Язык Диполь был разработан путем формализации такой записи, при этом в нем была сохранена совокупность понятий, терминов и обозначений, которыми пользовались испытатели. В язык были также включены средства управления ходом выполнения программы, работа со временем и пр.

После успешного запуска корабля “Буран” в 1988 г. работа по этому проекту была закрыта. В то же время АИК на базе Диполя использовался для испытаний других космических аппаратов.

В дальнейшем на основе языка Диполь была разработана автоматизированная испытательная система, которая эксплуатируется до настоящего времени.

3.2. Общая организация проведения испытаний

Для проведения испытаний производится загрузка ПО АИС. Период времени от загрузки ПО до выполнения директивы КСЕАНСА называется сеансом испытаний.

Как уже говорилось, оператор во время испытаний может выполнять отдельные директивы и запускать программы. Из программы могут быть вызваны другие программы. Совокупность действий от запуска с пульта головной программы и до ее окончания, включая промежуточные вызовы других программ, называется работой.

Обособленная часть испытаний, например, проверка некоторых систем ОК, которая проводится разработчиками этих систем, называется разделом испытаний. Раздел может состоять из нескольких работ.

За время сеанса выполняется один или несколько разделов.

3.3. Объекты языка

Объекты языка используются в качестве аргументов директив и делятся на внутренние и внешние. Внутренние объекты создаются в АИС автоматически или по специальным директивам, внешние объекты принадлежат ОК.

К внутренним объектам относятся местные параметры, параметры разработчиков, секундомеры, индексы (имена) программ, метки в программах, Д-параметры (макросредства), константы, названия директив и другие обозначения.

Местные параметры имеют predetermined имена и делятся на глобальные и локальные. Глобальные параметры создаются в начале сеанса и доступны всем программам. При запуске каждой программы создается свой набор локальных параметров, который доступен только в этой программе. В конце работы программы он уничтожается. Местные параметры разделяются на рабочие, которые использует программист, и системные, которые формируются ПО ЦПКУ для управления работой программ. Они доступны программисту только для чтения.

Идентификатор местного параметра состоит из трех элементов. Первый элемент: G — глобальный, L — локальный. Второй элемент содержит тип: B — unsigned short, BC — unsigned char, BL — unsigned long, N — short, NC — char, NL — long, F — float, FL — double. Третий элемент: для рабочих — номер, для системных — имя. Например, GB3, LN_ERROR.

Рабочие параметры разработчиков (PP-параметры) создаются и уничтожаются в любой момент сеанса по специальной директиве (см. п.3.5.). Эти параметры включаются в базу данных и сохраняются после окончания сеанса, т.е. они являются как бы сверхглобальными. Идентификатор такого параметра имеет следующую структуру:

G<тип>.<блок>_<имя>

<тип> формируется как у местных параметров. Понятие <блок> (три символа) введено для того, чтобы исключить задание одинаковых идентификаторов разными разработчиками. Каждому разработчику выделяется свой блок. Имена разработчик выбирает произвольно. Блок может выделяться на группу разработчиков, связанных одной темой.

Для работы со временем используются секундомеры следующих видов:

- Глобальные — А, Б, В;
- Локальные — Г, Д, Е;
- Рабочий — Р;
- Специальный — С.

Аналогично местным параметрам, глобальные секундомеры определены на все время сеанса, а локальные — на время выполнения каждой конкретной программы. Секундомеры “Р” и “С” также являются глобальными. Секундомер “С” считает время в обратной последовательности. Секундомер “Р” автоматически запускается в начале сеанса. Остальные секундомеры запускаются и останавливаются по директивам. Время записывается в виде
<часы>*<минуты>*<секунды>

Секунды можно задавать в виде десятичной дроби с точностью до тысячных долей.

К другим внутренним объектам относятся: программы, метки, Д-параметры.

Программы хранятся в файлах с расширением `dir`. В качестве индекса программы используется имя файла без расширения.

Метки используются для выполнения переходов в программе и записываются в виде:

:<идентификатор>, например, :M1.

В языке используются макросредства. Они реализуются с помощью Д-параметров, которые обозначаются идентификаторами с символом \$ в начале и конце. Например, \$AB\$.

Имеются также константы, названия директив и другие обозначения.

К внешним объектам (ВО) относятся связанные с ОК команды, параметры, программы, специальные сообщения БВС. ВО делятся на виды. Например: релейные команды, сигнальные параметры, бортовые алгоритмы и т.п. Информация о ВО хранится в базе данных (БД). Информация специфична для каждого вида ВО. Идентификатор ВО имеет следующую структуру:

<классификатор>_<содержательная часть>

Классификатор определяет вид ВО и тракт. В некоторых случаях в нем содержится другая информация, например, обозначение системы ОК, к которой относится данный ВО.

При записи ВО в программе в зависимости от его вида может быть задано дополнительное указание (<ду>). Например, для релейных команд указывается: В — включение, О — отключение, К — кнопочная; для аналоговых параметров тракта ПККИ указывается: R — сопротивление, U — напряжение, I — ток.

3.4. Структура и выполнение директив

Директива в программе записывается в табличной форме и состоит из одной или нескольких строк. Первая строка называется основной, остальные — дополнительными. Строка состоит из полей. На рис.2. приведена структура основной строки формата ТФ1 (7 полей) с указанием названий полей и их номеров.

Т	Время, метка	Операция	П	Аргумент 1	Аргумент 2	Код
1	2	3	4	5	6	7

Рис.2. Структура основной строки формата ТФ1

Поле 1 определяет тип строки. В поле 1 основной строки указывается буква “О”.

В поле 2 могут быть заданы метка или время начала выполнения директивы с указанием секундомера. Например, 5*30А означает, что директива должна начать выполняться, когда секундомер “А” примет значение 5 минут 30 секунд. Если время на секундомере “А” окажется больше, то будет выдана ошибка “Время просрочено”. Метка, например, :M1 используется для выполнения перехода на данную директиву.

В поле 3 задается название директивы большими русскими буквами до 8 символов.

Поля 5, 6, 7 заполняются в зависимости от директивы.

В поле 4 задается условие выполнения директивы и блокировка останова.

В языке имеются особые директивы, проверяющие состояние ОК, для которых определено понятие штатного или нештатного завершения. Тип завершения фиксируется в системной переменной LN_DIR. Если состояние ОК соответствует заданным в директиве ограничениям, то директива завершается штатно и в LN_DIR заносится 0, иначе директива завершается нештатно и в LN_DIR заносится 1.

Если в поле 4 любой директивы указать “Ш”, то она будет выполняться при LN_DIR=0. Указание “Н” соответствует LN_DIR=1. Таким образом, производится разветвление по штатному – нештатному завершению директив.

В поле 6 особых директив задается реакция на нештатное завершение: СТОП — останов программы и выход в диалог с оператором, СЛЕД — продолжение работы программы. Кроме того, при выполнении программы в LN_ERROR подсчитывается число нештатно завершенных директив, которое выдается в протокол при завершении программы.

Разветвление можно также производить по результату выполнения директивы УСЛОВИЕ, который фиксируется в системной переменной LN_IST(см.п.3.6.). Если проверяемое в директиве условие имеет значение истина, то в LN_IST заносится 1, иначе(значение ложь) в LN_IST заносится 0.

Если в поле 4 любой директивы указать “И”, то она будет выполняться при LN_IST = 1. Указание “Л” соответствует LN_IST = 0.

В некоторых случаях логика работы ОК требует выполнения последовательности действий с жесткой привязкой ко времени. Соответственно, часть программы, реализующая эти действия, должна выполняться без остановов. Для таких случаев используется блокировка останова между данной и следующей директивой, которая задается с помощью указания “Б” в поле 4. Это указание может сочетаться с предыдущими, например, “ИБ”. Если останов заблокирован, то он будет выполнен после

первой же директивы программы, у которой отсутствует признак “Б” (отложенный останов).

Для записи некоторых директив используются строки табличного формата 2 (ТФ2), в которых поля с 4 по 7 объединены в одно обобщенное поле с сохранением общего размера строки. Обобщенное поле используется для записи текстовых сообщений.

Дополнительные строки в основном используются при работе с внешними объектами (ВО). Поля дополнительных строк заполняются в соответствии с синтаксисом каждой директивы. Поле 1 не заполняется. В поле 2 может быть указано время выполнения действия с данным ВО, отсчитанное от начала директивы (без указания секундомера). В поле 3 задается идентификатор ВО. В поле 4 помещается дополнительное указание, если оно требуется для ВО.

Директивы оператора вводятся с клавиатуры и задаются в строчной форме. Название директивы и ее аргументы отделяются одним или несколькими пробелами. Директива оператора соответствует основной строке и одной дополнительной строке (если она есть) табличной формы. В связи с этим в ней при работе с ВО можно выдать только одну команду или запросить значение одного параметра. В директиве оператора указание “О”, время, метка, условия выполнения и блокировки не задаются.

3.5. Директивы общего назначения

Директивы общего назначения выполняют управление работой программы, установку секундомеров, выдачу сообщений, вычисления. В них используются только внутренние объекты. Содержимое полей 2 и 4 было описано выше, поэтому в приведенных далее описаниях директив эти поля не заполняются.

Директива ПРОГРАМ

О		ПРОГРАМ	<заголовок>
			...

Директива определяет начало программы и должна быть первой. В заголовке задаются название программы и необходимые пояснения. Дополнительные строки могут отсутствовать.

Директива КПРОГРАМ

О		КПРОГРАМ				
---	--	----------	--	--	--	--

Директива завершает выполнение программы и производит возврат в точку вызова. Она должна быть последней в программе.

Директива ВЫХОД

О		ВЫХОД				
---	--	-------	--	--	--	--

Данная директива совпадает по действию с КПРОГРАМ, но может помещаться в любом месте программы.

Директива РВЫХОД

О		РВЫХОД				
---	--	--------	--	--	--	--

По директиве производится выход из работы, т.е. последовательный выход из всех запущенных программ.

Директива ВЫЗВАТЬ

О		ВЫЗВАТЬ		<индпрог>		
		<текст>	<Д-пар>			
				

Директива запускает программу на выполнение, <индпрог> — индекс программы (имя файла без расширения). Если в вызываемой программе используются Д-параметры (<Д-пар>), то в дополнительных строках им задаются значения (<текст>), которые будут подставлены вместо Д-параметров при выполнении программы.

Директива УСТСЕК

О		УСТСЕК		<уквр>	<секундомер>	
---	--	--------	--	--------	--------------	--

Где: <уквр> = <время> | ОТМЕН

Если в поле 5 указано время (оно может быть = 0), то оно засылается в качестве начального значения на заданный в поле 6 секундомер, и он запускается. Если в поле 5 указано ОТМЕН, то секундомер останавливается и становится недоступным. Секундомеры “Р” и “С” не допускаются.

Директива ПАУЗА

О		ПАУЗА		<время>		
---	--	-------	--	---------	--	--

Директива приостанавливает выполнение программы на указанное в поле 5 время.

Директива СООБЩ

О		СООБЩ				
			<сообщение>			
			...			

Директива выдает на экран и в протокол испытаний сообщения, указанные в дополнительных строках.

Аналогичная директива СООБЩЗВ сопровождает сообщение звуком.

Аналогичная директива СООБЩАВ дополнительно выдает сообщение в окно аварийных сообщений красным цветом. Удаление аварийных сообщений из окна производится директивой СБРОСАС.

Директива ДИРЕКТ

О		ДИРЕКТ			<реакция>	
			<сообщение>			
			...			

Директива приостанавливает выполнение программы на время проведения нестандартных (неавтоматизированных) действий с ОК. В протокол и на экран выдается сообщение, содержащее указания оператору АИС по дальнейшей работе. Оператор должен подтвердить прием директивы, после чего организовать выполнение указанных действий, а по их окончанию дать ответ о штатном или нештатном завершении директивы. Директива является особой, т.е. устанавливает признак штатного/нештатного завершения LN_DIR, значение которого определяется ответом оператора. При этом в поле б задается реакция на нештатное завершение: СТОП, СЛЕД.

Директива ВЫЧИСЛ

О		ВЫЧИСЛ				
		<рез>	<оп>	<arg1>	<arg2>	
		

Директива выполняет вычисления. В <рез> заносится результат операции, задаваемой <оп>, над <arg1> и <arg2>. <рез> должен быть рабочим параметром, а <arg1> и <arg2> могут быть любыми внутренними параметрами или константами.

Пример:

		LF3	*	GF9	3.14	
--	--	-----	---	-----	------	--

Значение GF9 умножить на 3.14 и занести в LF3.

Директива выполняет арифметические, логические операции, сдвиги и некоторые функции.

Директива ИСП

О		ИСП		<режисп>		
---	--	-----	--	----------	--	--

Директива устанавливает режим исполнения: АВТ — автоматический, ШАГ — шаговый с остановкой перед каждой директивой.

Директива ТОЧКИОСТ

О		ТОЧКИОСТ		<индпрог>	<точка>	
				

Где: <точка> = <номер> | -<номер>

Каждая строка директивы задает или отменяет точку останова в программе <индпрог>. <номер> — номер директивы в программе, перед которой должен произойти останов. “-” отменяет точку останова.

Директива БЛО

О		БЛО		ВКЛ ОТКЛ		
---	--	-----	--	----------	--	--

Директива включает (ВКЛ) или отключает (ОТКЛ) действие признака “Б” в поле 4 директивы (см. п.3.4.).

Директива РЕАК

О		РЕАК		<реакция>		
---	--	------	--	-----------	--	--

Где: <реакция> = СТОП | СЛЕД

Данная реакция используется в том случае, если в особой директиве реакция в поле 6 не указана.

Директива СТОП

О		СТОП				
			<сообщение>			
			...			

Директива останавливает выполнение программы. В протокол и на экран выдается заданное в директиве сообщение. Далее можно выполнять директивы оператора.

Директива НЕТОП

О		НЕТОП				
---	--	-------	--	--	--	--

Директива не выполняет никакого действия и используется, в основном, для задания времени или метки.

Директива НА

О		НА		<метка>		
---	--	----	--	---------	--	--

Директива производит переход на директиву программы с данной меткой в поле 2. При выполнении директивы с пульта оператора вместо метки можно задавать номер директивы.

Директива РР_ПАР

О		РР_ПАР		[<блок>]	<режим>	
		<идРР>		[<знач>]		
			

Директива создает или уничтожает рабочие параметры разработчика (см.п.3.3.).

<идРР> — идентификатор рабочего параметра разработчика

<режим> = + | - | -БЛ

При режиме “+” создаются указанные РР-параметры с присвоением начального значения <знач>, если оно опущено, то 0. При режиме “-“ уничтожаются указанные параметры. При режиме “-БЛ” уничтожаются все параметры блока, указанного в поле 5. В этом случае дополнительные строки на задаются.

Директива СИНКОНТР

О		СИНКОНТР		<индпрог>		
		<текст>		<Д-пар>		
			

Структура директивы СИНКОНТР аналогична структуре директивы ВЫЗВАТЬ. Директива вызывает и проверяет указанную программу без ее выполнения. На экран и в протокол выдаются сообщения об ошибках, обнаруженных в директивах программы с учетом Д-параметров. Программа проверяется до конца.

Директива РВРЕМЯ

О		РВРЕМЯ				
---	--	--------	--	--	--	--

Директива РАЗДАТЬ ВРЕМЯ используется для синхронизации времени в ПК АИС с временем ЦПКУ.

Директива КОММЕНТ

О		КОММЕНТ		<куда>		
	<текст-сообщения>					

По директиве текст сообщения заносится в протокол ПК АИС, указанного в параметре <куда>, или во все ПК АИС, если указано ВСЕ.

3.6. Директивы работы с объектом контроля

С помощью этих директив производится выдача команд на ОК, анализ изменений параметров и дополнительные действия с ОК. Для наглядности директивы описываются в виде примеров. Информацию о внешних объектах, связанных с ОК, см. в п.3.3.

Директива ВЫДАТЬ

О		ВЫДАТЬ				
		UN0D_ТТХОД	В			
		UM0A_ВКЛ.КСК1	К			

Выдаются релейная команда на включение и кнопочная команда.

Директива ПРОВЕРКА

О		ПРОВЕРКА			СТОП	
		KN0D_КОМ1		1		
		ZN4Q_V1	R	5.3	10.8	

Директива проверяет значения параметров на допуски: нижний (в поле 5) и верхний (в поле 6). Первый параметр сигнальный (0,1), он сравнивается с нижним допуском на равенство. Второй параметр аналоговый (R — сопротивление), он проверяется на больше или равно для нижнего допуска и

меньше или равно для верхнего допуска. Директива является особой. Если хотя бы один параметр оказался не в допуске, то директива завершается нештатно и выполняется реакция СТОП, заданная в поле 6 основной строки. Тип завершения фиксируется в системной переменной LN_DIR.

Директива ЗАПРОС

О		ЗАПРОС				
		KN0D_KOM1				
		ZN4Q_V1	R			

Запрошенные значения параметров выдаются на экран и в протокол.

Директива ЧТЕНИЕ

О		ЧТЕНИЕ				
		KN0D_KOM1		LBC1		
		ZN4Q_V1	R	LF3		

Запрошенные значения внешних параметров заносятся в рабочие параметры типа unsigned char и float в соответствии с типами внешних параметров.

Директива ЗАПИСЬ

О		ЗАПИСЬ				
		ZP_003		1		
		СВИН_CNT	И	GB3		

Запись производится только в те параметры, для которых она разрешена. В данном случае первый параметр является аварийным признаком, испытателю разрешено их менять. Второй параметр является переменной БВС, в которую также можно писать. Указание “И” означает, что исходный тип переменной задан в БД. Тип рабочего параметра (unsigned short) согласуется с этим типом.

Директива УСЛОВИЕ

О		УСЛОВИЕ				
		СВИН_CNT	Ф	>=	0.5	
		ИЛИ				
		СВИН_CNT	Ф	<=	8.3	

В директиве проверяются заданные в дополнительных строках отношения. Операция отношения указывается в поле 5. Если отношение выполнено, то результат равен 1 (истина), иначе 0 (ложь). Над результатами проверок отдельных отношений выполняются логические операции “И” и “ИЛИ”. Если две строки следуют одна за другой, то над их результатами выполняется операция “И”. Операция “ИЛИ” задается явно. Первыми выполняются операции “И”, а затем операции “ИЛИ”. Полученное значение всего условия 1 (истина), 0 (ложь) заносится в системную переменную LN_IST и в дальнейшем используется при проверке условия выполнения директив (И, Л).

Приведенный пример по выполняемым сравнениям эквивалентен проверке параметра на допуск. “Ф” означает, что значение параметра является физической величиной.

Описанное выше условие используется также в директивах перехода.

Директива ЕСЛИДА

О		ЕСЛИДА		:M1		
		KN0D_KOM1		==	1	

Если условие выполнено (=1), то производится переход на директиву с меткой :M1.

Директива ЕСЛИНЕТ

О		ЕСЛИНЕТ		:M2		
		KN0D_KOM1		==	1	

Если условие не выполнено (=0), то производится переход на директиву с меткой :M2.

Директива З_РЕСУРС

О		З_РЕСУРС				
		KL0X_ZPY1				

Устройства и приборы на КА имеют ресурс работы по времени или по числу включений. Реальный расход ресурса подсчитывается в ВПКУ. Данная директива выводит в протокол и на экран информацию о выработке ресурса прибора.

Директива ЦБ_ПРОГ

О		ЦБ_ПРОГ				
		СРВ1_СТХ		ПУСК		

Директива производит запуск указанного бортового алгоритма. В поле 6 можно указать также другие действия: СТОП — останов, БЛОК — блокировка, РАЗБЛ — разблокировка.

Директива Ц_ВРЕМЯ

О		Ц_ВРЕМЯ		10/10/2010	10*10*10	
О		Ц_ВРЕМЯ		?		

Первая директива производит установку времени в БВС. В поле 5 задается дата, в поле 6 — время. Время можно задавать в виде смещения относительно текущего времени (+<время>). Вторая директива выполняет запрос времени БВС с выдачей в протокол и на экран.

Директива СООББВС

О		СООББВС				
		С1\1\5		3	СОЗД	
		F0\0\9			ОТМЕН	

Для работы с сообщениями БВС как с параметрами их надо предварительно выделить (описать) по директиве СООББВС. Идентификатор сообщения задается в виде <префикс>\<тип>\<код>. Префикс (С1, С2, F0) указывает источник сообщения (ПК БВС); тип: 0 — аварийное, 1 — командное; код — целое.

Первая дополнительная строка описывает три сообщения в соответствии с указанием в поле 5. Сообщениям приписываются последовательные коды, начиная с кода, указанного в поле 3, т.е. коды 5, 6, 7 в ПК С1. Вторая отменяет описание сообщения в ПК F0.

Сообщение имеет несколько полей (G, L, S, B, W, T). В полях задаются различные счетчики и признаки блокировки. Эти сообщения поступают из БВС в ЦПКУ асинхронно. Факт прихода сообщения фиксируется в счетчиках.

3.7. Директивы работы с группами точек

Эти директивы выполняют защитные операции (см.п.1.).

Директива ПЦЦ

О		ПЦЦ		<здр>	<реакция>	
		<идточки>				
		<идточки>			<вдоп>	
		

Директива проверяет целостность цепи, заданной последовательностью точек (<идточки>). Проверяется сопротивление между парами точек. Первая точка пары всегда берется из первой дополнительной строки, а вторая точка пары последовательно берется из остальных дополнительных строк.

Директива является особой. Если хотя бы для одной пары точек величина сопротивления окажется больше верхнего допуска, указанного в поле 6 второй точки, то директива завершается нештатно и выполняется реакция, заданная в поле 6 основной строки.

Задержка (<здр>) определяет интервал времени от момента подключения измерителя к проверяемой цепи до получения результата измерения (может быть опущена).

Директива ПРЦ

О		ПРЦ		<здр>	<реакция>	
		<идточки>		<ндоп>		
		<идточки>				
		...				

Директива проверяет разобщенность цепей. В каждой цепи выбирается представляющая ее точка. Все эти точки записываются в директиву ПРЦ. При выполнении директивы проверяется величина сопротивления между каждой парой точек в обоих направлениях, т.е. Т1-Т2 и Т2-Т1. Если хотя бы для одной пары величина сопротивления окажется меньше нижнего допуска, заданного в

поле 5 первой дополнительной строки, то директива завершается нештатно и выполняется реакция. Указание <др> аналогично директиве ПЦЦ.

Директива Ш_КОРПУС

О		Ш_КОРПУС		<шина>	<Рпар>	
---	--	----------	--	--------	--------	--

По директиве происходит измерение сопротивления между заданной шиной и корпусом ОК. Параметр <шина> обозначает техническое название шины по документации. Результат записывается в рабочий параметр типа F (float).

3.8. Директивы слежения и запуска программ по времени

Эти директивы выполняют интервальную проверку параметров, фоновое слежение за параметрами, запуск периодически выполняемых программ, запуск программ в заданное время.

Директива ИНТЕРВ

О		ИНТЕРВ		<интервал>	<реак>	
		<идпар>	<ду>	<ндоп>	<вдоп>	
		

Директива записывается так же, как директива ПРОВЕРКА. Дополнительно задается интервал времени в поле 5 основной строки. Директива предназначена для слежения за значениями указанных параметров в заданном интервале времени.

При выполнении директивы производится запрос значений параметров с максимально возможной частотой и проверка их на допуски. Если параметр оказался в допуске, то он исключается из дальнейшей проверки. Этот момент регистрируется в протоколе. Если все указанные параметры в пределах заданного интервала оказались в допуске, то директива завершается штатно до окончания интервала. Если по истечении интервала какой-либо параметр оказался не в допуске, то директива завершается нештатно с отображением на экране всех ненорм на момент окончания проверки и выполнением реакции (СТОП, СЛЕД).

Директива СЛЕДИТЬ за параметрами

О		СЛЕДИТЬ			<реакция>	[А]
		<идпар>	<ду>	<ндоп>	<вдоп>	
		

Директива записывается так же как директива ПРОВЕРКА. Дополнительно могут быть заданы индекс программы (<индпрог>) в качестве реакции и признак "А" в поле 7 для особо важных аварийных параметров. По директиве вся относящаяся к параметру информация передается в соответствующий тракт и фиксируется в ЦПКУ. На этом директива заканчивает

работу. Контроль параметров выполняется в трактах в фоновом режиме по отношению к текущей программе.

Контроль параметра состоит в постоянном опросе его значения (средствами тракта) и проверке его на допуски. Если при очередной проверке значение окажется вне допусков, то оператору АИС передается сообщение на экран и в протокол. Если указан признак “А”, то сообщение будет аварийным.

Дальнейшие действия определяются реакцией. При реакции СЛЕД дополнительных действий нет, и выполнение текущей программы продолжается. При реакции СТОП выполнение текущей программы приостанавливается. При реакции <индпрог> текущая программа приостанавливается и автоматически запускается программа, указанная в реакции (детали см. в конце пункта). Если задан признак “А”, то запускаемой программе присваивается статус “аварийной”. После завершения программы, заданной в реакции, управление возвращается приостановленной программе.

Директива СЛЕДИТЬ за программами

О		СЛЕДИТЬ				
		ПРОГ		<индпрог>	<время>	
		

По этой директиве организуется периодический запуск программ, заданных индексами <индпрог>.

Первый раз программа запускается через заданный интервал времени. Каждый следующий запуск производится через заданный интервал времени после предыдущего окончания ее работы. Текущая программа приостанавливается на время выполнения периодической программы.

Директива БСЛЕДИТЬ

О		БСЛЕДИТЬ		<вид_бл>		
		<указание>				
		...				

Где: <вид_бл> = БЛОКИР | РАЗБЛОК

Директива приостанавливает (БЛОКИР) и разрешает (РАЗБЛОК) активные действия, связанные со слежением без снятия объектов со слежения. Так при блокировке параметра фиксируются все изменения его состояния, но не выдаются сообщения и не отрабатывается реакция. При блокировке программы контролируется время, но не производится запуск программы.

В <указание> могут быть заданы отдельные параметры или программы, все параметры по заданному тракту, все программы, все объекты слежения. Запрещается блокировать только аварийные параметры (с признаком “А”).

Директива ЗАПУСК по времени

О		ЗАПУСК				
		<индпрог>		<время_зап>	[<М>]	
		

Директива задает привязку запуска программы <индпрог> ко времени. Время запуска задается в поле 5 в одном из двух видов:

<время>С — время запуска программы по секундомеру “С”.

+<время> — время запуска программы в виде смещения относительно текущего времени.

Параметр <М> в поле 6 — это маркер, который используется при отмене задания. Для относительного времени обязателен.

Директива фиксирует привязку программ ко времени и заканчивает работу. Отсчет заданного времени выполняется асинхронно по отношению к основной работе. По достижению заданного времени выполнение текущей программы приостанавливается и запускается программа, привязанная к этому времени. После завершения этой программы производится возврат в прерванную программу.

Директива ЗАПУСК для отмены

О		ЗАПУСК				
		<индпрог>		<доп_ук>	ОТМЕН	
		

Директива запуск с признаком ОТМЕН отменяет предыдущие задания. Если <доп_ук> отсутствует, то отменяются все задания для указанной программы. Если в <доп_ук> указано время по секундомеру “С”, то отменяется задание с этим временем. Если указан маркер, то отменяется задание с этим маркером.

Директива СЛЕДИТЬ для установки режима

О		СЛЕДИТЬ				
		<режим>				

Запуски программ регулируются режимами слежения СТОП разных уровней и ПУСК наименьшего уровня.

Описанные выше запуски программ устанавливают следующие уровни (приоритеты) режима слежения СТОП:

- 1) СТОП1 — запуск программы-реакции или периодической программы;
- 2) СТОП2 — запуск аварийной программы-реакции (есть признак “А”);
- 3) СТОП3 — запуск программы по относительному времени;
- 4) СТОП4 — запуск программы по стартовому секундомеру “С”.

Имеется список режимов. При загрузке АИС в нем устанавливается текущий режим ПУСК.

Перед запуском программы проверяется, что ее режим больше текущего режима в списке. Если да, то программа запускается, а ее режим заносится в

список и становится текущим. Если нет, то программа не запускается, при этом периодические программы ставятся в специальную очередь, а программы других типов исключаются из дальнейшей работы.

С помощью директив СЛЕДИТЬ СТОП1, СЛЕДИТЬ СТОП4 можно занести в список режимы СТОП1, СТОП4 без запуска программы, например, чтобы заблокировать запуски программ с соответствующими режимами.

При завершении выполнения программы связанный с ней режим автоматически не сбрасывается. Для удаления режима из списка надо при выходе из программы по директивам КПРОГРАМ, РВЫХОД, ВЫХОД указать в них в поле 5 СЛЕЖ_ПУСК. Аналогичное действие выполняется по директиве СЛЕДИТЬ ПУСК

Директива КСЛЕДИТЬ

О		КСЛЕДИТЬ				
		<указание>				
		...				

Директива завершает действия, связанные со слежением.

В <указание> могут быть заданы отдельные параметры и программы, все параметры по заданному тракту, все программы, все объекты слежения.

3.9. Директивы, выдаваемые только из диалога

Ряд директив в силу их особенностей выполняются только оператором из диалога.

СРОСТ — выполняет срочный останов текущей программы.

ПУСК — инициирует выполнение очередной директивы после останова текущей программы.

ПОВТОР — вызывает повторение предыдущей директивы программы, если она не была связана с переходом.

*<текст> — заносит в протокол замечания и комментарии оператора.

УСТКП <дата><время> — устанавливает в ЦПКУ и ССБВС дату и время старта КА (время КП) и запускает секундомер “С”, считающий время в обратной последовательности. Если вместо даты и времени указать ОТМЕН, то данная установка отменяется.

КСЕАНСА — заканчивает работу АИС, в этот момент все программы должны быть завершены.

Имеются также директивы, выполняющие запрос информации (параметры на слежении, сообщения БВС, точки останова и т.п.) и другие вспомогательные действия.

4. Заключение

С помощью данной разработки испытывались такие космические аппараты как модуль “Заря” международной космической станции (МКС), спутники мониторинга типа “Ямал”, грузовой космический корабль “Прогресс”,

транспортный космический корабль “Союз ТМА”, европейский космический корабль ATV. В связи с работами по европейскому кораблю ATV была разработана англоязычная версия языка Диполь и АИС.

Перечень сокращений

АИК	— автоматизированный испытательный комплекс.
АИС	— автоматизированная испытательная система.
БВС	— бортовая вычислительная система.
БД	— база данных.
ВО	— внешний объект.
ВПКУ	— вспомогательный персональный компьютер управления.
ЗО	— защитные операции.
КА	— космический аппарат.
КИ	— комплексные испытания.
НТКСИ	— наземный технологический комплекс системы измерений.
ОК	— объект контроля.
ПВ	— проверочные включения.
ПК	— персональный компьютер.
ПККИ	— персональный компьютер команд и измерений.
ПО	— программное обеспечение.
РР	— РР-параметры — рабочие параметры разработчика.
ССБВС	— система связи с бортовой вычислительной системой.
ТА	— технологическая аппаратура.
ЦПКУ	— центральный персональный компьютер управления.
ЦФМ	— центральный функциональный модуль.

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, Москва, 2009, 60 стр.
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>

Оглавление

Введение.....	3
1. Задача проведения испытаний космических аппаратов.....	3
2. Средства проведения испытаний.....	4
3. Язык Диполь	6
3.1. Историческая справка.....	6
3.2. Общая организация проведения испытаний	6
3.3. Объекты языка.....	7
3.4. Структура и выполнение директив	8
3.5. Директивы общего назначения.....	10
3.6. Директивы работы с объектом контроля.....	14
3.7. Директивы работы с группами точек.....	17
3.8. Директивы слежения и запуска программ по времени	18
3.9. Директивы, выдаваемые только из диалога	21
4. Заключение.....	21
Перечень сокращений	22
Литература	22