



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

Препринты ИПМ • Препринт № 19 за 2011 г.



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

Автоматизированная
испытательная система.
Имитаторы

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Автоматизированная испытательная система. Имитаторы / Т.П.Баранова [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2011. № 19. 24 с. URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2011-19>

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

**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**

Москва — 2011

**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

Рассматривается автоматизированная испытательная система, предназначенная для проведения наземных испытаний космических аппаратов (КА). Система представляет собою программно-аппаратный комплекс, связанный с КА. В работе рассмотрен вариант системы, в котором реальная связь с КА заменена программными имитаторами, моделирующими поведение КА. Эта модель позволяет отлаживать программы испытаний без КА, а также заменять отсутствующие узлы и агрегаты КА во время реальных испытаний.

Ключевые слова: испытание, тестирование, контроль, имитация, космический аппарат, ИПМ им.М.В.Келдыша

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

The automatic testing system.

Simulators

The automatic system for on-ground space-craft (SC) testing is outlined. The system is a hardware-software complex coupled with an SC. A program simulator of the system is described below. In this simulator the real connection to the SC is substituted by programs imitating the SC behavior. This simulator, being contained in a computer, provides means to debug the test programs without an SC. It can be used also to substitute for absent units and aggregates of the SC in the course of a real testing.

Key words: testing, simulator, space-craft, Keldysh Institute

Оглавление

1. Введение	4
2. Структура АИС	5
3. Директивы программы испытаний	7
4. Имитаторы ЦФМ	9
4.1. Структура имитатора	9
4.2. Имитация отказов	11
4.3. Имитация выполнения команд трактом ПККИ	12
4.4. Хранение состояний «включено» - «отключено»	15
4.5. Релейно-кодовые команды	16
4.6. Имитация измерения значений параметров	16
4.6.1. Порождение значений параметров тракта ПККИ	16
4.6.2. Порождение значений параметров тракта НТКСИ	17
4.6.3. Порождение значений параметров тракта ВПКУ	17
4.6.4. Порождение значений параметров ССБВС	19
4.7. Асинхронные сообщения тракта ССБВС	20
4.8. Имитация слежения	21
4.9. Имитация задержки в тракте	22
4.10. Имитатор дистанционного управления (ИЦФМДУ)	23
4.11. Имитаторы ИЦФМПРТ и ИЦФМРЭП	23
5. Заключение	23
6. Литература	24

1. Введение

Основное содержание процесса испытаний космического аппарата представляет собою совокупность элементарных актов двух типов:

- Выдача команды, приводящей к срабатыванию некоторого механизма, например, включить-выключить исполнительный механизм, или к воздействию на некоторый процесс, например, запустить-остановить выполнение алгоритма на бортовом компьютере космического аппарата.
- Измерение значения некоторого параметра, например, напряжения, тока или сопротивления электрической цепи, температуры или давления в некотором отсеке, состояния замкнут-разомкнут для контактов коммутирующих устройств или исследование содержимого ячеек оперативной памяти бортовой вычислительной машины.

При испытаниях проверяется правильность изменения значений параметров после выдачи заданных команд. Исход этих проверок определяет дальнейшее направление испытаний.

Реальный объект контроля представляет собою весьма сложное изделие, в котором количество точек воздействия и подлежащих исследованию параметров достигает десятков тысяч. Поэтому процесс испытаний осуществляется командой специалистов, каждый из которых действует в пределах своей компетенции. Эта ситуация требует наличия некоторой комплексной (организационной, программной, аппаратной) системы, позволяющей эффективно объединять усилия многих сотрудников над задачей испытания одного объекта.

Усилиями ряда организаций, в число которых входил и ИПМ им. М.В.Келдыша, была успешно создана автоматизированная испытательная система (АИС) [1]. В настоящее время она имеет вид, приведенный на рис. 1.

В этой системе каждый испытатель описывает свою часть испытаний в виде программы на специальном языке Диполь. Написанные отдельными испытателями программы объединяются в обобщенную программу, имеющую вид текстового файла. Центральная вычислительная машина интерпретирует эту программу и в соответствии с ней осуществляет необходимые действия под наблюдением оператора, контролирующего ход испытаний. Результаты всех элементарных актов испытаний сохраняются в файле протокола, доступном для последующего изучения.

В данной работе описан на концептуальном уровне имитационный вариант АИС. Такой вариант позволяет осуществлять отладку программ испытаний при отсутствии объекта контроля.

Другие аспекты АИС упомянуты лишь в объеме, минимально необходимом для понимания основной темы.

2. Структура АИС

АИС представляет собою многомашинный программно-аппаратный комплекс, построенный на базе персональных компьютеров (ПК).

Объект контроля с помощью технологической аппаратуры (ТА), учитывающей специфику конкретных узлов и агрегатов космического аппарата, связан со специальными персональными компьютерами, каждый из которых обслуживает определенную область испытаний, используя специфические протоколы обмена для связи с исполнительными механизмами и измерительными приборами. В этой системе такой компьютер плюс соответствующая ТА названы “трактом испытаний” (или просто трактом).

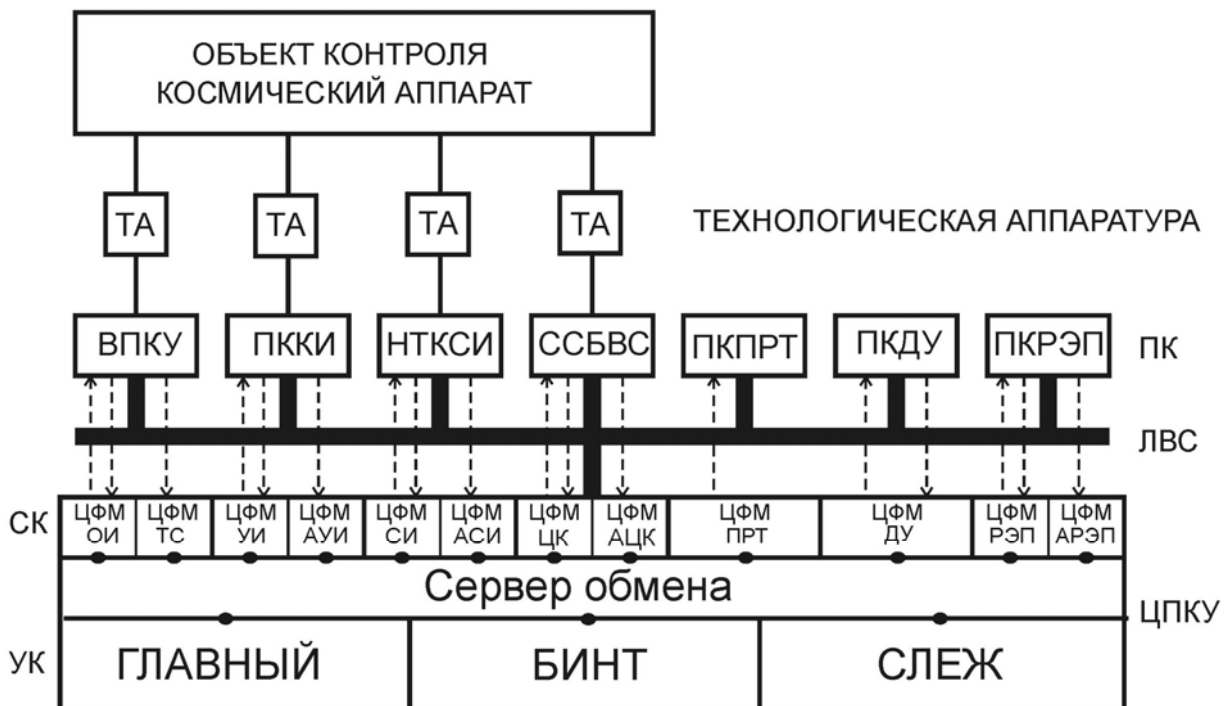


Рис.1. Автоматизированная испытательная система

На приведенном выше рисунке видны четыре таких тракта: ВПКУ, ПККИ, НТКСИ, и ССБВС. Три дополнительных “неполных” тракта: ПКПРТ, ПКДУ и ПКРЭП с объектом контроля не связаны, они служат для организационных целей.

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

ПККИ – персональный компьютер команд и измерений. По тракту ПККИ 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 тракту НТКСИ 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 – персональный компьютер протокола – дополнительное рабочее место, с которого можно следить за протоколом испытаний, не оказывая влияния на их ход.

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

ПКРЭП – персональный компьютер руководителя электрических проверок.

ЦПКУ – центральный персональный компьютер управления связывает все компоненты АИС в единую систему.

Эти вычислительные машины объединены локальной вычислительной сетью – ЛВС.

ЦПКУ содержит комплекс программ, погруженный в операционную среду Windows XP [2], именуемый “Общесистемное программное обеспечение (ОПО)”, который состоит из двух исполняемых модулей: главный модуль и сервер обмена. В свою очередь главный модуль состоит из двух компонент – управляющей компоненты (УК) и согласующей компоненты (СК) – и представляет собою многопоточную систему, в которой потоки, действуя кооперативно, обеспечивают необходимые функции. Сервер обмена обеспечивает передачу пакетов между всеми потоками.

УК интерпретирует директивы из файла программы испытаний, что обеспечивает руководство ходом испытаний. Результаты испытаний фиксируются в файле протокола. Оператор может в любой момент приостанавливать ход программы, осуществлять по своему усмотрению дополнительные проверки и вновь возобновлять ход программы. Он также оперативно реагирует на возникновение аварийных ситуаций в системе, т. е. он полностью контролирует ход испытаний.

ГЛАВНЫЙ поток порождает все остальные потоки и обеспечивает возможность оперативного вмешательства в ход испытаний с пульта ЦПКУ.

Поток БИНТ (блок интерпретации) – интерпретирует директивы программы испытаний и команды оператора. Для директив и команд, обращенных к объекту контроля, БИНТ формирует пакет данных, представляющий собою запрос на выполнение некоторых действий (команды) или на измерение значения некоторого параметра. Этот пакет запроса отсылается в соответствующий тракт, после чего поток ожидает пакет ответа, содержащий информацию об успехе или неудаче выполнения команды или же значение запрошенного параметра.

Поток СЛЕЖ представляет собою находящуюся в ЦПКУ, часть механизма слежения за изменением значений выбранных параметров. Другие части механизма слежения находятся в трактах. Связь этого потока с объектом контроля через соответствующие тракты также осуществляется при помощи обмена пакетами данных. (Подробнее о слежении см. раздел 4.8)

СК представляет собою совокупность, так называемых, центральных функциональных модулей (ЦФМ), которые для УК являются представителями соответствующих трактов. Наличие ЦФМ позволяет, несмотря на многообразие структур и протоколов в трактах, в значительной мере унифицировать пакеты обмена между потоками УК и ЦФМ. Таким образом, для потоков УК “тракт” - это – ЦФМ, а все, что находится за ЦФМ, – скрыто. Каждому тракту назначены два ЦФМ: синхронный и асинхронный. Синхронный ЦФМ связан с ПК по ЛВС соответствующего тракта двумя односторонними каналами. По одному каналу ЦФМ посылает в ПК запрос на выполнение нужного действия, а по другому – получает из ПК ответ на запрос. Асинхронный ЦФМ связан с ПК одним каналом, направленным от ПК к ЦФМ. По этому каналу приходят асинхронные (инициативные) пакеты, содержащие информацию об изменениях, происходящих в объекте контроля. При взаимодействии с УК синхронный ЦФМ принимает от него запросы и возвращает ему ответы. Асинхронный ЦФМ, в основном, передает пришедший от объекта контроля асинхронный пакет нужному потоку УК или формирует у себя массив состояний параметров. Последнее обуславливает возможность обращения из УК и к асинхронному ЦФМ по схеме запрос-ответ. На рис. 1 эти ЦФМ показаны под своими названиями.

Ниже по тексту рассматривается передача пакетов только между потоками управляющей компоненты и потоками согласующей компоненты.

3. Директивы программы испытаний

Ходом испытаний в значительной мере руководит программа, написанная на языке Диполь, разработанном в ИПМ им. М.В.Келдыша специально для тестирования сложных объектов. Программа на языке Диполь представляет собою файл, содержащий последовательность директив. Директивы можно подразделить на два вида:

- директивы для взаимодействия с объектом контроля;
- директивы для управления ходом программы испытаний.

В результате интерпретации директив первого вида порождается пакет, содержащий запрос на выполнение некоторых действий, который и посылается в соответствующий тракт (в ЦФМ). В тракте выполняются запрошенные действия (или фиксируется отказ), формируется пакет ответа, который и направляется в интерпретатор. Интерпретатор анализирует ответ и выдает в протокол испытаний строки текста, соответствующие выполненной (или невыполненной) директиве. Директивы второго вида с трактами не взаимодействуют.

Приемлемое описание языка испытаний Диполь требует отдельного документа, здесь же ограничимся примерами некоторых директив первого вида, необходимых для понимания последующего изложения. Как правило, директива содержит следующие элементы:

- название директивы, определяющее требуемое действие;
- идентификатор, указывающий субъект действия (команду, параметр);
- дополнительное указание, обеспечивающее необходимые уточнения.

В некоторых случаях директива может содержать и другие элементы. Ниже приведены примеры некоторых директив:

ВЫДАТЬ UN0D_ВКНКОХСОТР В

Директива выполняет команду UN0D_ВКНКОХСОТР; 'В' означает включение некоторого исполнительного механизма. Подробнее о командах см. раздел 4.3.

ЗАПРОС ZN0DU_ШИНА.УТ-2 R

Директива запрашивает значение параметра ZN0DU_ШИНА.УТ-2; 'R' означает измерение сопротивления некоторой электрической цепи.

ПРОВЕРКА ZN0DU_ШИНА.УТ-2 R 0.50 0.75

Директива проверяет значение параметра ZN0DU_ШИНА.УТ-2 на его нахождение в пределах заданных допусков. Директивы ЗАПРОС и ПРОВЕРКА связаны с измерением значений параметров, о чем подробнее см. раздел 4.6.

ЗАПИСЬ STA@0xFFB37541 0x73A

Директива присваивает параметру (заданному в данном случае шестнадцатеричным адресом 0xFFB37541) значение 0x73A. (Это – пример записи значения в ячейку памяти бортовой вычислительной системы).

СЛЕДИТЬ ZM0DU_Ш.С1.1A281 U 10.0 10.5 * СТОП

Директива инициирует слежение за значением указанного параметра на предмет его нахождения в пределах допусков. Собственно слежение за параметром возлагается на соответствующий тракт. При выходе значения за пределы допусков (10.0 - 10.5) в поток СЛЕЖ посылается соответствующий пакет, на который СЛЕЖ обрабатывает заданную реакцию (СТОП – останов программы испытаний). Подробнее см. раздел 4.8.

КСЛЕДИТЬ ZM0DU_Ш.С1.1A281

Директива отменяет слежение за параметром ZM0DU_Ш.С1.1A281.

Директивы проверок являются особыми в том смысле, что в зависимости от того, находится ли значение параметра в пределах заданных допусков или нет, директива имеет ШТАТНОЕ или НЕШТАТНОЕ завершение, которое используется для выбора нужной ветви программы испытаний.

4. Имитаторы ЦФМ

АИС вместе с объектом контроля представляет собою большую и сложную установку, что затрудняет отладку на ней программ испытаний. Ситуация упрощается при использовании имитационного варианта АИС. Модули ЦФМ представляют собою динамически подключаемые библиотеки (dll модули). Если заменить все ЦФМ имитаторами, т. е. модулями, имитирующими работу объекта контроля, но физически с ним не связанными, то система приобретает вид, показанный на рис. 2.

Совокупность имитаторов не может точно моделировать поведение реального объекта контроля, но при правильно выбранной степени приближения к реальному его поведению, в этой конфигурации приобретает ряд значительных удобств:

- имитационный вариант АИС помещается в одном персональном компьютере;
- каждый испытатель может иметь свой вариант АИС в персональном компьютере и отлаживать программы испытаний “за письменным столом”;
- можно приступить к комплексным испытаниям при отсутствии или временной неисправности некоторых узлов и агрегатов объекта контроля, заменив неработающие тракты имитаторами.



Рис. 2. Имитационный вариант АИС

В настоящее время в состав имитационного варианта входят 14 имитаторов разной степени сложности.

Настоящая работа не ставит своей целью подробное описание всех имитаторов. Напротив, здесь сделана попытка создать у читателя общее представление о том, что имитируется и как имитируется на примерах имитации отдельных наиболее интересных функций. Ряд одинаковых или очень похожих функций присутствует в разных имитаторах; естественно, они описаны один раз на примере одного имитатора.

4.1. Структура имитатора

Имитатор состоит из двух частей: “контроллер” и “модель”.

Контроллер позволяет управлять поведением модели и следить за ее состоянием при помощи всплывающего окна. Модель обеспечивает имитацию функций объекта контроля. Контроллер представляет собою совокупность свойств и методов некоторого класса, которая входит в состав главного пото-

ка УК в качестве его части, а модель тракта представляет собою самостоятельный поток.

Модель реализована как цикл, вход в который происходит при инициировании потока в процессе запуска АИС, а выход из цикла происходит при завершении работы АИС, то есть во время работы цикл оказывается “бесконечным”. В начале тела цикла находится обращение к функции ожидания прихода пакета (запроса). Функция настроена на бесконечное время ожидания. Поэтому после инициирования потока имитатора последний “висит”, ожидая приход пакета. В конце тела цикла находится обращение к функции немедленной отсылки пакета (ответа).

Пакеты данных, используемые для обмена между потоками, стандартизованы. Пакет представляет собою структуру данных, в которой начальные (стандартные) поля определяют характер и назначение пакета. Состав и типы других полей полностью определяются содержимым полей стандартной части.

При получении имитатором пакета (запроса) из анализа его стандартной части однозначно определяется набор действий, которые должен выполнить имитатор (и, тем самым, фрагмент тела цикла, ответственный за выполнение этих действий). В ходе выполнения запроса подготавливается пакет ответа потоку, приславшему запрос и, в необходимых случаях, осуществляется изменение внутреннего состояния имитатора, отражающее изменение состояния объекта контроля, что обеспечивает вариативность реакций имитатора на запросы.

При подозрении на неправильное взаимодействие потока конкретного имитатора с УК желательно видеть картину обмена пакетами между ними. Имитаторы можно перевести в такой режим работы, при котором они выдают в протокол испытаний текстовые строки, описывающие содержимое пакетов запроса и ответа. Для включения такого режима на окне имитатора предусмотрена специальная кнопка “Показ обмена” (см. рис. 3). Такой механизм присутствует во всех имитаторах.

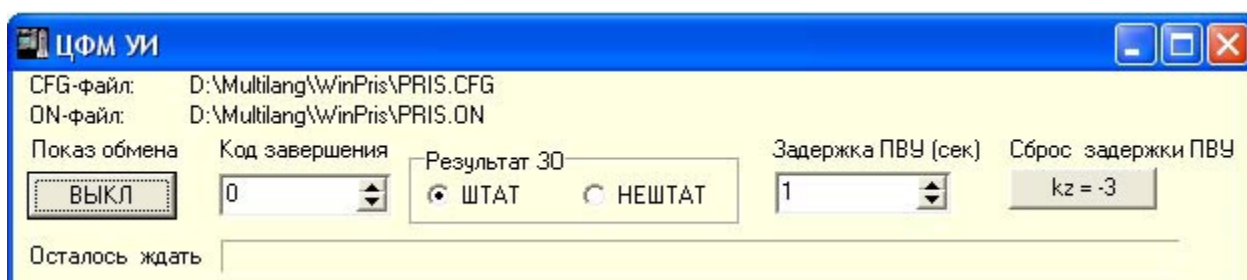


Рис. 3. Окно имитатора ИЦФМУИ. Органы управления

На рис. 4 приведен фрагмент протокола испытаний, содержащий текстовые строки, соответствующие принятому имитатором ИЦФМУИ и отправленному им в БИИТ пакетам обмена.

```

003  11.26.03  ВМДАТЬ
ЦФМУИ: Принял от БИНТ РОД_СОРТ_ТИП=1_1_24
      Тело атома:
                кру=5; i=0.040000
                кру=6; i=0.050000
                кру=7; i=0.060000
ЦФМУИ: Отправил в БИНТ РОД_СОРТ_ТИП=2_1_1
      Тело атома: short  n=1
                short kz=0
003  11.26.03  ВМДАТЬ UT2G_ОРТМХ      0.040000 ГРАД/СЕК
003  11.26.03  ВМДАТЬ UT2G_ОРТМУ      0.050000 ГРАД/СЕК
003  11.26.03  ВМДАТЬ UT2G_ОРТМЗ      0.060000 ГРАД/СЕК

```

Рис. 4. Демонстрация обмена пакетами между БИНТ и ИЦФМУИ

4.2. Имитация отказов

В процессе работы возможно появление отказа на отправленный пакет запроса из-за неисправности аппаратуры, обрыва линии связи или из-за некорректности запроса. В таких случаях пакет ответа имеет некоторую стандартную форму и содержит код завершения, характеризующий причину отказа. Программное обеспечение должно адекватно обрабатывать такие ситуации, а для проверки адекватности обработки имитатор должен уметь такие ситуации моделировать. Отказы заказываются заданием требуемого кода завершения в поле “Код завершения” окна имитатора (см. рис. 3.).

В системе предусмотрена группа директив, реализующих т.н. “защитные операции” (ЗО). В этом случае из потока БИНТ в имитатор посылается пакет, содержащий список текстовых строк, который задает перечень электрических цепей и некоторую операцию проверки (на целостность цепей, на разобщенность цепей и т.п.). Директива группы ЗО может иметь результатом как ШТАТНОЕ завершение (например, при проверке на целостность цепей – все цепи целы), так и НЕШТАТНОЕ завершение. Для моделирования результата таких операций на окне имитатора предусмотрена панель “Результат ЗО” с радиокнопками, показанная на рис. 3.

В трактах ПККИ и ССБВС имеются механизмы, которые в случае задания команды с аргументом “ПВУ” срабатывают со значительной задержкой. В трактах есть возможность принудительно завершить такую операцию, но при этом в пакет ответа помещается специальный код завершения. Для моделирования таких ситуаций в окне соответствующего имитатора имеется средство задания желательной задержки исполнения “Задержка ПВУ”, индикатор прогресса “Осталось ждать” и кнопка принудительного завершения операции “Сброс задержки ПВУ”. Это позволяет имитировать любой исход упомянутой операции (см. рис. 3).

4.3. Имитация выполнения команд трактом ПККИ

Команда – это воздействие на некоторый исполнительный механизм объекта контроля. Команды зафиксированы в соответствующей базе данных, сопровождающей конкретный объект контроля. Для каждой разновидности команд (релейные, релейно-кодовые, матричные, токовые) существует своя база данных. Каждая запись в базе данных для релейных или матричных команд содержит кроме идентификатора команды набор специальных признаков. Признаки находятся в соответствующем поле записи и представляют собою набор двоичных слов длиной 16 разрядов. Четыре старших двоичных разряда такого слова (представлены ниже шестнадцатеричной цифрой) определяют назначение признака, а остальные 12 двоичных разрядов рассматриваются как целое число.

Один из этих признаков определяет характер команды (специфику того исполнительного механизма, которым управляет команда): “короткая команда” (“кнопка”) или “длинная команда” (“тумблер”). Длинная команда требует дополнительного указания “ВКЛЮЧИТЬ” – “ОТКЛЮЧИТЬ”.

Другие признаки требуют произвести, помимо основного действия, некоторые дополнительные действия, например, проверить или установить значения специальных флагов. При поступлении в имитатор пакета, содержащего такую команду, он обращается к соответствующей базе данных, извлекает из нее упомянутые выше признаки и действует в соответствии с ними. Существенны следующие признаки:

Признак длительности команды. Вид признака в шестнадцатеричной форме – **0x8<число>**, где **<число>** – длительность команды в миллисекундах. Так, например, признак **0x80C8** говорит о том, что команда является короткой и имеет длительность, равную 200 мсек. Признак **0x8000** говорит о том, что команда является длительной и при ее задании необходимо дополнительное указание ВКЛЮЧИТЬ или ОТКЛЮЧИТЬ.

Признак **0x9<число>** требует перед выполнением команды проверить допустимость ее выполнения (проверить флаг опасности с номером **<число>**) и не выполнять команду, если соответствующий флаг установлен.

Признак **0xA<число>** требует после успешного выполнения данной команды установить флаг опасности с номером **<число>**.

Признак **0xB<число>** требует после успешного выполнения данной команды сбросить флаг опасности с номером **<число>**.

Признак **0xC<число>** для длительной команды требует после успешного ее выполнения установить флаг опасности с номером **<число>**, если команда выдавалась с указанием “ВКЛЮЧИТЬ”, или сбросить флаг опасности с номером **<число>**, если команда выдавалась с указанием “ОТКЛЮЧИТЬ”.

Признак **0xD<число>** для матричной команды несет номер матрицы **<число>**, используемой для нужд этой команды. Матрица занемается, если команда выдана с указанием “ВКЛЮЧИТЬ”, и освобождается, если занявшая ее команда выдана с указанием “ОТКЛЮЧИТЬ”.

Признак **0xF<число>** требует перед выполнением команды получить подтверждение оператора на исполнение этой команды (или отмену выполнения этой команды) и действовать в соответствии с полученным указанием. Здесь значения младших разрядов признака (**<число>**) не используются.

В случае просмотра базы данных (БД) признаки (во всплывающем окне) преобразуются в следующий вид: **<буква русского алфавита><десятичное число>**:

0x9<число> → **А<десятичное число>**
0xA<число> → **У<десятичное число>**
0xB<число> → **С<десятичное число>**
0xC<число> → **П<десятичное число>**
0xD<число> → не отображается.
0xF<число> → не отображается.

Одной команде может соответствовать несколько специальных признаков. Ниже на рис. 5 показан пример отображения признаков на специальной панели в правой части всплывающего окна релейных команд.

Флаги опасности реализованы в имитаторе ИЦФМУИ в виде массива размером в 1000 элементов, имеющих тип **unsigned char**. Так, если при выполнении некоторой команды в соответствии со специальным признаком **У001 (0xA001)** требуется установить флаг опасности, то первому элементу упомянутого выше массива присваивается значение, равное 1. Доступ к элементу этого массива из директивы программы испытаний или из команды оператора возможен по его идентификатору, который имеет вид **ZP_<номер элемента>** (например, **ZP_001**). Значение флага можно посмотреть директивой **ЗАПРОС**, проверить директивой **ПРОВЕРКА** и присвоить ему значение директивой **ЗАПИСЬ**.

Специальные признаки команд используются имитатором для того, чтобы предотвратить недопустимые действия в программе испытаний или в командах оператора. Например, пресекается выдача длительной команды без указания **‘В’** - **ВКЛЮЧИТЬ** или **‘О’** - **ОТКЛЮЧИТЬ**. Короткая команда выдается с указанием **‘К’** или без указаний. Наличие в директиве указаний **‘В’** или **‘О’** для короткой команды является ошибкой.

Длительная матричная команда, выданная с указанием **ВКЛЮЧИТЬ**, занимает соответствующую матрицу, после чего никакая другая команда, связанная с этой матрицей, не может быть выполнена. Команда, занявшая матрицу (тот же идентификатор), выданная с указанием **ОТКЛЮЧИТЬ**, освобождает матрицу для использования другими командами. Короткие матричные команды матрицу не занимают. Для того чтобы обеспечить такое поведение системы, имитатор ведет учет занятых матриц и отказывается выполнять команды, соответствующие занятым матрицам.

N	Идентификатор	Длит	Призн
581	UNOT_ПЛЮС		
1	UNOX_ВКЛ.Р.ОПХ1	200	A003 ...
3	UNOX_ВКЛ.Р.ОПХ2	200	П011
5	UNOX_ВКЛ.Р.РСИХ1	200	
7	UNOX_ВКЛ.Р.РСИХ2	200	
9	UNOX_ВКЛ.Р.ПДЗХ1	200	
11	UNOX_ВКЛ.Р.ПДЗХ2	200	
2	UNOX_ОТК.Р.ОПХ1	200	Ч001
4	UNOX_ОТК.Р.ОПХ2	200	A004 ...
6	UNOX_ОТК.Р.РСИХ1	200	
8	UNOX_ОТК.Р.РСИХ2	200	
10	UNOX_ОТК.Р.ПДЗХ1	200	
12	UNOX_ОТК.Р.ПДЗХ2	200	
921	UNOX_РАЗР.СИГНАЛ		
842	UNOX_УПР.ШИНА1К		

Рис. 5. Окно отображения БД релейных команд с указанием специальных признаков

Релейная команда со специальным признаком “Блокировка” (**0xF<число>**) приводит к диалогу с оператором, требуя от него подтверждения для выполнения команды или отказа от ее выполнения.

Работу механизма с другими специальными признаками может пояснить следующий пример. Пусть имеется переходной шлюз, вход в который ограничен внешней и внутренней дверями. Двери открываются и закрываются с помощью соответствующих команд. Команды на открытие дверей потенциально опасны, поскольку одновременное открытие обеих дверей чревато разгерметизацией. Для предотвращения этой опасности используются следующие мероприятия:

- С механизмом *Дверь1* связывается флаг состояния ZP_001 (0 – закрыта, 1 – открыта). С механизмом *Дверь2* – флаг ZP_002.
- В базе данных для команды *ОткрытьДверь1* в поле дополнительных признаков присутствуют признаки **0x9002** и **0xA001**, а для команды *ОткрытьДверь2* – признаки **0x9001** и **0xA002**.
- В базе данных для команды *ЗакрытьДверь1* в поле дополнительных признаков присутствует признак **0xB001**, а для команды *ЗакрытьДверь2* – признак **0xB002**.

При поступлении команды *ОткрытьДверь1* в соответствии с признаком **0x9002** будет произведена проверка значения флага состояния другой двери – ZP_002. Если значение флага равно 1 (открыта), выполнение команды опасно, команда будет отвергнута с выдачей соответствующего сообщения в протокол испытаний. Если значение флага равно 0 – выполнение команды безопасно, команда будет выполнена и, в соответствии с признаком **0xA001**,

флагу состояния – ZP_001 будет присвоено значение 1 (открыта). Для команды **ОткрытьДверь2** поведение имитатора – симметрично.

Команда **ЗаккрытьДверь1** безопасна, поэтому она выполняется, после чего в соответствии с признаком 0xВ001 флагу состояния – ZP_001 присваивается значение, равное 0 (дверь закрыта). Для команды **ЗаккрытьДверь2** поведение имитатора – симметричное.

В описанной выше ситуации после “открытия” одной из дверей этот механизм не позволит открыть другую дверь и отвергнет соответствующую команду как “аварийную”.

4.4. Хранение состояний «включено» - «отключено»

Для имитации состояний исполнительных механизмов (включен – отключен), управляемых “длинными” командами, в имитаторе ИЦФМУИ предусмотрены два битовых массива: для релейных и для матричных команд. Размеры массивов определяются числом команд, описанных в соответствующих базах данных. Этот механизм позволяет адекватно реагировать на соответствующие команды, на запросы состояния ВКЛЮЧЕН-ОТКЛЮЧЕН имитируемых исполнительных механизмов, а также наглядно отображать текущее состояние исполнительных механизмов во всплывающем окне перечня команд. Ниже (рис. 6) показан пример такого отображения в окне релейных команд; команда, ответственная за состояние объекта “ВКЛЮЧЕН”, выделена цветом.

N	Идентификатор	Длит	Призн
45	UN0D_ВКВС0TP		У003 ...
43	UN0D_ВКНКОХС0TP		С005 ...
44	UN0D_ВКНКОБС0TP		
41	UN0D_ППРАНАР1		А001
42	UN0D_ППРАНАР2		А002
549	UN0T_АВ1ВН1		
552	UN0T_АВ1ВН2		
510	UN0T_АВ1ВКЮ1		
513	UN0T_АВ1ВКЮ2		
530	UN0T_АВ1В0Л		
524	UN0T_АВ1ВР1		
527	UN0T_АВ1ВР2		
561	UN0T_АВ1Н1		А005 ...
562	UN0T_АВ1Н2		А006 ...
563	UN0T_АВ1Н3		А007 ...

Список признаков
N= 45
У003
С004
А001
А002
А005 ...
А006 ...
А007 ...

1773:1

Рис. 6. Отображение состояния «включено» релейных команд

4.5. Релейно-кодовые команды

Для релейно-кодовых команд в соответствующей базе данных хранятся признаки допустимых для каждой команды кодов. Имитатор проверяет используемые с командами коды на соответствие этим признакам и при положительном исходе проверки выполняет команду и запоминает ее код в некотором массиве. Используемые с командами коды могут быть предъявлены оператору во всплывающем окне релейно-кодовых команд.

4.6. Имитация измерения значений параметров

В ответ на запрос значения конкретного параметра имитатор должен отправить в БИИТ подходящее значение и там, где это уместно, – единицу измерения физической величины. Следует заметить, что любой идентификатор параметра в данной системе однозначно соответствует конкретному измерительному устройству и точке измерения. То есть для каждого параметра известны вид измеряемой физической величины (температура, давление и т.п.), множество принимаемых ею значений (тип данных) и единица измерения (если она есть). Идентификаторы всех допустимых параметров вместе с дополнительной информацией хранятся в таблицах базы данных. Использование иных идентификаторов в системе не допускается.

Для тех параметров, для которых имитаторы хранят состояния, принимаемые ими по ходу испытаний, например, состояния механизмов ВКЛЮЧЕН/ОТКЛЮЧЕН или признаки (флаги) описанные в п. 4.3, имитатор возвращает текущее значение параметра.

Для других параметров величина, возвращаемая имитатором и ее поведение, задается для каждого предусмотренного случая на специальной закладке управляющего окна имитатора. Заданное здесь правило поведения значения сохраняется до очередной перенастройки. Во многих случаях заданные таким способом значения пригодны для отладки программы. Если же в ответ на запрос для конкретного параметра требуется получить иное значение (без перенастройки имитатора), то его необходимо предварительно приписать параметру с помощью директивы

`ЗНАЧПАР <идентификатор> <значение>`

В этом случае осуществляется перехват пакета ответа и подмена возвращаемого в нем значения на значение, указанное в директиве ЗНАЧПАР.

4.6.1. Порождение значений параметров тракта ПККИ

Для аналоговых параметров измерительной матрицы и параметров, измеряемых по неуплотненным цепям, имитатор тракта ПККИ возвращает значение вещественного типа одинарной точности (тип **float**). При запросе значения, помимо идентификатора параметра, дополнительно задается однобуквенный квалификатор: U, V, I или R. Он определяет измеряемую физическую величину: электрическое напряжение (постоянное или переменное), ток или

сопротивление, и единицу измерения: В, мА, кОм.

Для аварийных параметров имитатор возвращает значение целого типа размером в один байт (тип **char**). Здесь возможны только два значения: 1 и 0. В ответ на запрос имитатор выдает то значение, которое параметр имеет в момент запроса.

Если в запросе значения параметра в качестве идентификатора использован идентификатор команды и задан квалификатор 'П', то запрос трактуется как запрос состояния соответствующего исполнительного механизма (включен – отключен). В этом случае имитатор возвращает значение целого типа размером в один байт (тип **char**), возможны только два значения: 1 и 0, и имитатор выдает значение, соответствующее текущему состоянию исполнительного механизма.

4.6.2. Порождение значений параметров тракта НТКСИ

Для параметров этого тракта соответствующий имитатор возвращает значения, тип которых определяется однобуквенным квалификатором:

- 'Ф' – вещественный одинарной точности (**float**). Единица измерения физической величины берется для каждого параметра индивидуально из базы данных телеметрических параметров.
- 'Ш' – целочисленный, 16 двоичных разрядов, без знака (**unsigned short**). Единица измерения не предусмотрена.
- 'Б' – целочисленный, 16 двоичных разрядов, без знака (**unsigned short**). Используется только младший двоичный разряд. Единица измерения не предусмотрена.
- '%' – целочисленный, 16 двоичных разрядов, без знака (**unsigned short**). Единица измерения – проценты.

Пакет запроса, направленный данному тракту, может затребовать изменение значений для нескольких параметров (до 99). В этом случае и пакет ответа имитатора будет содержать столько значений, сколько параметров было упомянуто в запросе.

4.6.3. Порождение значений параметров тракта ВПКУ

В этом тракте используются два вида параметров: параметры, отражающие состояния и поведение исполнительных механизмов в ответ на выдачу команд, и параметры, отражающие состояние готовности некоторых подсистем. Для параметров первого типа значение состоит из трех компонент: текущее состояние – один байт, предыдущее состояние – один байт и счетчик переходов – целое число без знака длиной 16 двоичных разрядов. В байтах текущее состояние и предыдущее состояние для описания состояния и поведения исполнительного механизма используются три младших двоичных разряда. Младший разряд показывает конечное состояние исполнительного механизма: 1 – включен, 0 – выключен. Другие два разряда показывают, как

исполнительный механизм подходил к конечному состоянию, например, значение 101 – говорит о том, что механизм сначала был включен, затем выключен, а затем включен, и в этом состоянии он и остался. Байт предыдущее состояние показывает, как исполнительный механизм реагировал на предыдущую команду. Остальные разряды байта несут дополнительную информацию, например, о неудавшемся считывании состояния исполнительного механизма (неопределенное состояние). Шестнадцатиразрядный счетчик переходов показывает, сколько переходов испытал данный параметр. В директивах, связанных с запросом значений, параметр сопровождается квалификатором: ‘Б’, ‘Т’ или ‘С’. В случае ‘Б’ в качестве значения используется только младший разряд байта текущего состояния. В случае ‘Т’, в качестве значения используются три младших разряда байта текущего состояния. В случае ‘С’ используется значение счетчика переходов. Для параметров этого вида имитатор всегда возвращает значение длиной четыре байта: предыдущее состояние, текущее состояние и счетчик переходов.

Испытатель может управлять возвращаемыми имитатором значениями, используя для этого окно имитатора (см. рис. 7). Существует несколько возможностей:

- Значения могут быть заданы в окне имитатора ИЦФМТС вручную. В этом случае на каждый запрос значения параметра будет возвращено значение, заданное испытателем. Значения устанавливаются в соответствующих полях строчных редакторов, расположенных на окне ИЦФМТС.
- В качестве альтернативы можно установить автоматическое генерирование значений параметров. В этом случае на каждый запрос имитатор возвращает текущее состояние параметра, которое переносится в байт предыдущего состояния, после чего по некоторому алгоритму вычисляется новое значение текущего состояния, исходя из того состояния, которое есть на данный момент. Значение счетчика состояний увеличивается на единицу.

Ниже приведена последовательность значений параметра “предыдущее-текущее” при автоматическом их генерировании.

010,001 001,101 101,100 100,010 010,001

Для того чтобы можно было приступить к выполнению некоторых операций, необходимо, чтобы определенные механизмы находились в состоянии ВКЛЮЧЕН а другие – в состоянии ОТКЛЮЧЕН. То есть представляющие эти механизмы телесигнальные параметры должны иметь предписанные значения. С каждой такой группой связывается т.н. параметр готовности. В базе данных для каждого параметра готовности перечислены соответствующие телесигнальные параметры и предписанные им значения. Когда в ходе испытаний реальные значения указанных параметров совпадают с предписанными, соответствующий параметр готовности имеет значение 1. В противном случае

значение параметра готовности равно 0. В ходе испытаний значения параметров готовности могут быть запрошены директивой ЗАПРОС, проверены директивой ПРОВЕРКА или поставлены на слежение директивой СЛЕДИТЬ.

Для любого параметра готовности имитатор возвращает целочисленное значение размером в один байт, заданное кнопкой “Готовность” в окне имитатора, независимо от значений телесигнальных параметров (см. рис. 7).

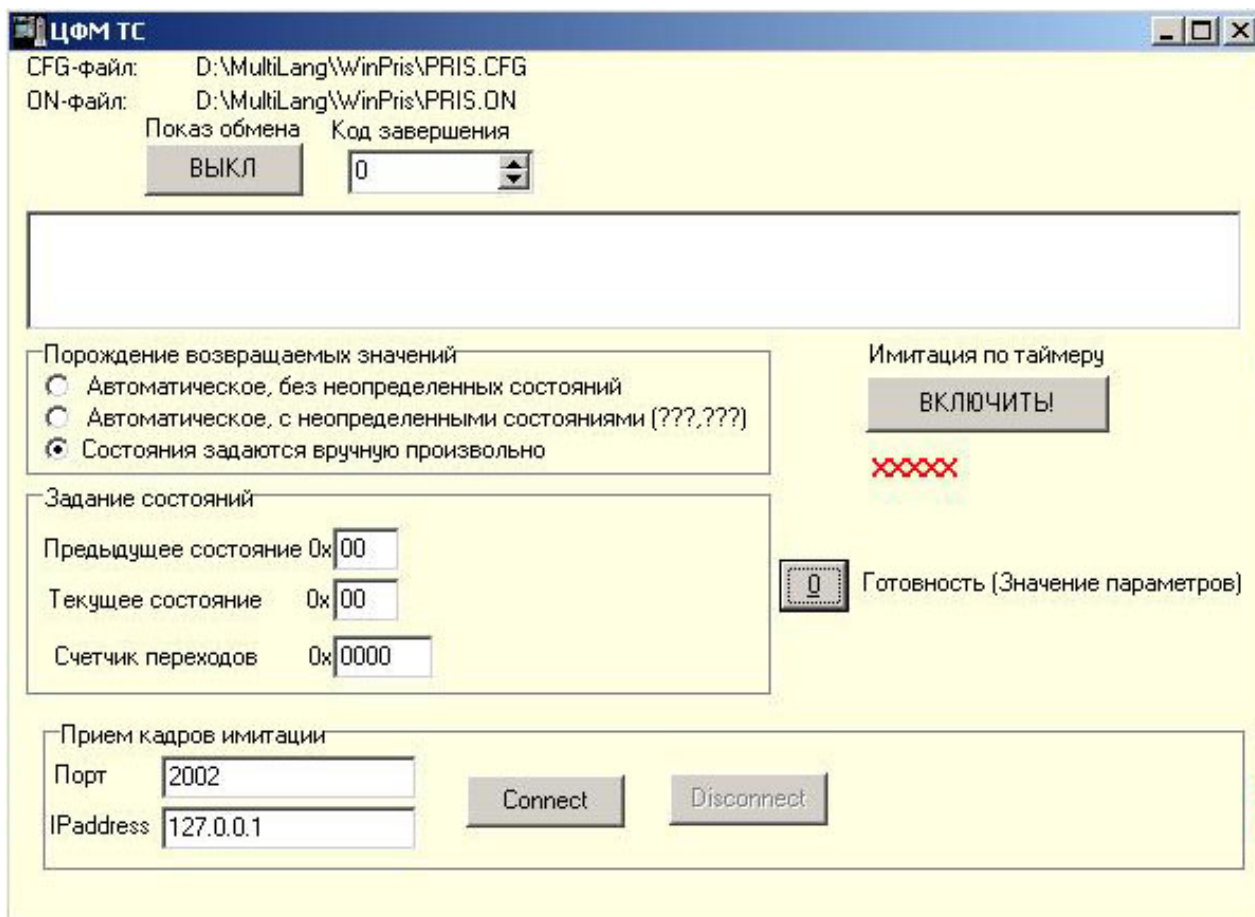


Рис. 7. Окно имитатора ИЦФМТС

Пакет запроса, направленный данному тракту, также может содержать требование измерить значения нескольких параметров (до 99). В этом случае пакет ответа будет содержать соответствующее количество значений.

Этот имитатор может организовать посылку пакетов по таймеру из главного потока к своему потоку, что бывает необходимо для служебных целей. На окне имитатора видны элементы управления этим механизмом.

4.6.4. Порождение значений параметров ССБВС

Параметры тракта ССБВС отражают состояние бортовых систем, и поэтому их значения могут быть скалярами практически любого простого типа данных или быть массивом скаляров простого типа. Имитатор выбирает тип возвращаемого значения, исходя из следующих соображений.

Во-первых, для параметра, заданного идентификатором, запрос дополнительно содержит однобуквенный квалификатор, который используется для выбора типа, как указано ниже:

- ‘Ф’ и ‘%’ – требуют вещественного значения двойной точности (тип **double**);
- ‘К’ – требует целочисленного значения длиной 32 двоичных разряда без знака (тип **unsigned long**);
- ‘И’ – требует возвращать для конкретного параметра значение такого типа, какой записан в базе данных для соответствующего идентификатора.

Во-вторых, если параметр задан шестнадцатеричным адресом (например, SC0@0XAF3456EF), то предполагается, что тип возвращаемого значения есть целое число без знака длиной 16 двоичных разрядов (**unsigned short**). В этом случае считается, что запрос обращен к ячейкам памяти бортовой вычислительной машины.

Для некоторых параметров этого тракта с помощью специальной директивы ПОДМЕНА можно заказать тракту возвращаемые значения. В этом случае имитатор хранит заказанные значения, которые он и возвращает. “Заказы” отображаются в окне имитатора (см. рис. 8).

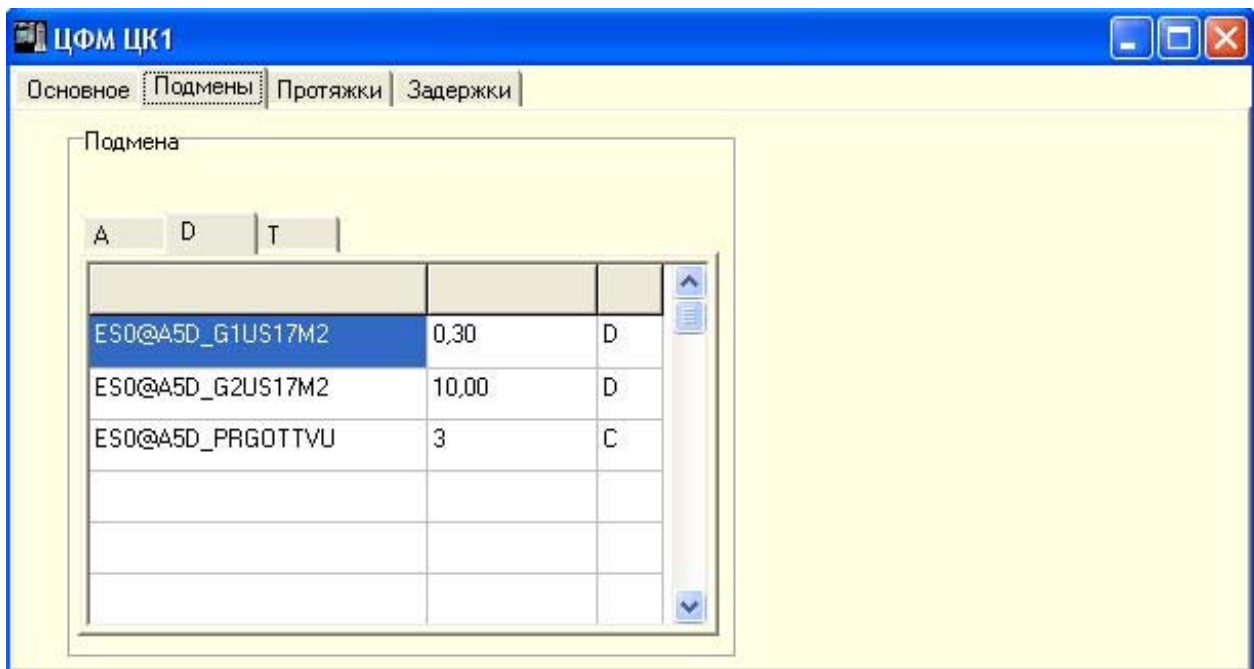


Рис. 8. Заказанные значения параметров

4.7. Асинхронные сообщения тракта ССБВС

В тракте ССБВС предусмотрен выборочный мониторинг некоторого множества подсистем в ходе работы ОК. Результаты наблюдения фиксируются в соответствующих структурах данных. Каждой такой подсистеме (структуре) соответствует в базе данных уникальный идентификатор особого вида. Выбор подсистемы для наблюдения заказывается соответствующей директивой:

СООББВС <идентификатор структуры>

Структура имеет шесть полей, квалифицируемых однобуквенным идентификатором. В любой момент времени значение любого поля заказанной структуры может быть запрошено директивой ЗАПРОС, проверено директивой ПРОВЕРКА. За одним из полей структуры (счетчиком сообщений) можно реализовать слежение с помощью директивы СЛЕДИТЬ. В этом случае при равенстве значения счетчика допуску в поток СЛЕЖ посылается соответствующий пакет.

4.8. Имитация слежения

В АИС в каждом тракте реализовано слежение за выбранными параметрами, смысл которого состоит в следующем. По специальной директиве СЛЕДИТЬ в тракт посылается пакет информации, содержащий идентификатор параметра плюс верхний и нижний допуски для значений этого параметра. В тракте осуществляется слежение за изменениями значения заданного параметра, и при каждом пересечении границы допустимого диапазона значений в УК посылается пакет данных, сигнализирующий об этом событии. Пакет данных содержит идентификатор параметра, его значение, допуски и признак входа в заданный диапазон значений или выхода из него. При получении такого пакета выполняются действия, предписанные директивой слежения.

В реальной системе события входа и выхода значений параметров в поля допусков происходят в случайные моменты времени. Однако, для отладки программ испытаний, целесообразно управлять этими событиями. Они имитируются нажатием горячих клавиш на пульте оператора. По нажатию такой клавиши из главного потока УК в имитатор посылается специальный пакет – “сигнал”, требующий породить событие пересечения поля заданных допусков. Если до сих пор значение параметра находилось в пределах допусков, то порождается новое значение параметра, выходящее за пределы допусков и признак выхода значения из допусков. Если до сих пор значение параметра находилось вне поля допусков, то порождается новое значение параметра, находящееся в пределах заданных допусков, и соответствующий признак. Имитатор формирует пакет, в который помещает идентификатор параметра, порожденное значение параметра, допуски и признак выхода значения из поля допусков (входа значения в поле допусков). Этот пакет отправляется потоку слежения УК. Поток СЛЕЖ ведет учет параметров, установленных на слежение. В реальной программе испытаний таких параметров может быть много (тысячи), но при отладке производится проверка реакции программы на выход значения из поля допусков для одного или нескольких параметров. Существует возможность (специальная директива – ИМС) задания имитатору подмножества параметров из числа стоящих на слежении в потоке СЛЕЖ. То есть имитатор ведет свой список стоящих на имитации параметров. В этом случае по нажатию горячей клавиши они все одновременно входят в допуск

или выходят из допуска. На рис. 9 приведен пример отображения в протоколе испытаний событий входа в допуск и выхода из допусков трех параметров по тракту НТКСИ.

При снятии одного или нескольких параметров со слежения (директивой КСЛЕДИТЬ) или с имитации (директивой ИМС ОТМЕН) указанный параметр удаляется из соответствующего списка.

```

13.42.26 СЛЕДИТЬ FAOC_1YM1 Ф НД=0 ВД=10 СТОП
13.42.31 СЛЕДИТЬ FAOC_1YM2 Ф НД=0 ВД=10 СТОП
13.42.36 СЛЕДИТЬ FAOC_1YM3 Ф НД=0 ВД=10 СТОП
13.42.41 ИМС
          FAOC_1YM1
13.42.45 ИМС
          FAOC_1YM2
13.42.49 ИМС
          FAOC_1YM3
13.43.00 FAOC_1YM1 Ф ЗНАЧ=0 НД=0 ВД=10 СЛЕЖЕНИЕ В НОРМЕ
13.43.00 FAOC_1YM2 Ф ЗНАЧ=0 НД=0 ВД=10 СЛЕЖЕНИЕ В НОРМЕ
13.43.00 FAOC_1YM3 Ф ЗНАЧ=0 НД=0 ВД=10 СЛЕЖЕНИЕ В НОРМЕ
13.43.01 FAOC_1YM1 Ф ЗНАЧ=-1 НД=0 ВД=10 СЛЕЖЕНИЕ->СТОП
13.43.01 FAOC_1YM2 Ф ЗНАЧ=-1 НД=0 ВД=10 СЛЕЖЕНИЕ->СТОП
13.43.02 FAOC_1YM3 Ф ЗНАЧ=-1 НД=0 ВД=10 СЛЕЖЕНИЕ->СТОП

```

Рис. 9. Пример имитации слежения по тракту НТКСИ

При снятии всех параметров со слежения (директивой КСЛЕДИТЬ ВСЕ) или с имитации (директивы ИМС ОТМЕН ВСЕ) соответствующие списки становятся пустыми.

4.9. Имитация задержки в тракте

При работе с реальной аппаратурой время ожидания между запросом, направленным к некоторому устройству, и полученным ответом может достигать нескольких секунд и даже минут. При работе с имитаторами такие задержки имеют порядок микросекунд. Для того чтобы поведение программ испытания при работе с имитаторами можно было приблизить к реальным условиям, в имитаторах можно задать искусственные задержки. Величину задержки можно установить как специальной директивой ЗАДЕРЖКИ, так и в окне имитатора, при этом для разных действий могут быть заданы разные задержки. Ниже на рис. 10 показан пример окна имитатора ИЦФМУИ с задержками для различных видов запросов к тракту ПККИ.

На приведенном рисунке видно, что для исполнения команд задана задержка в 5 секунд; для запросов параметров – 7 секунд; для защитных операций – 10 секунд; для управляющих воздействий – 0 секунд.

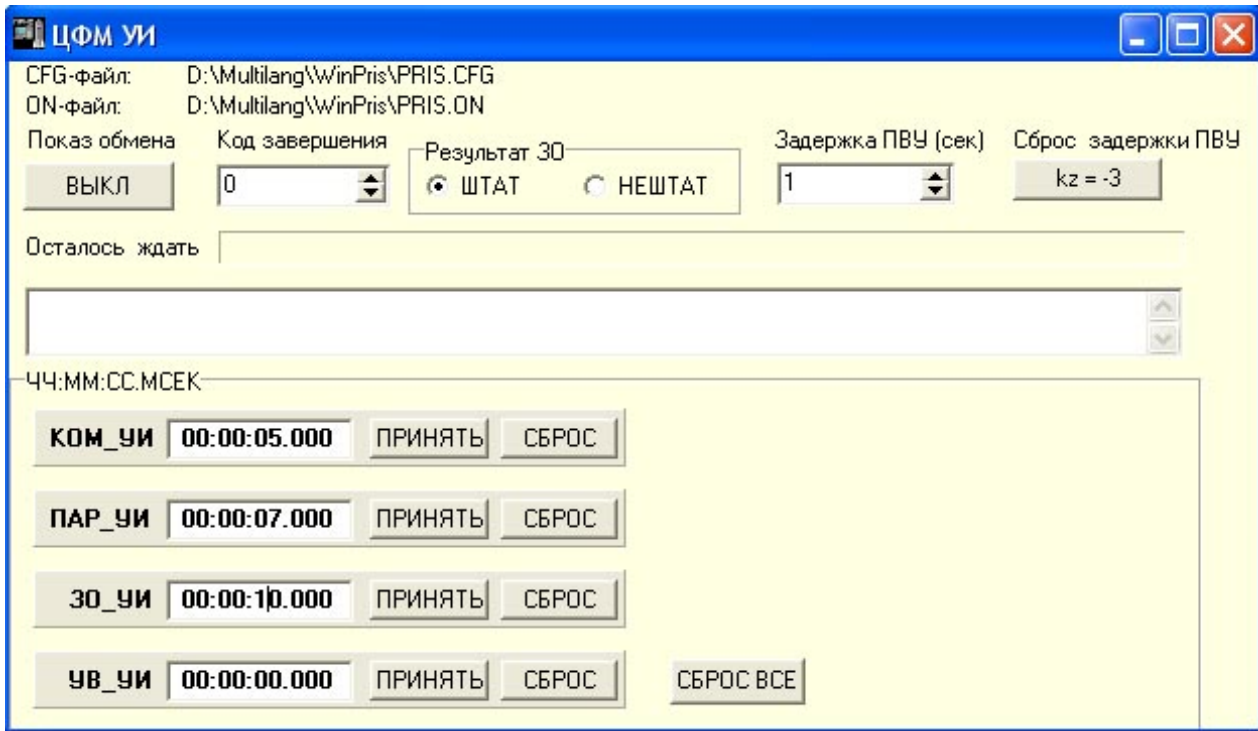


Рис. 10. Задание задержек в окне имитатора

4.10. Имитатор дистанционного управления (ИЦФМДУ)

Имитатор служит для проверки и отладки правильности взаимодействия удаленного оператора с УК, используя имитационный вариант АИС (один персональный компьютер). Имитатор устанавливает связь с небольшой специальной программой, обеспечивающей диалог с пользователем. Эта программа как отдельное приложение может быть загружена в ЦПКУ. Имитатор служит посредником между этой программой и УК.

4.11. Имитаторы ИЦФМПРТ и ИЦФМРЭП

Имитаторы ИФМПРТ и ИФМРЭП используются в имитационной системе только для ее полноты, т.е. для правильного реагирования на широковещательную рассылку пакетов потоками УК.

5. Заключение

Первоначально работа по созданию Автоматизированной испытательной системы являлась составной частью проекта “Буран”. В дальнейшем АИС нашла применение при разработке других космических аппаратов. Имитаторы были введены в состав АИС в процессе реализации проекта Международной Космической Станции для автономной отладки программ испытаний в отсутствие объекта контроля. В настоящее время АИС с успехом применяется для испытаний и других космических аппаратов.

Идея создания АИС принадлежит М. Р. Шура-Бура, который и руководил этой работой вплоть до его ухода из жизни в 2008 г.

Нам представляется, что работа по имитационному варианту АИС может иметь развитие в плане более точного моделирования объектов контроля.

6. 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. Препринт Института прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН №29, Москва, 2008, 14 стр.
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.