

УДК 629.7.064.52, 681.5.015

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ИСПЫТАНИЙ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

К.В. Безручко д-р техн. наук, И.Б. Туркин канд. техн. наук, А.В. Горовой

Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ"

Изложены принципы построения программного комплекса для испытаний систем электроснабжения космических аппаратов. В качестве примера использования разработанных средств приведен алгоритм проверки одного из датчиков напряжения системы электроснабжения.

* * *

The principles of the software development for tests of space vehicles power systems are discussed. The algorithm of one voltage-sensors check during autonomous and complex tests of an electrical power system is explained as an usage example of designed software.

* * *

Викладені принципи побудови програмного комплексу для випробувань систем електрозабезпечення космічних апаратів. Як приклад використання розроблених засобів наведено розроблений алгоритм перевірки одного з датчиків напруги систем електрозабезпечення.

Введение

Актуальной проблемой при создании систем электроснабжения (СЭС) космических аппаратов (КА) является оценка эффективности функционирования и проверка соответствия их характеристик техническим требованиям, которые реализуются в ходе исследовательских и экспериментально-отрабочных испытаний [1].

Важная составляющая испытаний – их информационно-управляющая система (ИУС). Общим вопросам построения ИУС испытаний СЭС КА посвящена работа [2], в которой предложены принципы разработки программного обеспечения (ПО) ИУС для натурных испытаний солнечной СЭС КА (требования к ПО и его структура).

Данная статья является развитием работы [2] с примером реализации изложенных ранее концепций для ИУС испытаний СЭС малого спутника.

1. Имитационная модель инфраструктуры испытательного стенда

Отладку и тестирование технологических режимов испытаний, алгоритмов программного обеспечения трудоемко и экономически неэффективно

проводить только в стендовых условиях на поздних этапах разработки. Поэтому технология разработки специального программного обеспечения натурных испытаний СЭС базируется на имитационной математической модели (ИММ) инфраструктуры стенда и объекта испытаний: СЭС и ее контрольно-измерительной и контрольно-проверочной аппаратуры (КИА и КПА). Такая модель необходима не только для тестирования системы, но и для уточнения и развития требований, изучения свойств системы, понимания логики взаимодействия с внешней средой и т.д. При этом высокая стоимость испытаний с реальными объектами оправдывает значительные затраты на такие системы, тем более, если предстоят испытания систем электроснабжения, имеющий длительный жизненный цикл с множеством развивающихся версий. Основные требования к модели сводятся к следующим положениям [3]:

– все данные от ИММ должны поступать на испытываемое ПО в соответствии с естественным ходом процессов в имитируемых объектах реального времени;

– диапазоны изменения исходных данных в программных имитаторах должны обеспечивать перекрытие всех характеристик реальных объектов;

– генерируемые тестовые и эталонные данные, все виды искажений и аномалий, поступающих на испытываемое СПО, должны регистрироваться, контролироваться и обобщаться в любой момент времени и на любом заданном шаге обработки информации;

– модель должно настраиваться на структуру ее аппаратных средств и параметры внешнего окружения, которые при разработке системы обычно точно не определены. Настройка обычно выполняется статически до запуска системы;

– должна быть обеспечена возможность измерения и обобщения показателей качества и безопасности СПО.

2. Функции и структура комплекса программного обеспечения

Перечисленные требования к ИММ определяют необходимость разработки программного комплекса, функциональное назначение которого состоит в следующем:

1) подготовка испытаний СЭС, включая редактирование технологических процессов испытаний специалистом-технологом без участия программиста и повторной компиляции программного комплекса, а также автономное тестирование ПО и верификацию технологических процессов испытаний;

2) осуществление проверок СЭС на стенде автономных испытаний и в составе КА, в том числе управление имитаторами нагрузки и фотоэлектрической батареи, эмуляция алгоритмов контура управления СЭС, реализующегося в системе управления КА, получение, визуализация и протоколирование телеметрической информации, контроль взаимного функционирования составных частей и СЭС в целом, логики работы в различных условиях и режимах эксплуатации, близких к реальным, работоспособности СЭС при имитации возможных нестандартных ситуаций и т.д.;

3) анализ интегральных электроэнергетических характеристик СЭС по результатам испытаний.

На этапе подготовки испытаний формируется описание технологического процесса испытаний, представленное в формате базы данных. Редактор сценариев проведения испытаний СЭС в диалоговом режиме с использованием удобного, графического и интуитивно-понятного интерфейса пользователя обеспечивает возможности создания и редактирования, описание режимов испытаний, которое впоследствии может быть сохранено на диске и документировано на твердом носителе.

3. Взаимодействие компонентов ПО в режиме реального времени

Подсистема реального времени (рис. 1) включает в себя следующие программные единицы:

– монитор состояния СЭС, который, исходя из описания стратегии испытаний, хранящейся в базе данных, осуществляет запросы информации от внешних устройств, ее прием и преобразование, выдачу управляющих воздействий;

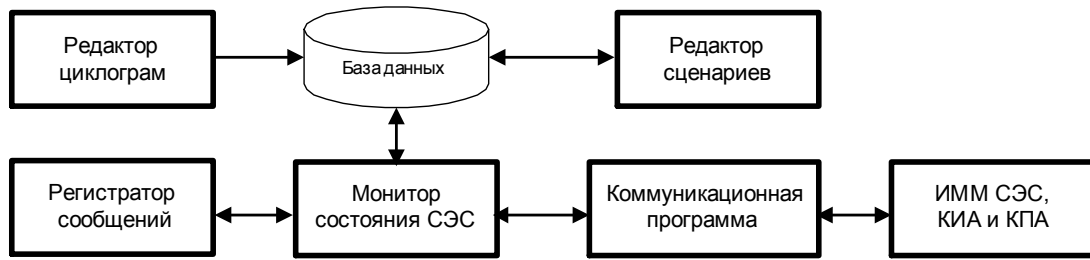
– программа-имитатор БЦВК, применяемая только при автономных испытаниях СЭС;

– программа регистрации, обработки и просмотра сообщений о событиях, происходящих при испытаниях;

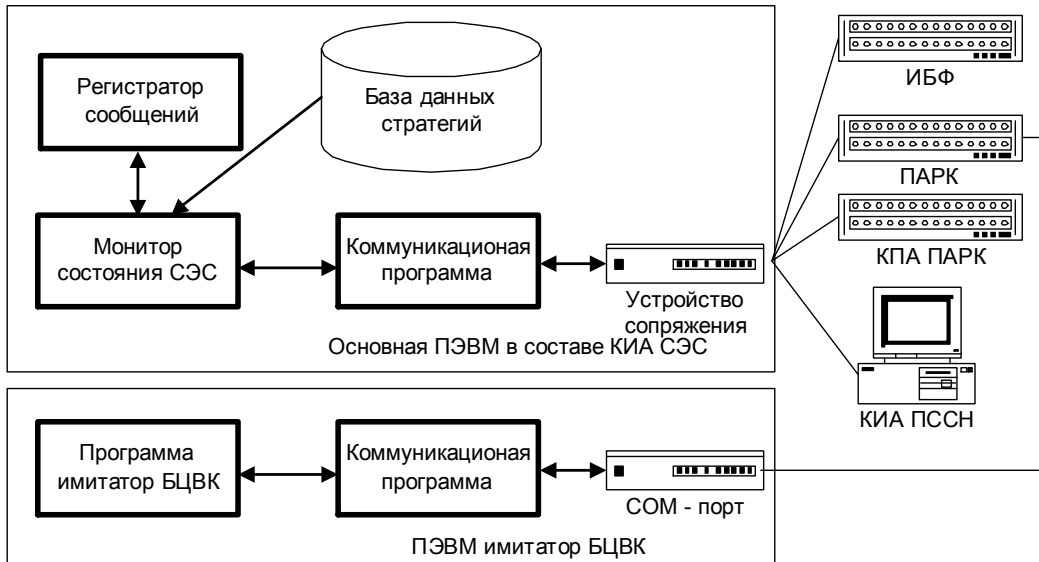
– коммуникационная программа для взаимодействия с внешними устройствами через последовательный интерфейс и по локальной сети Ethernet в реальном времени и с ИММ во время автономной отладки технологии проведения испытаний и тестирования программного продукта.

Основой для представления технологических процессов является запись алгоритмов их проведения на языке функциональных блоков [4], к основным типам которых относятся:

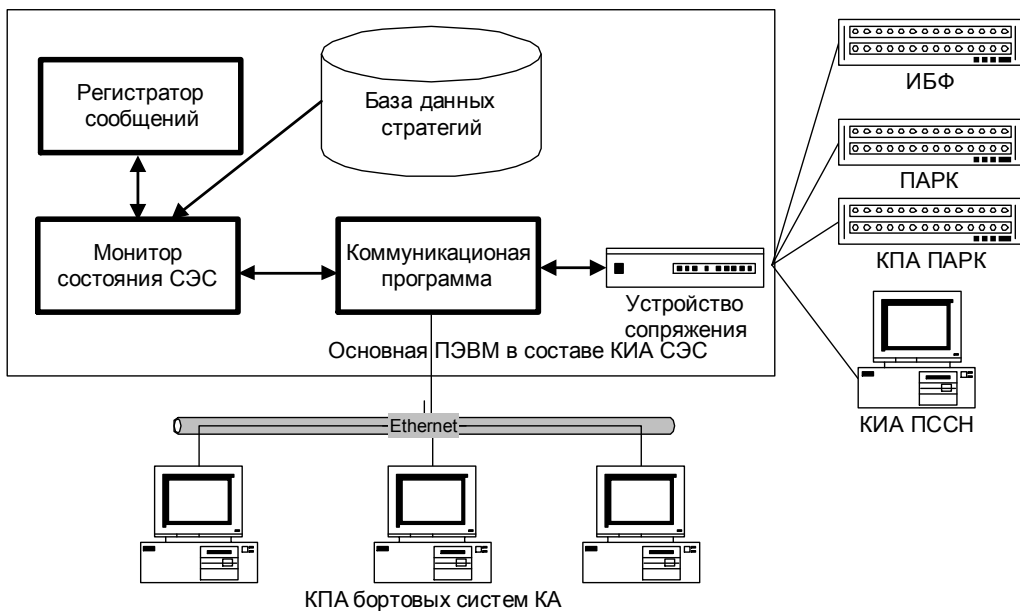
1. Блоки-источники, которые представляет собой ссылку на данные, формируемые путем программного опроса внешних каналов, ввода текущего времени или выполнения внешней подсистемы. Опрос внешних каналов и преобразование принятой



а



б



в

Рис. 1. Схема информационного взаимодействия программ подсистемы реального времени: а – схема применения математической модели СЭС для тестирования программного обеспечения и верификации технологических процессов; б – автономные испытания СЭС; в – испытания в составе КА

информации происходят автоматически (программно) с заданной периодичностью.

2. Блоки анализа и обработки данных, регламентирующие основные способы преобразования информации.

3. Блоки управления сценарием, позволяющие организовать иерархическую схему описания процесса испытаний.

4. Блоки, реализующие выдачу команд управления на внешние устройства, данных из вызываемых подсистем, сообщений оператору.

4. Стратегия проведения испытаний на примере алгоритма проверки датчика напряжения

В качестве примера использования данного подхода для испытаний СЭС КА «Микроспутник» рассмотрим один из разработанных алгоритмов, а именно: алгоритм проверки исправности датчика среднего напряжения (ДСН). Известно, что срабатывание ДСН должно происходить при устойчивом (в течение 3...5 с) снижении напряжения на выходе СЭС (шинах ПАРК) до величины $29,5 \pm 0,15$ В. Указание двух допустимых диапазонов времени и напряжения срабатывания приводит к тому, что результаты проверки могут иметь четыре возможных исхода, среди которых только один соответствует исправному состоянию датчика.

Тогда алгоритм проверки ДСН выглядит так:

1. Если датчик сработал при $U > U_{ДСН} + \Delta U$ (где $U_{ДСН} = 29,5$ В, $\Delta U = 0,15$ В), то сигнализировать о ложном срабатывании датчика.

2. При падении напряжения на выходе СЭС до $U \leq U_{ДСН} - \Delta U$ (где $U_{ДСН} = 29,5$ В, $\Delta U = 0,15$ В) начать отсчет возможного времени $t_{возм}$.

3. При срабатывании ДСН фиксировать $t_{возм}$. Если $t_{возм} < 3$ с, сигнализировать о преждевременном срабатывании датчика, в противном случае – об его исправности.

4. При отсутствии срабатывания ДСН и $U \leq U_{ДСН} - \Delta U$ начать отсчет необходимого времени срабатывания $t_{необх}$.

5. При отсутствии срабатывания и выполнении условия $t_{необх} > t_{max}$ (где $t_{max} = 5$ с) сигнализировать о задержке срабатывания датчика.

6. Если при отсчете $t_{возм}$ или $t_{необх}$ зафиксирована ситуация $U > U_{min}(U_{max})$, соответствующий таймер остановить.

Если проверку ДСН представить объектом, то схему его поведения можно охарактеризовать диаграммой состояний (рис. 2). Диаграмма содержит практически всю необходимую информацию для программной реализации, но предварительно она должна быть синтезирована программистом и технологом совместно, с учетом желательных свойств поведения объекта и возможности их программной реализации.

Разработанные программные средства для испытаний СЭС ориентированы на использование визуальных средств проектирования и спецификации технологических режимов испытаний, которые обладают большей выразительной мощностью по сравнению с традиционными текстовыми языковыми средствами.

Управление процессом интерактивного создания и редактирования технологических режимов испытаний осуществляется объектно-ориентированным редактором сценариев испытаний (рис. 3), в результате чего происходит создание и модификация реляционной базы данных. В процессе редактирования данных редактор осуществляет исчерпывающий контроль корректности и непротиворечивости данных, допуская построение базы данных (описания технологического процесса) лишь в точном соответствии с алгоритмами проверок.

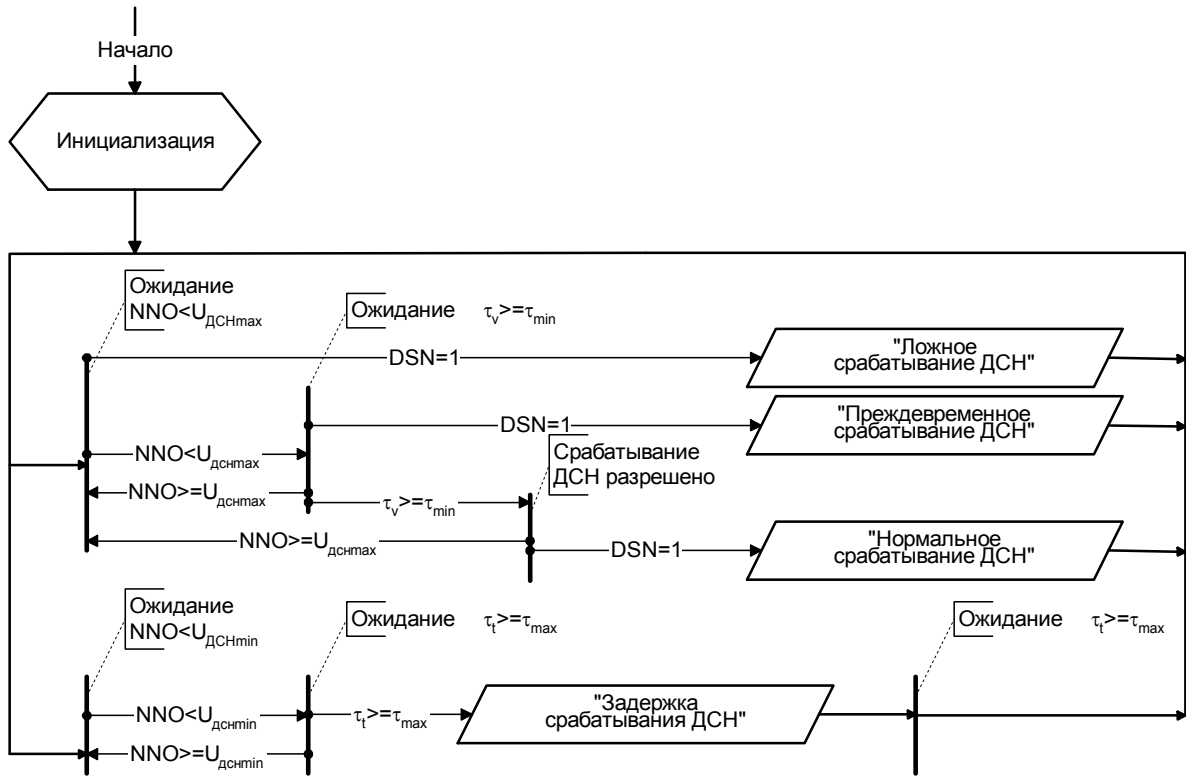


Рис.2. Диаграмма последовательностей проверки корректности срабатывания ДСН

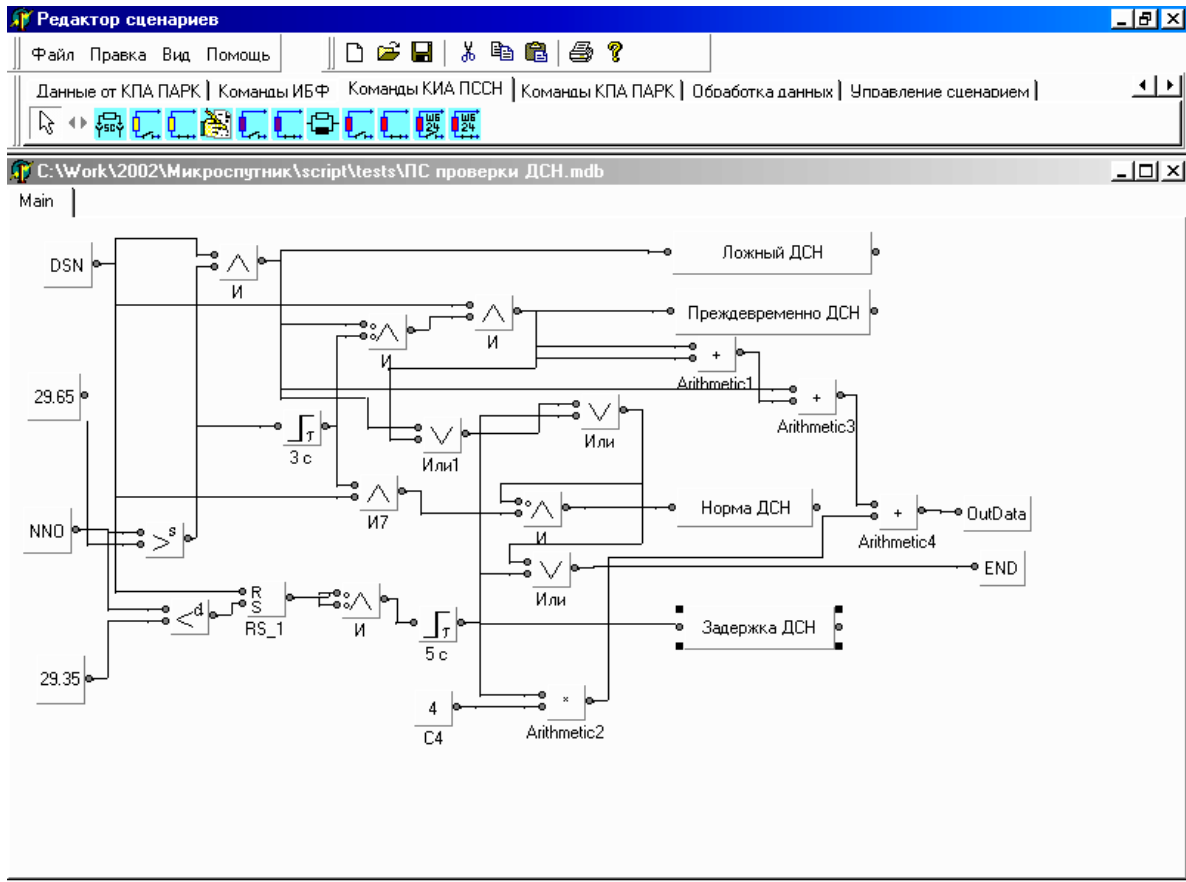


Рис.3. Процесс графического редактирования сценария проверки ДСН

Вся информация, содержащаяся в отредактированном сценарии испытаний, автоматически сохраняется в базе данных, а затем на этапе проведения испытаний считывается из нее, т.е. отсутствует ручная трансляция представлений технолога в текст программной реализации, при которой обычно допускаются много ошибок.

Заклучение

В статье предложен подход к разработке программного обеспечения для ИУС испытаний СЭС КА. Особенности данного подхода являются:

- включение в состав ПО имитационной модели инфраструктуры испытательного стенда;
- распределение функций программного комплекса по соответствующим его подсистемам – подготовки испытаний, реального времени, анализа и обработки результатов;
- использование баз данных стратегий проведения испытаний, описанных на языке функциональных блоков и доступных для редактирования специалисту-технологу испытаний посредством их представления в графическом виде (мнемосхемы).

Дальнейшее развитие работы предполагается в следующих направлениях:

- оптимизация архитектуры ПО путем введения программы-сервера взаимодействия приложений, предназначенной для хранения общих переменных и методов приложений, входящих в ПО;
- разработка баз данных типовых стратегий для проведения проверок и диагностики элементов фотоэлектрических СЭС КА в процессе наземных испытаний системы;
- создание программных средств для сопровождения СЭС КА в период летной эксплуатации.

Литература

1. Безручко К.В., Туркин И.Б. Концепция планирования испытаний систем электроснабжения

космических аппаратов // Вісті Академії інженерних наук України. 2001. №1, 20. С. 143-162.

2. Безручко К.В., Туркин И.Б. Автоматизированная система испытаний энергоустановок космических аппаратов // Авіаційно-космічна техніка и технологія.: Зб. наук. праць. - Нац. аерокосмічний ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2001. Вип 26. С. 199-204.

3. Парфенов В.В., Терехов А.Н. RTST – технология программирования встроенных систем реального времени. Системная информатика. Вып. 5: Архитектурные, формальные и программные модели. Новосибирск, 1997, с. 228-256.

4. ITU Recommendation Z.100: Specification and Description Language (SDL). 1993. 204 p.

Поступила в редакцию 14.04.03

Рецензенты: д-р техн. наук, профессор, нач. отдела термодинамики Соловей В.В., ИПМАШ НАНУ, г. Харьков; д-р техн. наук, профессор, зав. каф. электротехники Яковлев А.И., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков