

На правах рукописи

Коврига Юрий Юрьевич

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ПРОГРАММЫ ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ
ИЗДЕЛИЙ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Специальность 05.13.12 – Системы автоматизации проектирования

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Самара – 2007

Работа выполнена на кафедре компьютерных систем государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева».

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор Калентьев Анатолий Алексеевич.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор Орлов Сергей Павлович, ГОУ ВПО «Самарский государственный технический университет», кафедра «Вычислительная техника»;

доктор технических наук, профессор Пиганов Михаил Николаевич, ГОУ ВПО «Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева», кафедра конструирования и производства радиоэлектронных средств.

Ведущая организация: Федеральное государственное унитарное предприятие «Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения» (ФГУП «РНИИ КП»), г. Москва.

Защита состоится 30 ноября 2007 г. в 10⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д212.215.05 при ГОУ ВПО "Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева" по адресу: 443086, г. Самара, Московское шоссе, 34.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО "Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева".

Автореферат разослан 25 октября 2007 г.

Ученый секретарь диссертационного совета

Калентьев А.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Контроль состояния и функционирования бортовых систем, агрегатов и элементов конструкции изделий ракетно-космической техники (РКТ), состояния и поведения экипажа, живых организмов и других объектов осуществляется по телеметрической информации (ТМИ), получаемой в результате измерения различных физических параметров объектов. Задачи сбора, обработки ТМИ и представления сообщений о параметрах в форме, согласующейся с используемым методом передачи ТМИ и характеристиками радиолинии, возложены на бортовую систему телеметрических измерений (БСТИ). При этом перечень телеметрируемых параметров (ТМП) изделия, средства первичного преобразования (СПП) измерительной информации и места расположения их на изделии, а также распределение ТМП по информационным входам БСТИ определяются программой телеметрических измерений (ПТИ), проектируемой при разработке БСТИ.

При традиционно применяемом регулярном дискретном представлении сообщений и временном разделении каналов порядок и частоты появления сообщений о параметрах в телеметрическом потоке, формируемом БСТИ, определяет ПТИ. Изменение в процессе функционирования изделия потоков ТМИ, характеризующих динамику контролируемых процессов, и задач, стоящих перед потребителем ТМИ на конкретном участке функционирования (контроля) изделия, при ограниченной пропускной способности каналов связи приводит к необходимости управления ПТИ. При программно-управляемом сборе ТМИ управление ПТИ осуществляется путем изменения состава ТМП и изменения частот формирования выборок ТМП в выходном потоке в зависимости от участка контроля по командам от бортовых или наземных средств управления. В рассматриваемых системах это единственный способ адаптации к информационному потоку изделия, позволяющий уменьшить семантическую избыточность передаваемой информации. Физически ПТИ реализуется путем задания режимов работы (программ опроса) соответствующих приборов радиотелеметрической системы (РТС) как главного звена БСТИ программным (в виде прошивок ПЗУ) и/или аппаратным (в виде кроссировок) способом. Поэтому содержание ПТИ напрямую зависит от типа применяемой РТС.

Бортовые системы и решаемые ими задачи год от года становятся все сложнее, и общее число ТМП на изделии РКТ достигло нескольких тысяч. Временная диаграмма функционирования изделия представляет собой совокупность участков контроля, каждый из которых характеризуется своим набором ТМП и показателями представления сообщений. Проектирование ПТИ с учетом особенностей применяемых средств измерений требует высокой квалификации разработчика, больших временных затрат и не исключает возникновение ошибок проектирования. В таких условиях традиционные неавтоматизированные методы проектирования ПТИ оказываются неэффективными.

Научными коллективами ведущих разработчиков систем космической телеметрии (ФГУП "РНИИ КР", ФГУП "НПО ИТ", ДООО "ОКБ ИРЗ") активно внедряются новые измерительные, вычислительные и информационные технологии в практику информационно-телеметрического обеспечения изделий РКТ. При этом вопросы проектирования СПП, в особенности обеспечение метрологических и надежностных характеристик для конкретных условий измерений, подробно рассматриваются в области измерительной техники.

Среди средств, применяющихся при проектировании различных элементов БСТИ (приборов РТС, кабелей связи контролируемых систем с БСТИ, СВЧ-устройств), имеется множество как промышленных, так и специализированных САПР отечественной и зарубежной разработки для схмотехнического, конструкторского, компонентного и технологического проектирования.

Различные методы и средства автоматизированного синтеза кабельной сети предлагаются в работах Калинин Б.В., Ладейнова С.В., Головастикова В.Е. и др.

В работах Смирнова Д.А., Чернышова А.В., Плесовских А.К. предлагаются методы и средства для разработки программно-математического обеспечения РТС, включая реализацию ПТИ, ориентированные на ограниченный класс систем. Метод автоматизированного проектирования ПТИ для одной из систем был предложен в работе Жариновой Л.А.

Однако осталась нерешенной задача автоматизации проектирования ПТИ для широкого класса РТС. Это связано с тем, что некоторые характерные особенности применяемых и непрерывно совершенствуемых РТС обуславливают также различия в методах проектирования ПТИ и требуют их отражения в математическом и программном обеспечении САПР.

Объектом исследования является ПТИ изделий РКТ, реализуемая в высокоинформативных цифровых РТС с регулярным дискретным представлением сообщений, программно-управляемым сбором ТМИ, трехступенчатой коммутацией источников ТМИ и временным разделением каналов.

Предметом исследования является автоматизация проектирования ПТИ.

Цель работы и задачи исследований

Целью работы является повышение качества и сокращение сроков проектирования БСТИ за счет автоматизации проектирования ПТИ, а также повышение эффективности использования его результатов при сквозном проектировании изделия.

Для достижения поставленной цели определены основные задачи:

1. Разработать модель БСТИ, адекватную рассматриваемому классу РТС.
2. Разработать метод автоматизированного проектирования ПТИ.
3. Решить задачу проектирования ПТИ для БСТИ на базе РТС типа БИТС2Ц.
4. Разработать информационное и программное обеспечения САПР БСТИ в части разработки ПТИ.

Методы исследований

При решении поставленных задач использовались методы и математический аппарат теорий множеств и отношений, теории принятия решений, методы структурной оптимизации, а также методологии структурного системного анализа.

Научная новизна

Разработана математическая модель БСТИ, адекватная целому классу РТС, и ее графическое представление – информационная и функциональная модели, построенные с применением методологий структурного системного анализа.

Разработан метод структурной оптимизации ПТИ на основе эвристического алгоритма размещения, использующий единый подход к решению проектных задач на всех этапах проектирования ПТИ независимо от типа применяемой РТС рассматриваемого класса.

Практическая ценность. Результаты диссертационной работы позволяют:

1. Сократить сроки и стоимость проектирования БСТИ, исключив рутинный труд разработчика по обработке исходных данных и проектированию ПТИ.

2. Повысить качество проектирования за счет оптимизации ПТИ и тестирования на наличие ошибок проектирования.
3. Повысить эффективность использования результатов проектирования ПТИ при сквозном проектировании изделия за счет информационного обеспечения САПР.
4. Автоматизировать выпуск конструкторской документации по БСТИ.
5. Определять на этапе эскизного проектирования изделия требуемые ресурсы БСТИ по количеству и номенклатуре приборов сбора сообщений из состава РТС, энергетическим и весовым характеристикам.
6. Автоматизировать процесс разработки информационных и программных средств САПР БСТИ за счет визуального моделирования с применением CASE-средств.
7. Расширять круг решаемых при проектировании задач и поддерживаемых типов РТС за счет легкости и удобства сопровождения и внесения изменений в модель.

Реализация и внедрение результатов исследований

Результаты исследований использованы при разработке ПТИ космических аппаратов типа "Ресурс-ДК" на ФГУП ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс" в составе интегрированной САПР БСТИ.

Апробация. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на: III Международной конференции молодых ученых "Актуальные проблемы современной науки" (г. Самара, 2002 г.); XVI научно-технической конференции молодых ученых и специалистов, проводимой РКК "Энергия" (г. Королев, 2002 г.); XI и XII Всероссийских семинарах по управлению движением и навигации летательных аппаратов (г. Самара, 2003 и 2005 г.); Международной научно-технической конференции "Датчики и системы - 2005" (г. Пенза, 2005 г.); научно-технической конференции и научно-практических семинарах молодых ученых и специалистов предприятий космической промышленности, проводимых ИПК "Машприбор" (г. Королев, 2005 и 2006 г.); III научно-технической конференции молодых специалистов, проводимой ФГУП "НПО Автоматики" (г. Екатеринбург, 2006 г.); научно-технической конференции ФГУП "РНИИ КП" (г. Москва, 2006 г.), XXV Межведомственной научно-технической конференции, проводимой космодромом "Плесецк" (г. Мирный, 2007 г.); Всероссийской научно-технической конференции "Актуальные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций" (г. Самара, 2007 г.).

Публикации. Основное содержание диссертации опубликовано в 9 работах (8 статей и тезисы 1 доклада), в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, определенных Высшей аттестационной комиссией - 1 статья.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав с выводами по каждой из них, заключения, списка использованной литературы и приложения. Она изложена на 180 страницах машинописного текста, включает 14 рисунков, 1 таблицу и список литературы из 136 наименований.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Математическая модель БСТИ, адекватная рассматриваемому классу РТС, и ее графическое представление – информационная и функциональная модели, построенные с применением методологий структурного системного анализа.
2. Метод структурной оптимизации ПТИ на основе эвристического алгоритма размещения, использующий единый подход к решению проектных задач на всех этапах проектирования независимо от типа применяемой РТС.
3. Решение задачи синтеза проектных решений ПТИ для БСТИ на базе РТС типа БИТС2Ц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, определяются цель и задачи исследований, указывается научная новизна и практическая ценность полученных результатов, приводятся структура и краткое содержание диссертации, а также основные положения, выносимые на защиту.

Первая глава посвящена постановке задачи исследований. Проведен анализ состояния исследований в области проектирования БСТИ и определены цель и направление дальнейших исследований. Рассмотрена организация телеметрических измерений на борту изделия РКТ.

При временном разделении каналов на выходе БСТИ формируется совокупность групповых дискретных сообщений о параметрах изделия в виде вектора:

$$\vec{V} = \{ \vec{V}_1, \dots, \vec{V}_m \}, \quad (1)$$

где каждая составляющая $\vec{V}_h = \{ V_1^{(h)}, \dots, V_p^{(h)} \}, h = \overline{1, m}$ представляет сообщение, формируемое на некотором интервале времени $T^{(h)}$ всего интервала наблюдения $T_n = \sum T^{(h)}$ и содержащее совокупность координат $V_k^{(h)}, k = \overline{1, p}$. В качестве координат сообщения используются текущие значения отдельных первичных сигналов $U_i(t)$ в фиксированные моменты времени – выборки $U_i[t_z], z \in N$.

При регулярном дискретном представлении сообщений и программно-управляемом сборе ТМИ преобразование ТМП в сообщения происходит по схеме:

$$\overline{\Lambda}_\Sigma(t) \xrightarrow{G} \overline{U}_\Sigma(t) \xrightarrow{F} \overline{U}(t) \longrightarrow \{ U_i[zT_{oi}] \} \xrightarrow{A} \vec{V}, \quad (2)$$

где $\overline{\Lambda}_\Sigma(t) = \{ \lambda_i(t) \}, i = \overline{1, n}$ – совокупность ТМП, позволяющих полностью воспроизвести все контролируемые на борту явления и процессы;

$\overline{U}_\Sigma(t) = \{ U_i(t) \}, i = \overline{1, n}$ – совокупность первичных электрических сигналов, снимаемых с выходов СПП;

G – оператор первичного преобразования, реализуемый различного рода датчиками и преобразователями;

$\overline{U}(t) = \{ U_i(t) \}, i = \overline{1, r}$ – совокупность сигналов (характеристик), интересующих потребителя на интервале T_n ;

F – целевой оператор, реализуемый ПТИ и аппаратно приборами РТС в соответствии с задачами измерений;

$U_i[zT_{oi}]$ – выборка сигнала $U_i(t)$ при $t_z = zT_{oi}$, где T_{oi} – период опроса $U_i(t)$;

A – оператор представления, реализуемый ПТИ и аппаратно приборами РТС.

Требования к частотам опроса ($F_{oi} = 1/T_{oi}$) измерительных цепей сигналов $U_i(t)$ определяются свойствами измеряемых параметров $\lambda_i(t)$, а также задачей измерений на интервале наблюдения T_n . При этом интервалу T_n соответствует определенная программа сбора ТМИ, установленная в РТС, а интервалу $T^{(h)}$, в течение которого передается совокупность $\overline{U}(t)$, – кадр этой программы сбора, где каждому параметру (группе параметров) периодически предоставляется каналный интервал $T^{(h)}/p$, в течение которого групповой сигнал (1) несет информацию только о нем.

При известных характеристиках РТС и заданной номенклатуре ТМП содержание сообщения на выходе БСТИ полностью определяется ПТИ, поэтому выполнение возложенных на БСТИ функций зависит от результатов проектирования ПТИ. Задача проектирования ПТИ состоит в определении операторов F и A , задающих соответственно состав ТМП в программах сбора и порядок и частоты предоставле-

ния канальных интервалов (позиций кадра) отдельным параметрам в кадрах программ сбора на интервалах наблюдения в соответствии со свойствами параметров, задачами измерений и характеристиками РТС. Поскольку длительности всех интервалов $T^{(h)}$ на интервале T_n равны и объем координат $V_k^{(h)}$ на каждом из них постоянен, то можно говорить о распределении параметров по канальным интервалам одного кадра каждой из программ сбора. Управление ПТИ заключается в изменении состава ТМП (оператора F) и частот их опроса в программах сбора (оператора A) по команде от бортовых или наземных средств управления, содержащейся в поступающем в РТС сообщении $I(\alpha)$.

Формально ПТИ представляет собой соответствие между измеряемыми параметрами, каналами приборов аппаратуры сбора сообщений (АСС) и позициями кадров программ сбора, которое удобнее всего представлять в табличном виде. Варианты ПТИ являются вариантами распределения ТМП по каналам приборов АСС, а последних по канальным интервалам кадров программ сбора. Множество вариантов является конечным, и проектирование заключается в выборе варианта из некоторого дискретного ряда. При таком рассмотрении ПТИ является дискретным объектом, и задача проектирования является задачей структурного синтеза.

Число возможных вариантов построения ПТИ даже с учетом всех возможных ограничений велико, а их случайная генерация не гарантирует получения лучшего решения. Поэтому требуется разработка специального метода поиска наилучшего проектного решения ПТИ. В результате возникает математическая постановка задачи структурной оптимизации ПТИ, которая заключается в определении значений независимых переменных, характеризующих размещение ТМП в кадрах программ сбора, при которых критерий оптимальности ПТИ при известных ограничениях принимает экстремальное значение.

Вторая глава посвящена разработке модели БСТИ и метода синтеза ПТИ. Исходя из описания БСТИ, структурная схема которой изображена на рисунке 1, независимо от типа используемой РТС рассматриваемого класса и конструктивного исполнения ее приборов, можно выделить следующие сущности: ТМП изделия; датчики (Д); преобразователи (П), согласующие при необходимости выходные ха-

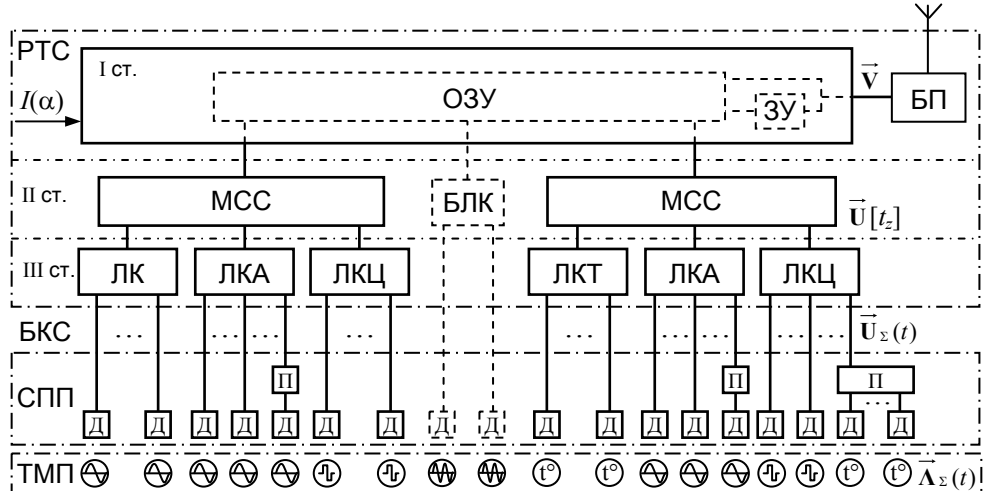


Рисунок 1 – Обобщенная структурная схема БСТИ

характеристики датчика с входными характеристиками информационных входов РТС; локальные коммутаторы (ЛК) II и III ступеней коммутации, специализированные в зависимости от характера выходной информации СПП (аналоговой или дискретной) и скорости ее изменения (частоты опроса СПП) и предназначенные для сбора и преобразования ТМИ; модули сбора сообщений (МСС) II ступени коммутации, группирующие информацию с подключенных к ним ЛК III ступени для передачи в основной коммутатор-формирователь структуры и состава телеметрических кадров (I ступень коммутации); служебные параметры РТС (временная информация, кадровая синхронизация и др.), передаваемые в кадрах вместе с ТМП; адреса оперативного запоминающего устройства (ОЗУ), динамически отображающего состояние всей датчиковой сети; субкадры (СК) для передачи в кадрах медленно меняющихся ТМП (коммутируемых с частотой, менее частоты следования телеметрических кадров); кадры программ сбора ТМИ. Каждая сущность представляет собой соответствующее конечное множество, элементами которого являются упорядоченные совокупности атрибутов. Взаимодействие сущностей между собой отражается в отношениях между соответствующими множествами и определяется ПТИ.

Таким образом, математическую модель (структурно-параметрическое описание) БСТИ можно представить в виде модели:

$$M = (A, G), \quad (3)$$

где $A = \{A_i\} = \{\text{Par, Sens, Conv, LC, Mod, SysPar, Adr, SC, Prog}\}$ – основное множество, элементами которого является множество вышеназванных типов сущностей, описывающих исходные данные на проектирование;

G – множество отношений на множестве A , элементами которого является искомое множество связей между сущностями БСТИ, определяемых ПТИ.

Номенклатура используемых в модели (3) множеств, их атрибутов и отношений, в которых они участвуют, зависит от типа применяемой РТС.

Задача синтеза ПТИ сводится к размещению ТМП в кадрах программ сбора, т.е. в установлении соответствия между множеством ТМП и множеством канальных интервалов кадров программ сбора ТМИ. Модель БСТИ отвечает решению задачи декомпозиции проектирования с использованием положений блочно-иерархического подхода. В связи с этим ПТИ в общем случае будем называть совокупность:

$$G = \{G_1, G_2, G_3, G_4\}, \quad (4)$$

где каждое отношение $G_j, j = \overline{1,4}$ задает определенную промежуточную структуру – систему элементов, состоящую из упорядоченных наборов, построенных из элементов исходных множеств – декартово произведение множеств:

$G_1 \subseteq \text{Par} \times (\text{Sens} \times \text{Conv} \times \mathbf{N} \times \mathbf{R}^2) = \{(p, s, c, n_c, r_1, r_2)\}$ – соответствие между множеством ТМП Par и множеством СПП, включающем в себя подмножества: датчиков Sens , преобразователей Conv и их каналов \mathbf{N} и характеристик канала \mathbf{R}^2 , задающих режим измерения ЛК (например, шкала канала и начало отсчета), где \mathbf{N} и \mathbf{R} – множества натуральных и действительных чисел соответственно;

$G_2 \subseteq \text{Par} \times N(\text{LC}) = \{(p, lc, n_{lc})\}$ – соответствие между множеством ТМП Par и множеством каналов ЛК $N(\text{LC})$ II и III ступени коммутации, где $N(A_i) = A_i \times \mathbf{N}$;

$G_3 \subseteq (N(\text{LC}) \times \text{SysPar}) \times N(\text{Mod}) = \{(lc, n_{lc}, sp, md, n_{md})\}$ – соответствие между множествами каналов ЛК III ступени $N(\text{LC})$ и служебных параметров SysPar , передаваемых через МСС, и множеством каналов МСС $N(\text{Mod})$;

$G_4 \subseteq N(\text{Mod}) \times N(\text{Prog}) = \{(md, n_{md}, pr, n_{pr})\}$ – соответствие между множеством каналов МСС $N(\text{Mod})$ и множеством позиций кадров программ сбора $N(\text{Prog})$.

Каждое отношение \mathbf{G}_j в свою очередь можно представить в виде совокупности отношений $\{\mathbf{G}_{jk}\}$, зависящей от применяемых СПП и РТС.

В одних системах (типа РТСЦ и ее модификациях) формирование кадра в части информации от МСС происходит путем последовательного циклического опроса всех подключенных к I ступени модулей, также работающих в циклическом режиме (\mathbf{G}_4 задано аппаратно), и состав кадров программ сбора зависит от состава кадров МСС (структуры \mathbf{G}_3), включающего в себя также и служебную информацию.

В системах с программно-адресным опросом (типа БИТС2Ц) при формировании кадров I ступенью опрашиваются не коммутируемые каналы МСС, а соответствующие им адреса во внутреннем ОЗУ, и структура \mathbf{G}_4 определяется выражением:

$$\mathbf{G}_4 = \{\mathbf{G}_{41}, \mathbf{G}_{42}, \mathbf{G}_{43}, \mathbf{G}_{44}, \mathbf{G}_{45}\}, \quad (5)$$

где $\mathbf{G}_{41} \subseteq N(\mathbf{Mod}) \times \mathbf{Adr} = \{(md, n_{md}, ad)\}$ – соответствие между множеством канальных интервалов кадров МСС $N(\mathbf{Mod})$ и множеством адресов ОЗУ $\mathbf{Adr} \rightarrow \mathbf{N}$;

$\mathbf{G}_{42} \subseteq \mathbf{Adr} \times N(\mathbf{SC}) = \{(ad, sc, n_{sc})\}$ – соответствие между множеством адресов ОЗУ \mathbf{Adr} и множеством позиций субкадров (каналов СК) $N(\mathbf{SC})$;

$\mathbf{G}_{43} \subseteq \mathbf{Adr} \times N(\mathbf{Prog}) = \{(ad, pr, n_{pr})\}$ – соответствие между множеством адресов ОЗУ \mathbf{Adr} и множеством позиций кадров программ сбора $N(\mathbf{Prog})$;

$\mathbf{G}_{44} \subseteq \mathbf{SC} \times N(\mathbf{Prog}) = \{(sc, pr, n_{pr})\}$ – соответствие между множеством субкадров \mathbf{SC} и множеством позиций кадров программ сбора $N(\mathbf{Prog})$;

$\mathbf{G}_{45} \subseteq \mathbf{SysPar} \times N(\mathbf{Prog}) = \{(sp, pr, n_{pr})\}$ – соответствие между множеством служебных параметров \mathbf{SysPar} и множеством позиций кадров программ сбора.

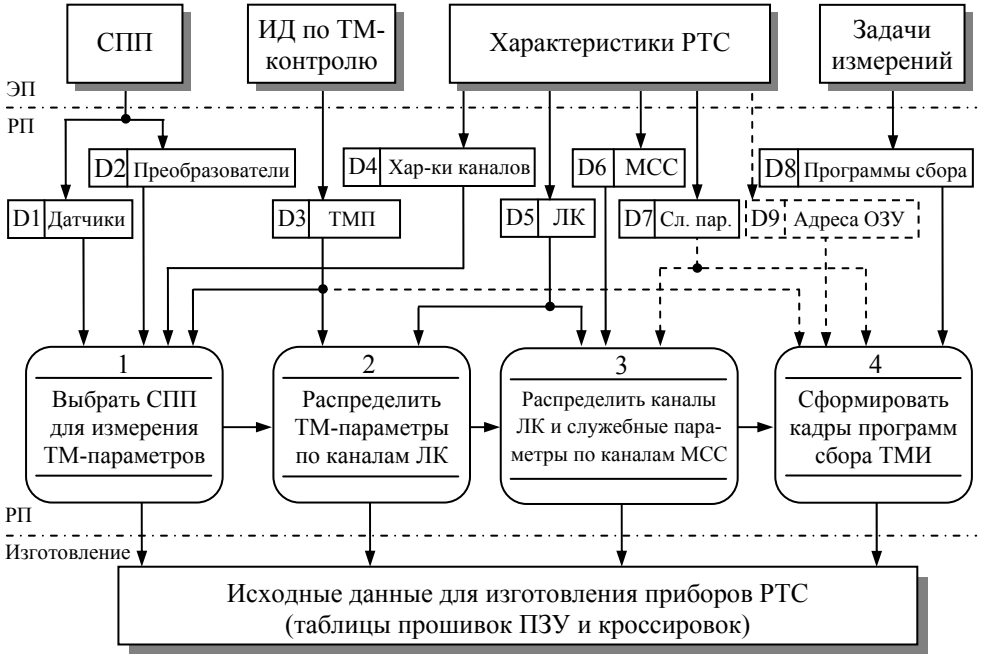
Таким образом, задача синтеза ПТИ разбивается на ряд последовательно решаемых задач (этапов) синтеза промежуточных структур (проектных решений), составляющих маршрут проектирования:

1. Выбор СПП для измерения ТМП и согласование их с измерительными входами РТС (структура \mathbf{G}_1);
2. Распределение ТМП по каналам ЛК (\mathbf{G}_2);
3. Распределение каналов ЛК и служебных параметров по каналам МСС (\mathbf{G}_3);
4. Формирование кадров программ сбора ТМИ (\mathbf{G}_4).

По результатам этапов 1 и 2 осуществляется проектирование схемы включений СПП в БСТИ, на основании которой проектируется БКС, и задание режимов измерений ЛК. Результаты этапа 3 используются для задания программ опроса ЛК II и III ступеней, а этапа 4 – для задания программ опроса приборов I ступени.

Графически модель БСТИ в части синтеза ПТИ как информационной системы (ИС) можно представить с помощью методов структурного системного анализа. Поскольку рассматриваемая ИС является статической, то достаточно построить полные и непротиворечивые функциональную и информационную модели.

В соответствии с традиционно применяющимися для функционального моделирования методами Йордона-Де Марко и Гейна-Сарсона модель БСТИ определяется как иерархия диаграмм потоков данных (Data Flow Diagrams), описывающих асинхронный процесс преобразования информации от ее ввода в ИС до выдачи потребителю. На рисунке 2 представлена DFD-диаграмма первого уровня в нотации Гейна-Сарсона в соответствии с декомпозицией задачи синтеза ПТИ. Дальнейшая декомпозиция зависит от типа РТС. Так, например, формирование кадров программ сбора для РТС типа БИТС2Ц в виде DFD-диаграммы второго уровня представлено на рисунке 3. Так как количество и типы СК зависят от количества и характеристик медленно меняющихся ТМП, то СК являются результатом проектирования.



ЭП – стадия эскизного проектирования; РП – стадия рабочего проектирования.

Рисунок 2 – Диаграмма потоков данных (DFD) первого уровня, описывающая синтез ПТИ.

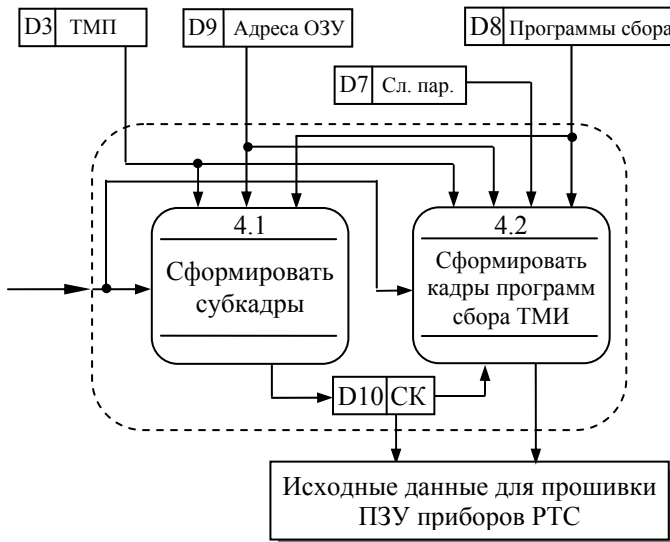


Рисунок 3 – Диаграмма потоков данных (DFD) второго уровня, описывающая формирование кадров программ сбора для РТС типа БИТС2С

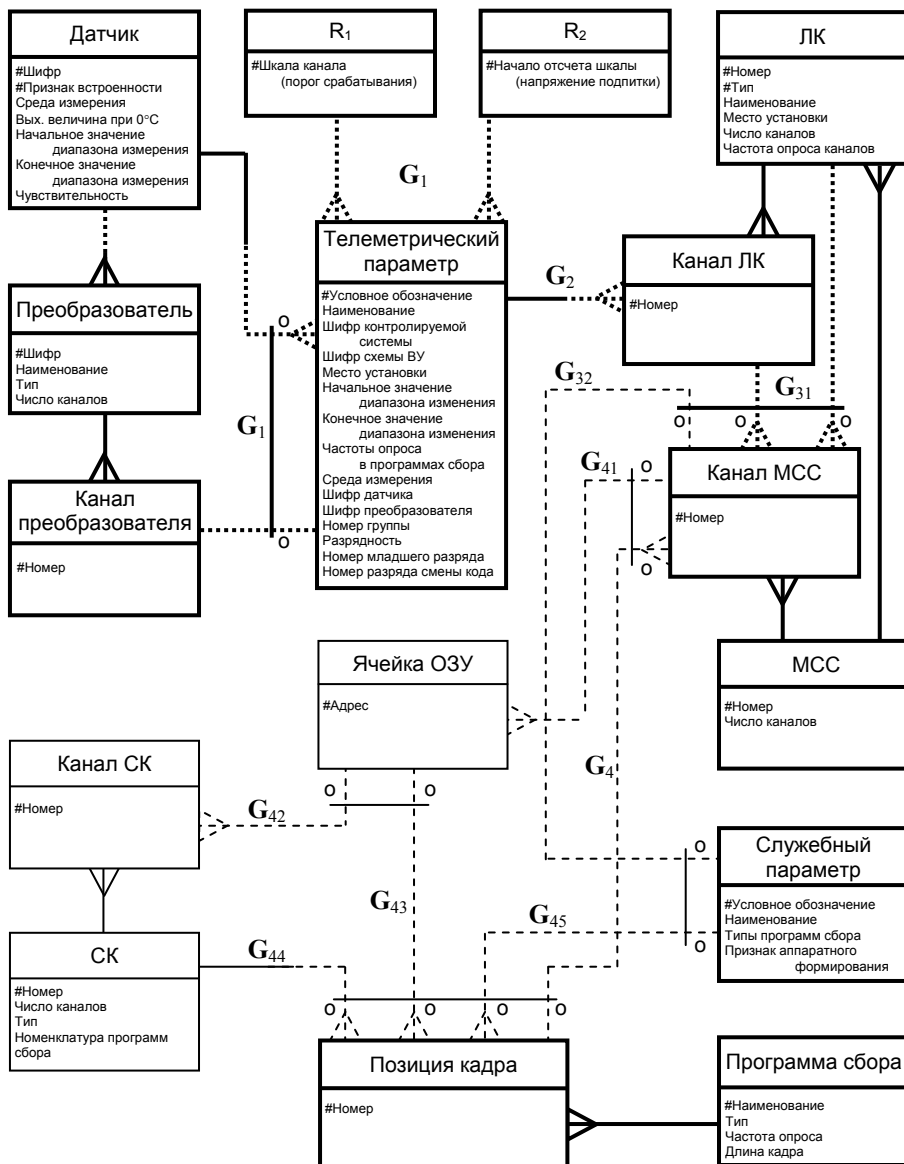


Рисунок 4 – Информационная модель БСТИ

Средства DFD моделируют функции ИС – синтез промежуточных структур G_j . Отношения между данными моделируются при помощи диаграмм "сущность-связь" (Entity-Relationship Diagrams). На этапе моделирования данных осуществляется построение списка элементов данных, располагающихся в каждом хранилище данных на DFD-диаграмме; анализ отношений между данными и построение соответствующей диаграммы связей между элементами данных; представление всей

информации по модели в виде связанных таблиц. Концептуальная информационная модель БСТИ в виде ER-диаграммы, выполненная близко к нотации Баркера, представлена на рисунке 4. Жирными линиями изображены сущности и связи, используемые при синтезе ПТИ для всех РТС рассматриваемого класса, тонкими – только для РТС с программно-адресным сбором ТМИ (кроме отношения \mathbf{G}_4).

Задача синтеза ПТИ сводится к выбору варианта в конечном множестве, но достаточно большой мощности, чтобы реализовать полный перебор. Получающиеся при этом комбинаторные задачи принадлежат к классу NP -полных задач, для которых точные алгоритмы решения имеют экспоненциальную сложность.

Для структурного синтеза ПТИ разработан метод, основанный на последовательном алгоритме размещения и использующий единый подход к синтезу всех промежуточных структур. Данный алгоритм относится к классу эвристических алгоритмов с полиномиальной сложностью и основан на наращивании структуры путем добавления по определенным правилам элементов к некоторому начальному элементу вплоть до образования законченной структуры.

Для некоторого множества $\mathbf{A}_1 = \{a_{11}, \dots, a_{1n}\}$ с заданным на нем отношением строгого порядка $(a_{1j}, a_{1k}) \in R$ ($j \neq k$) и множества $\mathbf{A}_2 = \{a_{21}, \dots, a_{2m}\}$, принадлежащих основному множеству \mathbf{A} модели (3), порождающая процедура для искомого отношения $\mathbf{X} \subseteq \mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2 = \{(a_{1i}, a_{2j})\}$ определяется следующей системой:

$$\begin{cases} \mathbf{X}^{(0)} = \mathbf{X}_0, \\ \mathbf{X}^{(i)} = \mathbf{X}^{(i-1)} \cup d(\mathbf{X}^{(i-1)}, a_{1i}), i = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (6)$$

где $\mathbf{X}^{(0)}$ – начальное состояние синтезируемой структуры \mathbf{X} , отражающее ее специфические особенности (например, запрещенные для размещения позиции в кадре, занимаемые служебной информацией) и задаваемое множеством \mathbf{X}_0 ;

$\mathbf{X}^{(i)}$ – состояние синтезируемой структуры \mathbf{X} на i -ом шаге алгоритма (после размещения элемента a_{1i} по элементам \mathbf{A}_2);

$d: (\mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2) \times \mathbf{A}_1 \rightarrow (\mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2)$ – элементарная порождающая функция, размещающая очередной элемент a_{1i} по элементам \mathbf{A}_2 с учетом состояния $\mathbf{X}^{(i-1)}$:

$$d(\mathbf{X}^{(i-1)}, a_{1i}) = \begin{cases} \emptyset, & \text{если } a_{1i} \in np_1 \mathbf{X}^{(i-1)}, \\ \left\{ \{(a_{1i}, a_{2j}) \mid Valid(\mathbf{X}^{(i-1)}, a_{1i}, a_{2j})\}_\Phi \right\}, & \text{если } a_{1i} \notin np_1 \mathbf{X}^{(i-1)}, \end{cases} \quad (7)$$

где $Valid(\mathbf{X}^{(i-1)}, a_{1i}, a_{2j}) \rightarrow \{0; 1\}$ – ограничения на размещение элемента a_{1i} по элементам \mathbf{A}_2 с учетом структуры $\mathbf{X}^{(i-1)}$, сужающие булеан декартова произведения $\mathbf{A}_1 \times \mathbf{A}_2$ до подмножества допустимых вариантов;

Φ – бинарное отношение сравнительной эффективности на множестве допустимых вариантов структур $\{(a_{1i}, a_{2j})\}$, отражающее правила предпочтения одного варианта другому. Отношение Φ может быть порождено различными способами на основе критерия оптимальности структуры $\mathbf{X}^{(i)}$.

В соответствии с выражением (7), если элемент a_{1i} уже размещен по элементам \mathbf{A}_2 так, что $a_{1i} \in np_1 \mathbf{X}^{(i-1)}$, то значение функции d есть пустое множество (\emptyset) и повторное размещение a_{1i} не производится ($\mathbf{X}^{(i)}$ в соответствии с выражением (6) не изменится: $\mathbf{X}^{(i)} = \mathbf{X}^{(i-1)}$). В противном случае элементу a_{1i} ставится в соответствие подмножество элементов \mathbf{A}_2 с учетом введенных ограничений $Valid(\mathbf{X}^{(i-1)}, a_{1i}, a_{2j})$, на котором по бинарному отношению Φ определяется наилучшая альтернатива a_{2j} . Кorteж (a_{1i}, a_{2j}) как значение функции d добавляется в множество $\mathbf{X}^{(i)}$.

Таким образом, задача синтеза структуры \mathbf{X} заключается в:

- размещении (при необходимости) некоторых элементов $a_{li} \in \mathbf{A}_1$, задающих начальное состояние $\mathbf{X}^{(0)}$ структуры;
- установлении очередности размещения элементов множества \mathbf{A}_1 заданием на нем отношения строгого порядка $(a_{1j}, a_{1k}) \in \mathbf{R}$, где $j \neq k$;
- определении возможных ограничений $Valid(\mathbf{X}^{(i-1)}, a_{1i}, a_{2j})$ на размещение элемента a_{1i} по элементам \mathbf{A}_2 , задающих подмножество допустимых вариантов размещения исходного элемента a_{1i} ;
- определении критерия оптимальности $W(\mathbf{X}^{(i)})$ и построении на его основе отношения Φ , позволяющего выбрать из множества допустимых вариантов с учетом ограничений оптимальный (рациональный) вариант размещения элемента a_{1i} , при котором критерий $W(\mathbf{X}^{(i)})$ будет иметь экстремальное значение;
- выполнении последовательного алгоритма синтеза, определяемого системой (6), для каждого элемента множества \mathbf{A}_1 в порядке, определяемом отношением \mathbf{R} , вплоть до образования законченной структуры $\mathbf{X}^{(n)}$.

Предполагается, что определение оптимального (рационального) варианта структуры \mathbf{X}_j не зависит от элементов других структур. Тогда оптимальным вариантом ПТИ является совокупность оптимальных вариантов отдельных структур \mathbf{X}_j .

На синтез ПТИ накладываются жесткие ограничения, вытекающие из физических принципов функционирования БСТИ и выполнение которых обязательно, и нежесткие, диктуемые соображениями удобства и рациональности представления информации и др., составом которых можно варьировать. Изначально при построении варианта каждой структуры действуют все возможные ограничения. Если в результате синтеза нет ни одного законченного варианта структуры, удовлетворяющего заданным ограничениям, т.е. $np_i \mathbf{X}^{(n)} \neq \mathbf{A}_1$, то по усмотрению проектировщика как лица, принимающего решение (ЛПР), в диалоговом режиме проектирования снимается одно из нежестких ограничений, и синтез повторяется при новых значениях ограничений. И так до тех пор, пока множество возможных вариантов структур с учетом действующих ограничений не перестанет быть пустым. Тогда в соответствии с отношением Φ выбирается оптимальный вариант структуры. Разместить элементы удастся в любом случае, при этом полученный вариант может являться неоптимальным, но не противоречащим функционированию БСТИ в целом.

Третья глава посвящена решению задачи синтеза ПТИ применительно к БСТИ на базе РТС типа БИТС2Ц. Рассмотрим синтез ПТИ на примере распределения аналоговых ТМП по каналам аналоговых ЛКА (ЛКА), т.е. синтеза структуры \mathbf{G}_{22} .

Каждому аналоговому параметру $p \in \mathbf{aPar} \subseteq \mathbf{Par}$ необходимо поставить в соответствие один или несколько (в зависимости от частоты опроса параметра) каналов ЛКА, т.е. построить множество векторов вида (*параметр, ЛКА, канал ЛКА*):

$$\mathbf{G}_{22} \subseteq \mathbf{aPar} \times N(\mathbf{aLC}) = \{(p, lc, n) \mid p \in \mathbf{aPar}, lc \in \mathbf{aLC}, n = \overline{0, lcCap(lc)-1}\}, \quad (8)$$

где $lcCap(lc)$ – число каналов в коммутаторе ЛКА $lc \in \mathbf{aLC}$.

Для решения задачи синтеза структуры \mathbf{G}_{22} множество \mathbf{aPar} упорядочим по месту установки параметров $pPlace(p)$, возрастанию шифра контролируемой системы $pSys(p)$ и условному обозначению параметра $pCode(p)$, т.е. зададим на множестве \mathbf{aPar} отношение строгого порядка \mathbf{R}_{22} :

$$\mathbf{R}_{22} \Leftrightarrow (pPlace(p_i) \leq pPlace(p_j)) \ \& \ (pSys(p_i) \leq pSys(p_j)) \ \& \ (pCode(p_i) < pCode(p_j)). \quad (9)$$

Зададим начальное состояние $\mathbf{G}_{22}^{(0)}$ структуры \mathbf{G}_{22} , учитывающее, распределение параметров контрольных уровней 0 и 100% измерительной шкалы ЛКА (на 44 и

60 каналы соответственно) и параметров, имеющих максимальную частоту опроса в программах сбора выше частоты опроса каналов ЛКА (на первые по счету каналы).

Возможность распределения параметра p на канал n коммутатора lc определяется: принадлежностью указанного канала множеству каналов данного ЛК; незанятостью этого канала другим параметром, определяемой отсутствием вектора (lc, n) в проекции множества $\mathbf{G}_{22}^{(i-1)}$ на оси lc и n ; соответствием типов параметра $pType(p)$ и ЛК $lcType(lc)$; соответствием мест установки параметра $pPlace(p)$ и ЛК $lcPlace(lc)$ на изделии; непревышением максимальной частоты опроса параметра частоты опроса каналов ЛК $lcFreq(lc)$ в соответствии с выражением:

$$lcValid_{22}(\mathbf{G}_{22}^{(i-1)}, p, lc, n) \Leftrightarrow (n \in \{0, \dots, lcCap(lc)-1\}) \& ((lc, n) \notin np_{2,3} \mathbf{G}_{22}^{(i-1)}) \& \quad (10) \\ \& (pType(p)=lcType(lc)) \& (pPlace(p)=lcPlace(lc)) \& (\max_{pr \in Prog} (pFreq(p, pr)) \leq lcFreq(lc)).$$

Тогда множество допустимых каналов ЛКА для распределения параметра p определяется выражением:

$$\mathbf{g}_{22}^{(i)} = \{(lc, n) \mid lcValid_{22}(\mathbf{G}_{22}^{(i-1)}, p, lc, n)\}. \quad (11)$$

Для определения оптимального варианта промежуточной структуры $\mathbf{G}_{22}^{(i)}$, имеющей векторный критерий оптимальности, определяемый частными критериями оптимальности по ЛК $W^1(\mathbf{G}_{22}^{(i)})$ и по каналу ЛК $W^2(\mathbf{G}_{22}^{(i)})$, упорядочим частные критерии по важности. При этом наибольшую значимость имеет критерий $W^1(\mathbf{G}_{22}^{(i)})$, поэтому оптимальным вариантом для распределения ТМП считается ЛК, имеющий минимальную длину кабеля БКС, соединяющего выход контролируемого прибора и информационный вход ЛК, определяемую функцией $Len(p, lc)$ на основании указаний по прокладке кабельных трасс в конструктивно-компоновочной схеме изделия. При $|np_1(\mathbf{g}_{22}^{(i)})| = 1$ решение однозначно. Все каналы выбранного по критерию $W^1(\mathbf{G}_{22}^{(i)})$ ЛК имеют одинаковые характеристики и отличаются только порядком опроса в кадре МСС. Для устранения нежелательного разрыва последовательности задействованных каналов в циклических коммутаторах критерий оптимальности (рациональности) $W^2(\mathbf{G}_{22}^{(i)})$ должен определяться номером канала n .

В связи с этим элементарная порождающая функция, размещающая параметр $p_i \in \mathbf{aPar}$ по элементам (lc, n) с учетом структуры $\mathbf{G}_{22}^{(i-1)}$, вычисляется следующим выражением:

$$d_{22}(\mathbf{G}_{22}^{(i-1)}, p_i) = \begin{cases} \emptyset, & \text{если } p_i \in np_1 \mathbf{G}_{22}^{(i-1)}, \\ \left(p_i, \min_{Len(p_i, lc)} (np_1(\mathbf{g}_{22}^{(i)})), \min \left\{ np_2((lc, n) \in \mathbf{g}_{22}^{(i)}) \mid lc = \min_{Len(p_i, lc)} (np_1(\mathbf{g}_{22}^{(i)})) \right\} \right), & (12) \\ \text{если } p_i \notin np_1 \mathbf{G}_{22}^{(i-1)}. \end{cases}$$

В случае отсутствия информации о длине кабелей БКС при $|np_1(\mathbf{g}_{22}^{(i)})| > 1$, а также при отсутствии соответствующего ЛК в требуемом свойством параметра $pPlace(p)$ отсеке изделия ($\mathbf{g}_{22}^{(i)} = \emptyset$) решение о выборе ЛК в этом или другом отсеке принимает проектировщик ПТИ как ЛПР с учетом конструктивно-компоновочной схемы изделия в диалоговом режиме работы с ЭВМ.

Четвертая глава посвящена разработке модели данных БСТИ. На основе концептуальной информационной модели БСТИ, являющейся инвариантной к структуре данных, модель данных БСТИ формулируется в терминах реляционной модели, на которую ориентируются многие современные коммерческие СУБД. С использованием CASE-средств, в частности пакета ERwin, построены логическая и физическая модели данных в нотации IDEF1X для последующей автогенерации схемы БД, составляющей информационное обеспечение САПР БСТИ.

В пятой главе рассмотрено ПО САПР БСТИ в трехзвенной архитектуре "клиент-сервер", выполненное с применением CASE-средств – пакетов Borland Delphi и VPwin. Разработанное ПО базируется на интуитивно понятном интерактивном режиме проектирования и автоматизирует выпуск документа "Программа телеметрических измерений изделия ..." на основе разработанных шаблонов.

В заключении подведен итог проделанной работы и выделены основные результаты.

В приложении приведен акт внедрения результатов диссертации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертационной работы сводятся к следующему:

1. Разработана единая для различных типов РТС рассматриваемого класса математическая модель БСТИ в части проектирования ПТИ и ее графическое представление в объеме информационной и функциональной моделей, выполненных в виде диаграммы "сущность-связь" (ERD) и диаграмм потоков данных (DFD) соответственно, применяемых в структурном системном анализе.
2. Разработан метод структурной оптимизации ПТИ на основе эвристического алгоритма размещения, использующий единый подход к решению проектных задач на всех этапах проектирования ПТИ независимо от типа РТС.
3. На основе разработанного метода решена задача синтеза проектных решений ПТИ для БСТИ на базе РТС типа БИТС2Ц: определены последовательности размещения элементов, построены множества возможных ограничений на размещение, определены критерии оптимальности и построены отношения сравнительной эффективности вариантов для всех этапов проектирования ПТИ.
4. Разработаны логическая и физическая модели данных предметной области с использованием средств CASE-технологий, позволяющих выполнять автогенерацию схемы базы данных, составляющей информационное обеспечение САПР БСТИ, а также сопровождение и информационную поддержку БСТИ. Разработанное информационное обеспечение позволяет повысить эффективность использования результатов проектирования ПТИ при сквозном проектировании изделия РКТ.
5. Разработано ПО САПР БСТИ в части разработки ПТИ, позволяющее сократить сроки проектирования от четырех до шести раз в зависимости от объема вводимых исходных данных и повысить его качество за счет оптимизации. Достоверность подтверждена тестированием и сравнением результатов автоматизированного проектирования ПТИ по реальным исходным данным по телеметрическому контролю КА типа "Ресурс-ДК" с ПТИ, разработанной традиционным неавтоматизированным способом и прошедшей в составе изделия стадию летно-конструкторских испытаний.

НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

в ведущем рецензируемом научном издании, определенном Высшей аттестационной комиссией:

1. Коврига, Ю.Ю. Формирование субкадров в системе телеизмерений [Текст] / Ю.Ю. Коврига // Вестник Самарского государственного технического ун-та. Серия "Технические науки". – Самара: СамГТУ, 2007. – №1 (19). – С.182-185. – ISSN 1991-8542.

в других изданиях:

2. Коврига, Ю.Ю. Система автоматизированного проектирования бортовой системы телеметрических измерений [Электронный ресурс] / Ю.Ю. Коврига // Труды 3-й Международной конференции молодых ученых и студентов "Актуальные проблемы современной науки": тезисы докладов. – 2002. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. – № гос. учета 0320202280.
3. Коврига, Ю.Ю. Автоматизированное проектирование программы телеметрических измерений в корпоративной сети предприятия [Текст] / Ю.Ю. Коврига // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сб. тр. XI Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, 23-25 июня 2003 г.). – Самара: СГАУ, 2003. – С.199-202. – ISBN 5-7883-0286-2.
4. Калентьев, А.А. Разработка математической модели проектирования программы телеметрических измерений [Текст] / А.А. Калентьев, Ю.Ю. Коврига // Сборник научных трудов. – Вып. 3. – Самара: ГНПРКЦ "ЦСКБ-Прогресс", 2004. – С. 123-132.
5. Коврига, Ю.Ю. Организация измерений температурных параметров в системе автоматизированного проектирования программы телеметрических измерений [Текст] / Ю.Ю. Коврига // Датчики и системы "ДиС-2005": сб. докладов Международной научно-технической конференции (Россия, г. Пенза, 6-10 июня 2005 г.); под ред. д.т.н., профессора, академика Российской академии космонавтики им. К.Э. Циолковского Е.А. Мокрова. – Пенза: ФГУП "НИИ физических измерений", 2005. – С.297-304. – ISBN 5-9900222-4-7.
6. Калентьев, А.А. Метод проектирования программы измерений для радиотелеметрической системы БИТС [Текст] / А.А. Калентьев, Ю.Ю. Коврига // Управление движением и навигация летательных аппаратов: сб. тр. XII Всероссийского научно-технического семинара по управлению движением и навигации летательных аппаратов (Самара, 21-23 июня 2005 г.). – Самара: СГАУ, 2006. – С.141-144. – ISBN 978-5-88940-089-9.
7. Коврига, Ю.Ю. Структура предметной области программы телеметрических измерений [Текст] / Ю.Ю. Коврига // Там же. – С.156-159.
8. Коврига, Ю.Ю. Распределение дискретных параметров по каналам локальных коммутаторов в системе автоматизированного проектирования программы телеметрических измерений [Текст] / Ю.Ю. Коврига // III научно-техническая конференция молодых специалистов НПОА, 10-11 апреля 2006 г. Ракетно-космическая техника: научно-технический сб. Серия XI. Системы управления ракетных комплексов. – Вып. 1: в 3 ч. Ч. 1. – Екатеринбург: ФГУП "НПО автоматики им. академика Н.А. Семихатова", 2006. – С.241-252.
9. Коврига, Ю.Ю. Автоматизированное проектирование конструкторской документации по системе измерений космических аппаратов [Текст] / Ю.Ю. Коврига // Основные направления и формы использования инновационных разработок при создании ракетно-космической техники. Научно-практический семинар молодых ученых и специалистов предприятий космической промышленности: сб. материалов. – г. Королев Московской обл.: Изд-во НОУ "ИПК Машприбор", 2007. – С. 63-66. – ISBN 978-593868-026-5.