

На правах рукописи

Новиков Юрий Александрович

**МОДЕЛИ И СПОСОБЫ ОРГАНИЗАЦИИ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СИСТЕМ
СБОРА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ПУСКОВ
РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ**

Специальность

05.13.13 – Телекоммуникационные системы и компьютерные сети

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Рязань – 2009

Работа выполнена на кафедре систем автоматизированного проектирования вычислительных средств (САПР ВС) ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет».

Научный руководитель: заслуженный деятель науки и техники РФ,
доктор технических наук, профессор
Корячко Вячеслав Петрович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Витязев Владимир Викторович
кандидат технических наук, доцент
Тимошин Игорь Викторович

Ведущая организация: 4ЦНИИ МО РФ

Защита состоится 30.06.2009 в 12:00 часов на заседании диссертационного совета Д212.211.02 в ГОУ ВПО «Рязанский государственный радиотехнический университет» по адресу: 390005, г. Рязань, ул.Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета.

Автореферат разослан 27.05.2009.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью организации, просим направить по адресу: 390005, г. Рязань, ул.Гагарина, д. 59/1, Рязанский государственный радиотехнический университет.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук, доцент

И.А.Телков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В жизненном цикле ракет-носителей (РН) важную роль играют испытательные полигоны. Полигонным измерительным комплексом (ПИК) обслуживаются трассы полета протяженностью несколько тысяч километров. Из соображений безопасности на случай возможной аварии ракеты при старте или на активном участке траектории технические и стартовые позиции (ТП, СП), районы падения полигонов размещают в малонаселенной местности, вдали от промышленных центров и индустриальных районов, где отсутствует телекоммуникационная инфраструктура.

С появлением систем телекоммуникаций на основе спутниковых каналов связи их используют в составе ПИК для сбора измерительной информации (ИИ).

Одной из первых отечественных систем, реализующих распределенную вычислительную сеть ПИК со спутниковым телекоммуникационным сегментом, является система «Сбор-Р». С 1991 года филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - «ОКБ «Спектр» участвует в работах, направленных на решение задач сбора ИИ с элементов ПИК при проведении пусков РН, ее доставки потребителям и создания распределенной информационно-управляющей системы обеспечивающей хранение, обработку и представление результатов обработки ИИ.

Теоретические основы, методы по различным аспектам информационно-управляющих и телекоммуникационных систем создавались несколькими поколениями зарубежных, отечественных ученых и исследователей: построение вычислительных машин и комплексов, программирование – В.М. Глушков, Я.А. Хетагуров, Э.В. Евреинов, Д.А. Поспелов, А.А. Папернов, В. Байцер и др., технология обработки данных - Э. Кодд, П.Ченн, К. Дэйт, и др.; автоматизация проектирования - Д.И. Батищев, А.М. Бершадский, Ю.Х. Вермишев, В.П. Корячко, И.П. Норенков, А.Л. Сتمпковский, М. Принс, И. Сазерленд и др.; технология телеизмерений - В.С. Семенихин, А.Ф. Богомоллов, О.А. Сулимов, В.А. Меньшиков, В.И. Везенов, О.Г. Светников и др.; помехоустойчивое кодирование - В.А. Котельников, К. Шеннон, В.В. Зяблов В.В., В.В. Золотарев, А. Витерби, Р. Галлагер, В.Л. Банкет, Е. Берлекэмп, Э.Л. Блох и др. Необходимо отметить большую роль в интенсификации развитии телекоммуникационных систем, которую сыграли международные стандарты и широкий спектр оборудования и программных средств, доступных на мировом рынке.

Комплексное применение современного оборудования и сетевых программных средств в последнее десятилетие существенно повысили надёжностные характеристики спутниковых каналов связи. Несмотря на это, интенсивность сбоев в спутниковых каналах связи на много порядков превышает интенсивность отказов в вычислительных сегментах различных систем, использующих такие каналы связи.

Таким образом, в теории и практике существует важная научно-техническая задача организации распределенных систем сбора ИИ. Цель организации - решение на системном уровне проблемы своевременного, в режиме реального времени (РВ), информационно-измерительного обеспечения пусков РН. С учетом вышесказанного разработка моделей и способов организации распределенных автоматизированных систем сбора, передачи и обработки измерительной информации (АС СПОИ) при проведении пусков ракет-носителей является актуальной задачей.

Цель работы. Целью диссертации является повышение эффективности информационно-измерительного обеспечения пусков РН в распределенных системах сбора, передачи и обработки ИИ за счет разработки новых моделей, способов и средств организации информационных ресурсов системы и доставки ИИ, компенсирующих недостатки спутниковых каналов связи и адаптированных к режимам РВ.

Основные задачи. В работе поставлены следующие задачи:

- сформулировать цели и задачи организации распределенных систем сбора, передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков РН;
- разработать поведенческие модели распределенной системы, сбора передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков РН, обеспечивающие требуемые показатели надежности и своевременности доставки ИИ в центры обработки;
- разработать модели для оценки показателей надежности доставки ИИ по спутниковым каналам связи;
- разработать адаптированные к режиму РВ способы повышения надежности доставки ИИ по спутниковым каналам связи;
- разработать средства информационных обменов и интеграции обобщенных информационных ресурсов компонентов распределенной информационной системы (ИС) обеспечения пусков РН;
- разработать модели организации средств для автоматизированного процесса комплексной оценки эффективности и контроля целостности распределенной системы сбора, передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков РН на всех стадиях и этапах жизненного цикла системы.

Методы исследования. Для решения поставленных задач использовались общая теория систем, системный анализ, статистические методы, теория кодирования, теория многокритериального принятия решений, метод и язык UML.

Научная новизна. В диссертационной работе предлагаются решения поставленных задач, научная новизна которых состоит в следующем:

- впервые предложены поведенческие модели, реализация которых в распределенной системе сбора, передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков ракет-носителей обеспечивает повышение достоверности доставки ИИ;
- разработаны аналитические модели для оценки показателей надежности доставки ИИ по спутниковым каналам связи;
- предложены способы использования свободных ресурсов времени для повышения надежности передачи данных в спутниковом сегменте в режимах РВ;
- разработаны способ информационного обмена в АС СПОИ и структура системы для осуществления этого способа, обеспечивающие единство информационных ресурсов в территориально распределенных компонентах системы;
- разработаны модели, обеспечивающие комплексную оценку эффективности распределенной АС СПОИ с учетом ограничений на параметры системы.

Практическая ценность и внедрение результатов работы

Применение предложенных моделей и способов позволяет:

- в режимах РВ сократить реальные потоки ИИ в каналах связи, снизить пиковые нагрузки перераспределением задач между вычислительными сегментами и реализацией специальных алгоритмов предобработки и сжатия ИИ на измерительных пунктах (ИП) /сокращение объемов передаваемой информации от 2 до 10 раз/;
- в режимах РВ повысить надежность доставки ИИ с измерительных пунктов в центры обработки;
- снизить потери измерительных данных при информационно-измерительном обеспечении (ИТО) пусков РН.

Применение предложенной структуры централизованной идентификации данных интегрируемых информационных ресурсов позволяет снизить неэффективное дубли-

рование данных в базах данных и повысить функциональные возможности информационных ресурсов центров обработки ИИ при проведении пусков РН.

Полученные в работе результаты внедрены при создании системы, которая сдана в эксплуатацию на 1 Государственном Испытательном Космодроме МО РФ.

Результаты внедрены также в филиале ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - «ОКБ «Спектр» при выполнении ряда НИОКР, выполняемых с целью создания распределенных систем сбора, передачи и обработки измерительной информации.

Достоверность. Достоверность полученных научных положений и выводов подтверждается математическими обоснованиями и доказательствами, а также проверками в ходе практической реализации основных результатов диссертационной работы.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций», Рязань. 2004, 2005; «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика», Рязань, 1998, 2000, 2003, 2007.

Положения диссертационной работы апробированы при защите материалов НИР, эскизных и технических проектов ОКР (НИР: «Скипетр», «Вольфрам», «Притяжение», «Зрелище», ОКР: «Сбор-Р», «Красногор», «Пятигорск», «Балхаш» и др., исполнитель НИОКР - филиал ФГУП «ГНПРКЦ «ЦСКБ-Прогресс» - «ОКБ «Спектр»).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 18 печатных работ, из них **2 статьи опубликованы в издании, входящего в перечень изданий, рекомендованных ВАК России для публикации результатов кандидатских диссертаций.** В Федеральной службе по интеллектуальной собственности, патентам и товарным знакам зарегистрирована программа. Поданы и зарегистрированы в Федеральном институте промышленной собственности 2 заявки на патент РФ (по одной получен патент).

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, библиографического списка (148 источников), изложенных на 154 страницах (содержит 4 таблицы и 33 рисунка), и 3 приложений. Общий объем диссертации 173 страницы.

Положения, выносимые на защиту.

Поведенческие модели распределенной АС СПОИ, обеспечивающие требуемые показатели надежности и своевременности доставки ИИ в центры обработки.

Модели, обеспечивающие оценки показателей надежности доставки ИИ с учетом специфики спутниковых каналов связи.

Способ использования свободных ресурсов времени для повышения надежности передачи данных в спутниковом сегменте в режимах РВ.

Способ информационного обмена и структура средств централизованной интеграции информационных ресурсов компонентов распределенной системы, обеспечивающие единство информационных ресурсов в территориально распределенных компонентах системы.

Модели комплексной оценки эффективности информационных и программных средств и контроля целостности распределенных информационных систем с учетом ограничений, накладываемых на параметры АС СПОИ.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложена цель и соответствующие ей задачи, приведена структура работы.

Первая глава посвящена анализу состояния объекта автоматизации, задач построения систем сбора, передачи и обработки измерительной информации и требований к информационно-измерительному обеспечению пусков РН.

Проведен обзор современных отечественных и используемых в США систем сбора, передачи и обработки телеметрической информации (ТМИ), радиотелеметриче-

ских систем (РТС), с которыми взаимодействуют АС СПОИ, линий и каналов связи, приведены их характеристики.

Анализируются процессы сбора и оперативного анализа измерительной информации и информационного обеспечения испытаний РН.

Представлена классификация моделей и способов, разрабатываемых в диссертации. Модели и способы сгруппированы по трем направлениям исследований:

- для применения в программно-технических средствах доставки ИИ;
- по организации информационных ресурсов АС СПОИ;
- в автоматизированной системе поддержки эксплуатации (СПЭ) для поддержания АС СПОИ в целостном состоянии на всех стадиях и этапах жизненного цикла.

Сформулированы конкретные задачи работы:

- создание поведенческих моделей АС СПОИ, обеспечивающих гарантию времени доставки ИИ в процессе репортажа и экспресс-анализа пусков РН и гарантию достоверности ИИ при доставке полных потоков в отложенном режиме;
- адаптация моделей для оценки показателей надежности и полноты информации к ИИ, передаваемой по спутниковым каналам связи;
- создание способа повышения надежности передачи ИИ, гарантирующих время доставки данных по спутниковым каналам связи;
- разработка средств информационных обменов и интеграции обобщенных данных в компонентах распределенной информационной системы (ИС) обеспечения пусков РН;
- адаптация моделей организации СПЭ к распределенной АС СПОИ.

Во второй главе по результатам анализа требований к ИТО пусков РН разработаны организационная (рисунок 1) и функциональная (рисунок 2) структура распределенной системы сбора измерительной информации.

В состав поведенческой модели распределенной системы сбора измерительной информации включены следующие диаграммы:

- диаграмма вариантов использования "Сбор телеметрической информации на измерительном пункте" (рисунок 3);
- диаграмма вариантов использования "Сбор телеметрической информации в Центре управления сбором (ЦУС)" (рисунок 4);
- диаграммы состояний и деятельности ИП и ЦУС;
- диаграммы классов расчета оптимальных режимов и параметров сбора телеметрической информации, исходных данных.

При моделировании были использованы соответствующие виды UML-диаграмм.

В третьей главе рассматриваются модели и способы средств доставки ИИ и организации информационных ресурсов АС СПОИ.

Для исследования вариантов архитектурных решений АС СПОИ и в процессе установления и контроля целостности системы использованы известные оценки:

а) вероятности ошибки в информационном бите P_b или в кодовом блоке P_B (несколько бит), передаваемых по каналам связи:

$$P_B \leq \sum_{j=1}^n N_j P_c(j), \quad P_b \leq \sum_{j=1}^n \frac{j}{k} N_j P_c(j),$$

где: k – количество информационных символов; N_j – число кодовых слов веса j ;

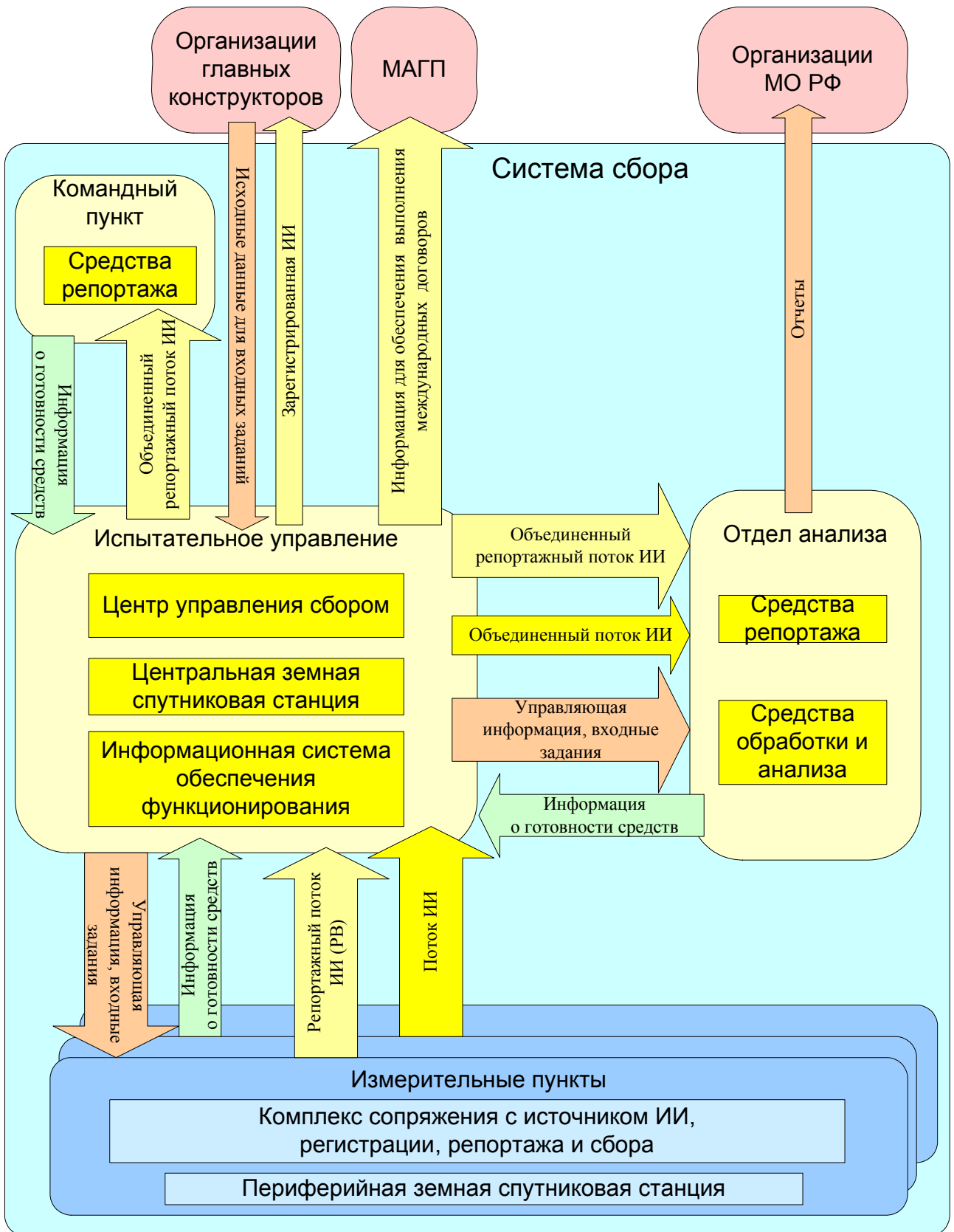


Рисунок 1 – Организационная структура АС СПОИ

	Подготовка к сбору ИИ (режим «Подготовка»)	Передача ИИ в РВ (режим «Репортаж»)	Сбор зарегистрир. ИИ (режим «Сбор»)	Экспресс-анализ и обработка (режим «Обработка»)
Измерительные пункты	Проверка работоспособности технических и программных средств. Загрузка входных заданий. Проверка входных заданий. Проверка формирования и передачи репортажного потока. Задание режимов работы средствам регистрации, формирования репортажного потока и средствам передачи ИИ. Доклад о готовности.	Регистрация ИИ. Оценка качества ИИ. Формирование репортажного потока. Передача репортажного потока.	Подготовка зарегистрированной ИИ к передаче. Сжатие зарегистрированной ИИ. Передача ИИ.	
Испытательное управление	Проверка работоспособности технических и программных средств. Подготовка входных заданий средствам системы. Рассылка входных заданий. Проверка формирования, приема репортажного потока, формирования группового репортажного потока. Проверка монтажа единого носителя. Формирование заключения о готовности к работе.	Прием репортажных потоков. Управление трактами приема/передачи репортажных потоков. Оперативное управление репортажем. Формирование группового репортажного потока. Передача группового репортажного потока.	Прием зарегистрированной ИИ. Управление (коммутиция) трактами приема/передачи. Оперативное управление сбором. Архивация зарегистрированной ИИ. Рассылка потребителям. Монтаж единого носителя.	
Отдел анализа	Проверка работоспособности технических и программных средств. Загрузка входных заданий. Проверка приема группового репортажного потока и средств визуализации репортажа. Доклад о готовности	Прием группового репортажного потока. Выбор достоверного отображение репортажного потока.	Получение зарегистрированной ИИ, включая сформированный единый носитель.	Экспресс-анализ и обработка ИИ. Визуальное отображение результатов. Формирование отчета
Командный пункт	Проверка работоспособности технических и программных средств. Загрузка входных заданий. Проверка приема группового репортажного потока и средств визуализации репортажа. Доклад о готовности	Прием группового репортажного потока. Выбор достоверного отображение репортажного потока.		

Рисунок 2 – Функциональная структура АС СПОИ

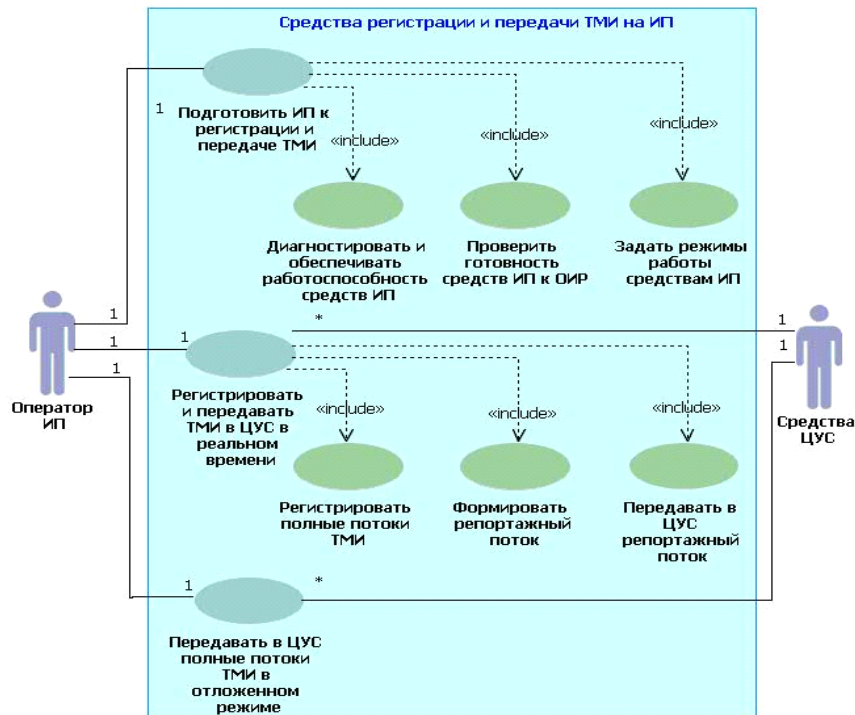


Рисунок 3 – Диаграмма вариантов использования "Сбор телеметрической информации на измерительном пункте"

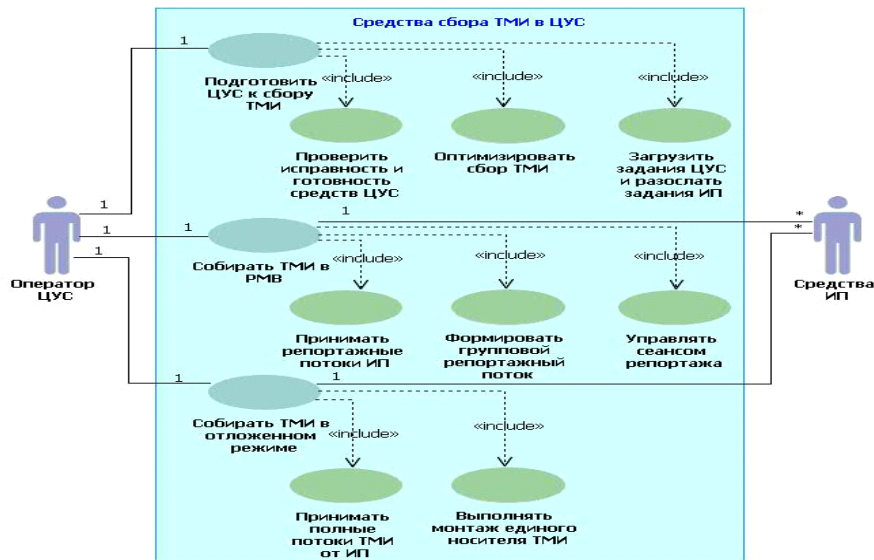


Рисунок 4 – Диаграмма вариантов использования "Сбор телеметрической информации в Центре управления сбором"

$$P_c(j) = \begin{cases} \sum_{i=(j+1)/2}^j C_j^i p^i (1-p)^{j-i}, & \text{для канала типа ДСК при нечетном } j, \\ \frac{1}{2} C_j^{j/2} p^{j/2} (1-p)^{j/2} + \sum_{i=(j/2)+1}^j C_j^i p^i (1-p)^{j-i}, & \text{для канала типа ДСК при четном } j, \end{cases}$$

ДСК - двоичный симметричный канал; p – вероятность битовой ошибки в канале.

б) вероятности безотказной работы технических средств как компонентов из n элементов с экспоненциальным законом распределения времени работы между отказами:

$$P_i(t) = e^{-\lambda_i t}, \quad P(t) = \prod_{i=1}^n e^{-\lambda_i t},$$

где λ_i - интенсивность отказов i – го элемента структурной схемы надежности компонента.

Приведены основные показатели качества функционирования АС СПОИ:

а) надежности представления запрашиваемой или выдаваемой принудительно информации: средняя наработка объекта на отказ или сбой $T_{\text{нар}}$; среднее время восстановления после отказа или сбоя $T_{\text{вос}}$; коэффициент готовности K_r ; вероятность надежного представления и/или доведения запрашиваемой выходной информации $P_{\text{над}}$ в течение заданного периода функционирования $T_{\text{зад}}$;

б) своевременности представления запрашиваемой или выдаваемой принудительно информации: среднее время реакции системы при обработке запроса и/или доведение информации $T_{\text{полн}}$;

в) полноты используемой информации программами: вероятность обеспечения полноты оперативного отражения в системе новых объектов учета $P_{\text{полн}}$;

г) актуальности используемой информации: вероятность сохранения актуальности информации на момент ее использования $P_{\text{акт}}$;

е) безошибочности информации после контроля: вероятность $P_{\text{бум}}$ отсутствия ошибок на бумажном носителе при допустимом времени на процедуру контроля $T_{\text{зад}}$; вероятность $P_{\text{маш}}$ отсутствия ошибок во входной информации на машинном носителе при допустимом времени на процедуру контроля $T_{\text{зад}}$;

ф) корректности обработки информации: вероятность $P_{\text{корр}}$ получения корректных результатов обработки информации за заданное время $T_{\text{зад}}$;

г) сохранения конфиденциальности информации: вероятность сохранения конфиденциальности информации $P_{\text{конф}}$ в течение периода $T_{\text{конф}}$;

h) защищенности от опасных воздействий: вероятность отсутствия опасного воздействия $P_{\text{возд}}$ в течение периода функционирования $T_{\text{зад}}$;

и) защищенности: вероятность сохранения защищенности от НСД $P_{\text{НСД}}$.

Анализируемые варианты архитектурных решений распределенной АС СПОИ (рисунок 5):

а) формирование в режиме «Репортаж» полных потоков измерительных данных для передачи в центр обработки (вариант А);

б) формирование в режиме «Репортаж» сокращенных потоков измерительных данных для передачи в центр обработки и полных потоков в отложенном режиме (вариант Б);

с) обработка данных для репортажа на средствах измерительного пункта и передача в центр обработки результатов обработки (в режиме «Репортаж») и полных потоков – в отложенном режиме (вариант В).

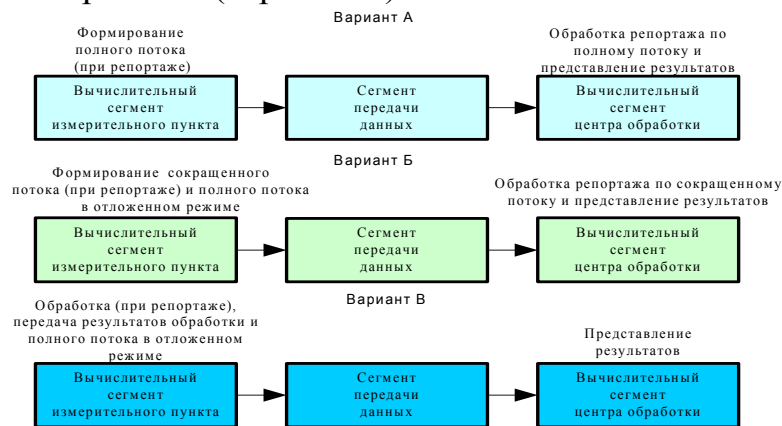


Рисунок 5 – Варианты архитектурных решений АС СПОИ

Поясняющие рисунки формализации процесса представления информации – рисунок 6, полноты оперативного отражения данных телеизмерений – рисунок 7.



Рисунок 6 – Иллюстрация формальных процессов представления информации в условиях ненадежности технических средств

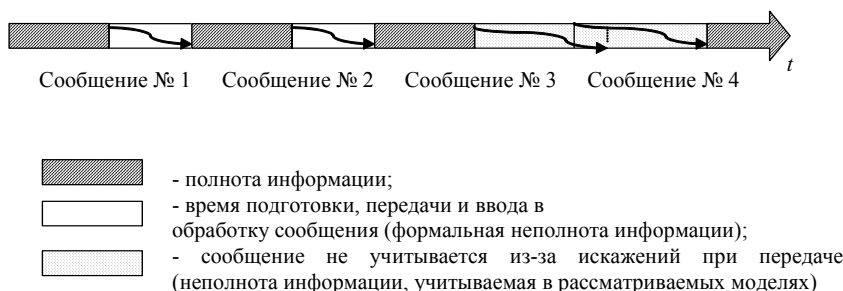


Рисунок 7 – Процессы появления новых данных телеизмерений и их доведение до центра обработки

При экспоненциальной аппроксимации распределений исходных характеристик и их независимости вероятность надежного представления информации $P_{\text{над}}$ в течение заданного периода $T_{\text{зад}}$ вычисляют по формуле

$$P_{\text{над}} = T_{\text{нар}}^2 / (T_{\text{вос}} + T_{\text{нар}})(T_{\text{зад}} + T_{\text{нар}}),$$

где $T_{\text{нар}}$ – среднее время наработки на отказ программно-технических комплексов (ПТК), реализующих систему сбора измерительной информации;

$T_{\text{вос}}$ – среднее время восстановления ПТК после отказа;

$T_{\text{зад}}$ – задаваемый период надежного функционирования.

Для пуассоновского потока новых данных телеизмерений вероятность обеспечения полноты оперативного отражения вычисляют по формуле

$$P_{\text{полн}} = e^{-\lambda(\varpi + \delta + \beta)},$$

где λ – частота появления новых данных телеизмерений;

$(\varpi + \delta + \beta)$ – среднее время подготовки (ϖ), передачи (δ) и ввода в обработку (β), т.е. времени (α) доведения до центра обработки информации, переданной от измерительного пункта.

Результаты оценки вариантов архитектурных решений АС СПОИ с применением существующих и перспективных систем спутниковой связи представлены, соответственно, на рисунке 8 и рисунке 9.

Архитектурные решения с предобработкой на измерительных пунктах позволяет, несмотря на недостаточную надежность радиотракта, получить удовлетворительные показатели надежности представления информации в ЦУС ($P_{\text{над}} = 0,994$; рекомендуемое стандартом значение – 0,99 /при допустимом риске заказчика/) и полноты используемой информации ($P_{\text{полн}} = 0,99987$ рекомендуемое стандартом значение – 0,9 /при допустимом риске заказчика/). Выполняются требования по своевременности представления информации.

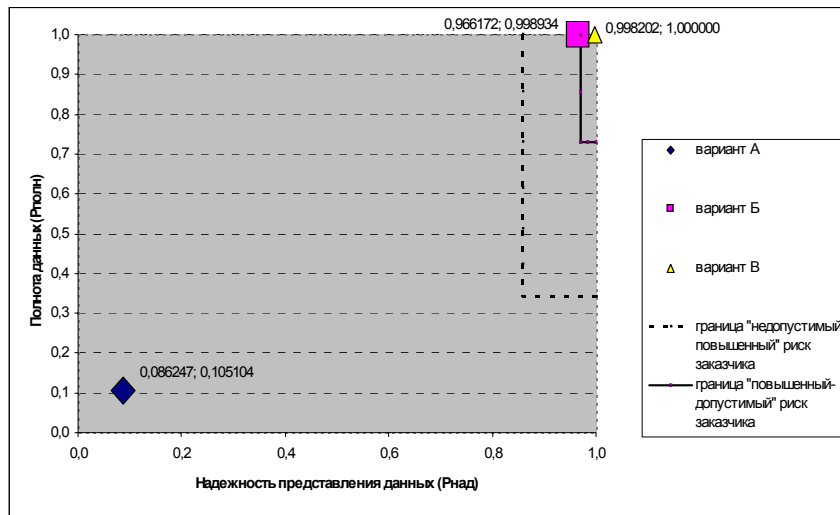


Рисунок 8 – Распределение вариантов архитектурных решений в координатах $P_{\text{над}}$ и $P_{\text{полн}}$ для АС СПОИ «Сбор-Р»

Предлагаемый способ повышения надежности передач ИИ по спутниковому каналу связи, применение которого позволяет снизить до допустимого риск заказчика, заключается в том, что по транспортному протоколу (например, UDP) без подтверждения передаются только значимые для использования в период репортажа и экспресс-анализа данные. Все зарегистрированные данные запоминают на ИП.

Сокращением данных передаваемых в реальном времени создается временной резерв, который используется для повышения достоверности передач данных. Для выполнения требований по достоверности передачи данных помимо использования помехоустойчивого кодирования блоков данных для каждого передаваемого блока данных формируются и передаются один или несколько резервных блоков.

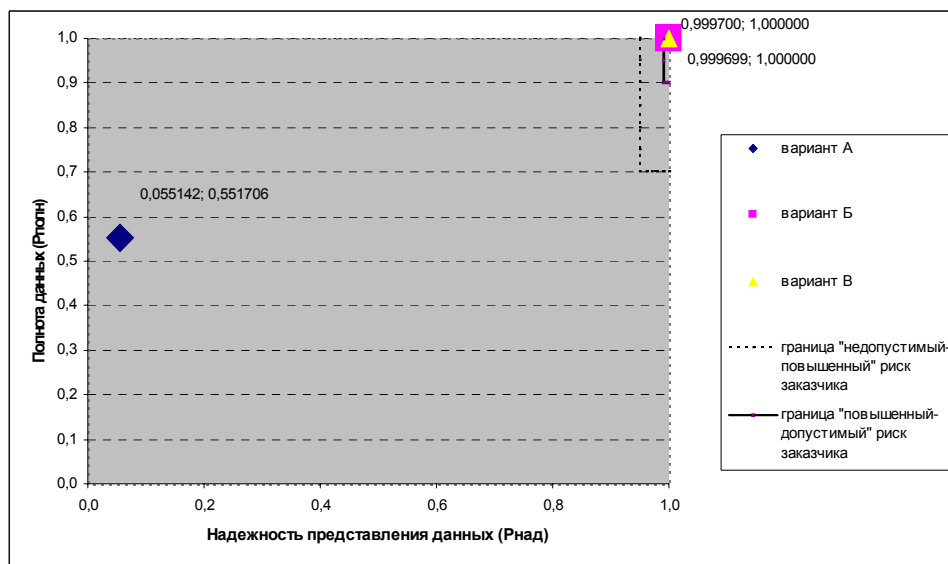


Рисунок 9 – Распределение вариантов архитектурных решений в координатах $P_{\text{над}}$ и $P_{\text{полн}}$ для АС СПОИ с перспективными системами спутниковой связи

Для решения задачи гарантированной доставки всех данных (после завершения периода регистрации данных – в отложенном режиме) выполняют передачу данных по транспортному протоколу с подтверждением (например, TCP/IP).

В третьей главе рассматриваются также способы информационной поддержки ИТО пусков РН. В АС СПОИ предлагаются системы поддержки принятия решений (СППР):

- СППР В – системы с генерацией вариантов управленческих решений;
- СППР И – системы информационной поддержки принятия решений.

Для СППР В принято, что конечный результат проведения испытаний образца РН заключается в оценке его эффективности W . Предполагается, что значение показателя эффективности принадлежит интервалу $[0,1]$. Оценка эффективности образца РН, полученная при его полигонных испытаниях, является произведением «истинной» эффективности образца W_o и эффективности СПИ W_{cnu}

$$\hat{W} = W_o(\bar{u}) \times W_{cnu}(\bar{v}), \quad (1)$$

где \bar{v}, \bar{u} - векторы частных показателей качества СПИ и образца РН.

Достоверная оценка $W_{обр}$ может быть получена при условии, что

$$W_{cnu} = 1 \quad (2)$$

Оценка эффективности образца РН может быть представлена в виде свертки «истинной» эффективности образца w_o и эффективности СПИ w_{cnu}

$$\hat{W}_{обр}(\bar{v}) = \int_{\bar{u} \subseteq \Omega} W_o(\bar{u}) W_{cnu}(\bar{v}, \bar{u}) d\bar{u}, \quad \bar{v} \subseteq \Gamma, \quad (3)$$

где Γ, Ω - многомерные области изменения значений векторов \bar{v}, \bar{u} .

Из (3) следует, что, в этом случае достоверная оценка показателя эффективности образца РН W_o может быть получена при условии, что

$$W_{cnu} = \delta(\bar{v} - \bar{u}), \quad (4)$$

$$\Gamma = \Omega. \quad (5)$$

СПИ является сложной системой, на практике истинное значение W_{cnu} неизвестно, и его заменяют оценкой \hat{W}_{cnu} . В качестве меры соответствия i -го, $i = \overline{1, K}$, ИП задач, решаемым при пуске РН, необходима оценка соответствия \hat{P}_i^c .

Условия (2, 4, 5) могут быть выполнены только в том случае, если одновременно выполняются два условия:

- правильно предъявлены требования к СПИ для ИТО пуска образца РН;
- СПИ i -го ИП отвечает требованиям ($P_i^c = 1$).

Следовательно, задача обеспечения объективной оценки эффективности испытуемого (пускаемого) образца РН состоит из задач:

- оптимального выбора СПИ из существующей совокупности ИП;
- получения корректной (несмещенной и эффективной) оценки W_{cnu} .

Функция эффективности СПИ является сверткой частных показателей качества СПИ $u_j = u_j(\bar{x})$

$$W_{cnu}(\bar{x}) = \bigotimes_{j=1}^M u_j(\bar{x}),$$

где M - количество частных показателей качества;

$\bar{x} = (x_1, \dots, x_l, \dots, x_L)$ - вектор конструктивных параметров СПИ, $x \in X$.

Задача оптимального проектирования СПИ состоит в выборе из множества СПИ варианта (вектора \bar{x}^o), который максимизирует заданный критерий эффективности:

$$\bar{x}^0 \in \underset{\bar{x} \in \Pi(\bar{u}, X)}{\text{Arg max}} W_{cnu}(\bar{x}),$$

где \bar{x}^0 - искомый вектор конструктивных параметров оптимальной СПИ;
 $\Pi(\bar{u}, X)$ – множество эффективных (оптимальных по Парето) вариантов.

Если структура СПИ задана, то объективная оценка эффективности испытываемого образца РН обеспечивается корректной оценкой эффективности СПИ, действующей на i - м ИП. Это снижает размерность задачи и задачей СППР В является оценивание соответствия СПИ ИП (значений P_i^c) заданным требованиям.

В узком смысле назначение СППР В состоит в информационном обеспечении принятия решения о выборе ИП, обеспечивающих ИТО испытаний (пусков) РН. В широком смысле (если ни один из ИП в полной мере не соответствует предъявленным требованиям) назначение СППР В сводится к информационному обеспечению принятия решения о распределении задач между ИП (что используется на практике).

Пусть имеются оценки стоимости ИТО и на i - м ИП - \hat{C}_i , и задана допустимая стоимость ИТО C_o . Тогда задача выбора подходящего для ИТО РН ИП сформулирована в виде

$$\hat{P}_{max}^c = \max_i \hat{P}_i^c, \hat{C}_i \leq C_o. \quad (6)$$

Задача распределения выполнения пунктов ИТО, между ИП имеет вид

$$\hat{P}_{smax}^c = \max_i \hat{P}_{is}^c, \hat{C}_{is} \leq C_{os}, \quad (7)$$

где \hat{P}_{is}^c - оценка вероятности соответствия i - го ИП требованиям, предъявляемым при решении S - й задачи ИТО РН;

\hat{C}_{is}, C_{os} - оценка стоимости проведения ИТО на i - м ИП при решении S - й задачи ИТО и допустимая стоимость решения этой задачи, соответственно.

Оценки \hat{P}_i^c , \hat{P}_{is}^c являются интегральными показателями качества СПИ i - го ИП. Частными показателями качества СПИ i - го ИП $u_j = u_j(\bar{x})$ могут быть выбраны показатели, характеризующие:

- возможность и готовность ИП к проведению ИТО пуска РН;
- стоимость проведения ИТО на данном ИП.

Если показатели возможности $P_i^{(1)} = P_i^e$ и готовности $P_i^{(2)} = P_i^z$, то

$$\hat{P}_i^c = w_i^g \sum_{k=1}^2 w_i^{(k)} \hat{P}_i^{(k)}, \quad (8)$$

где: $w_i^{(k)}$ - весовые коэффициенты, $k = 1, 2$, $w_i^{(k)} \in [0, 1]$;

w_i^g - мера предпочтения i - го ИП, $w_i^g \in [0, 1]$.

Показатели $P_i^{(k)}$, входящие в выражение (8), являются агрегатами конструктивных параметров x_j СПИ. Декомпозируя СПИ на техническую, информационную, методическую и организационную подсистемы соотношение (8) может быть преобразовано к виду:

$$\hat{P}_i^c = w_i^g \sum_{k=1}^2 w_i^{(k)} \sum_{m=1}^4 w_m^{(k)} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \hat{P}_{imn}^{(k)}, \quad (3.18)$$

где: $w_m^{(k)}$ - весовые коэффициенты, $w_m^{(k)} \in [0, 1]$;

$\hat{P}_{imn}^{(k)}$ - показатели, характеризующие качество n - го элемента m - й подсистемы СПИ, $\hat{P}_{imn}^{(k)} \in [0, 1]$, $m = \overline{1, 4}$, $n = \overline{1, N}$.

Таким образом, СППР В выполняет свое назначение посредством оценки показателей $P_{imn}^{(k)}$, C_i характеризующих:

- возможности СПИ, реализованных на ИП, по обеспечению ИТО пуска РН;
- готовности ИП к проведению ИТО пуска РН;
- стоимости проведения ИТО пуска РН на ИП.

В СППР И учитывается, что в зависимости от вида РН многомерные области изменения значений вектора \bar{u} существенно различны. Для всей совокупности ИП в целом необходимо расширять размерность задачи оценки эффективности СПИ. В частности, вместо формулы (1):

$$\widehat{W}_j = W_{jo}(\bar{u}_j) \times W_{спи j}(\bar{u}_j)$$

где: \bar{u}_j, \bar{u}_j - векторы частных показателей качества СПИ для образца РН типа j и образца РН типа j соответственно, j - номер типа РН.

Частные задачи выбора номенклатуры ИП подходящих для ИТО различных типов (j) образцов РН при наличии оценок стоимости проведения ИТО на i - м ИП j - го образца РН - \hat{C}_{ij} и заданных ограничениях на стоимость проведения ИТО - C_{jo} также на несколько порядков увеличивают размерность задачи (видоизменение формулы (6)):

$$\hat{P}_{\max j}^c = \max_j \hat{P}_{ij}^c, \hat{C}_{ij} \leq C_{jo}.$$

Для построения модели информационных ресурсов, необходимых для СППР использован граф G . Множество неоднородных вершин V графа G с массивами весовых характеристик $\{W\}$, отождествляется с образцами РН и их компонентами ($V^{обp}$), показателями, характеристиками, параметрами (тактико-техническими требованиями) образцами РН (V^{TP}), методическим обеспечением, планами испытаний, регламентирующими документами, положениями подразделений (единиц организационной структуры полигонного комплекса – ПК, включая задействуемые ЦУС и ИП) содержащим, регламентирующим или описывающим процессы, функции и операции по ИТО пусков РН (V^{III}), организационной структурой ПК – ЦУС, командные пункты, измерительные пункты и т. д. (V^{III}), ресурсами различных видов (в том числе и потребными в обозримом планируемом будущем, которые в настоящий момент в какой-то мере отражаются планами подготовки к ИТО, их обеспечения и развития экспериментально-испытательных баз полигонов) (V^{III}). Множество взвешенных (массив весовых характеристик $\{Z\}$) дуг R графа G определяют однонаправленные отношения между вершинами – дуги состава РН ($R^{обp}$), дуги взаимосвязей показателей (экономических и технических), характеристик, параметров (требований) РН (R^{TP}), дуги взаимосвязей функций (R^{III}), дуги подчиненности единиц организационной структуры (R^{III}), дуги структуризации ресурсов (R^{III}), дуги принадлежности ресурсов ($R^{III-III}$), дуги взаимосвязей требований с компонентами РН ($R^{TP-обp}$), дуги целей исполнения функций при ИТО обеспечении пусков РН ($R^{обp-III}$), дуги исполнения функций ($R^{III-III}$), дуги использования ресурсов ($R^{III-III}$).

$$G = (V, R),$$

где: $V = (V^{обp}, V^{TP}, V^{III}, V^{III}, V^{III}, V^{III})$,
 $R = (R^{обp}, R^{TP}, R^{III}, R^{III}, R^{III}, R^{III-III}, R^{TP-обp}, R^{обp-III}, R^{III-III}, R^{III-III})$.

При применении информационной технологии компоненты модели могут быть представлены в реляционных базах данных в виде информационных объектов (ИО).

Элементарный компонент (элементарный ИО представления вершин V с одномерным массивом весовых характеристик W) представляется кортежем

$$D_i(a_i^1, a_i^2, a_i^3, \dots, a_i^n),$$

где: D_i – идентификатор i – го ИР,

a_i^j – j – й атрибут i – го ИО.

Вершины с многомерными массивами W представляются кортежем:

$$D_i(W_i^1(a_{i1}^1, a_{i1}^2, \dots, a_{i1}^n), \dots, W_i^k(a_{ik}^1, a_{ik}^2, \dots, a_{ik}^m))$$

где: D_i – идентификатор i – й вершины,

W_i^l – идентификатор измерения l весовых характеристик i – й вершины;

a_{il}^j – j – й атрибут i – й вершины по измерению l .

Дуги графа G в случае, когда массив весовых характеристик Z одномерный и для их представления достаточно использования атрибутов a_i^j элементарного информационного объекта, представляется кортежем

$$R_i(D_i^n, D_i^m, a_i^1, a_i^2, a_i^3, \dots, a_i^n),$$

где: R_i – идентификатор i – й дуги,

D_i^n – идентификатор вершины – начала i – й дуги,

D_i^m – идентификатор вершины – конца i – й дуги,

a_i^j – j – й атрибут i – й дуги.

В случае многомерных массивов Z дуги представляют кортежем

$$R_i(D_i^n, D_i^m, Z_i^1(a_{i1}^1, a_{i1}^2, \dots, a_{i1}^n), \dots, Z_i^k(a_{ik}^1, a_{ik}^2, \dots, a_{ik}^m)),$$

где: R_i – идентификатор i – й дуги,

D_i^n – идентификатор вершины – начала i – й дуги,

D_i^m – идентификатор вершины – конца i – й дуги,

Z_i^l – идентификатор измерения l весовых характеристик i – й дуги;

a_{il}^j – j – й атрибут i – й дуги по измерению l .

В связи с особенностью топологии ЦУС и ИП в РФ распределенные базы данных (БД), методы репликации данных в АС СПОИ не применяют. В АС СПОИ БД большую часть времени должны работать автономно. В то же время, в периоды подготовки и пуска РН должны проводиться интенсивные обмены данными и поступающие от различных источников массивы информации должны интегрироваться.

Предлагается способ интеграции информационных ресурсов использующий способы информационных обменов между БД. Целью предлагаемого способа является исключение повторной записи данных, которые уже занесены в БД приемника и которые вновь поступают в составе данных от нового источника, а также корректное совмещение данных от нескольких БД в единый логически связанный информационный массив, что существенно повышает функциональные возможности информационной системы. Еще одной целью предлагаемого способа является возможность обеспечения информационного обмена в произвольной структуре взаимодействия БД, предусматривающей сетевую топологию обменов, в том числе и двухсторонних обменов между произвольно взятыми отдельными БД информационной системы.

Способ идентификации данных предусматривает, как и известные, генерацию новых ключей для записей, чем обеспечивается уникальность записей в БД. В то же время предлагается централизованно (в рамках АС СПОИ) генерировать уникальные ключи для типов записей и для отдельных экземпляров записей и в специальной структуре метаданных (несколько таблиц) хранить в БД соответствие между централизованно сгенерированными ключами и ключами сгенерированными в БД при зане-

сении записей. Централизованная генерация уникальных ключей обеспечивает возможность при приеме записей в любую БД АС СПОИ (приемник) от любой другой БД АС СПОИ (источник) выполнить процедуры:

- генерации собственных (для приемника) уникальных ключей для принимаемых записей (чем обеспечить уникальность записей в БД);
- выявления в принимаемых записях информационных объектов уже имеющих в БД и предотвращения повторной записи таких объектов;
- совмещение данных от нескольких БД источников в базе данных приемнике в единый логически связанный информационный массив.

Способ информационных обменов между БД распределенной АС СПОИ заключается в том, что при формировании обменного массива данных:

- как и в известных способах формируются (с применением языков разметки структурированных данных XML, HTML и др.) массивы данных с использованием собственных уникальных ключей;
- в отличие от известных способов сопровождают централизованно сгенерированными ключами отдельные записи данных, входящих в интегрируемые информационные ресурсы.

Четвертая глава посвящена показателям и моделям оценки качества функционирования АС СПОИ, программным средствам системы поддержки эксплуатации (СПЭ). Степень реализации цели функционирования АС СПОИ с учетом факторов, воздействующих на информацию, определяется уровнями целостности системы и ее составных частей и должны оцениваться при проектировании, контролироваться при изготовлении и эксплуатации системы. Территориальная распределенность АС СПОИ, большое число компонентов системы актуализирует создание автоматизированной системы поддержки эксплуатации (СПЭ).

В составе программных средств СПЭ используются информационно-программные комплексы:

- PDM система STEP Suite;
- учета состава продукции;
- учета покупных комплектующих изделий в составе продукции;
- учета используемых материалов и трудоемкости изготовления;
- учета поставщиков покупных комплектующих изделий;
- оценки трудоемкости проектирования программных средств;
- расчета и учета обобщенного показателя эффективности программ и системы в целом и др.;

Для автоматизации сопровождения системы необходимы: номенклатура показателей качества, комплексный показатель для оценки качества АС СПОИ и доработанные информационные модели для базы и хранилища данных СПЭ, учитывающие специфику АС СПОИ. В дополнение к используемым средствам и в поддержку требований нормативных документов по каталогизации продукции разработан информационно-программный комплекс «Каталог продукции».

В постановке задачи определения комплексного показателя K допускается, что существуют:

- минимизируемые показатели (P_{mni}) линейно представляющие качество системы или ее составной части (частный критерий – минимизация k_i) $k_i = -P_{mni}$;
- максимизируемые показатели (P_{mxj}) линейно представляющих качество системы (частный критерий – максимизация k_j) $k_j = P_{mxj}$;

- весовые коэффициенты k_{pi} и k_{pj} , с помощью которых можно проводить сравнительную оценку изменений показателей (изменение значений максимизируемого показателя P_{mxj} на величину ΔP_{mxj} эквивалентно, с точки зрения качества системы, изменению значений минимизируемого показателя P_{mni} на величину $-\Delta P_{mni}$, при условии $k_{pj}\Delta P_{mxj} = -k_{pi}\Delta P_{mni}$).

Определяется обобщенный (мультипликативный) показатель таким образом, чтобы относительное изменение минимизируемого показателя $\Delta P_{mni}/P_{mni}$ и относительное изменение максимизируемого показателя $\Delta P_{mxj}/P_{mxj}$ приводили к изменению K

$$\Delta K/K = -\sum_i k_{pi} \Delta P_{mni}/P_{mni} + \sum_j k_{pj} \Delta P_{mxj}/P_{mxj}.$$

Вид K , удовлетворяющего такому условию:

$$K = C_{\Sigma} \prod_i P_{mni}^{-k_{pi}} \prod_j P_{mxj}^{k_{pj}}.$$

Требования реализации режимов РВ в АС СПОИ накладывают ограничения на отдельные значения показателей: $P_{mni} \leq P_{mni}^{зад}$, $P_{mxj} \geq P_{mxj}^{зад}$.

Для учета ограничений доработаны информационные модели БД информационно-программного комплекса расчета обобщенного показателя эффективности программ, системы в целом. Указанный комплекс и программный комплекс «Каталог продукции» использованы при выполнении ОКР по созданию ряда АС СПОИ. Программный комплекс «Каталог продукции» зарегистрирован в Реестре программ.

В заключении сформулированы основные результаты, полученные в диссертационной работе:

- организационная и функциональная структуры системы сбора, передачи и обработки измерительной информации, разработанные по результатам анализа требований к информационно-измерительному обеспечению пусков РН;
- поведенческие модели системы сбора, передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков РН;
- формализованные модели системы поддержки принятия решений в рамках системы сбора, передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков РН;
- графовые модели информационных ресурсов для оптимизации структуры БД и сокращения объемов данных информационных обменов между компонентами системы;
- способ повышения надежности представления ИИ в системе сбора, передачи и обработки измерительной информации при проведении пусков РН;
- способ и система информационного обмена между ИПами и ЦУС в системе сбора, передачи и обработки измерительной информации, обеспечивающий интеграцию информационных ресурсов компонентов системы;
- методика установления, оценки и контроля уровня целостности системы сбора, передачи и обработки измерительной информации, опирающийся на требования нормативных документов и использование инструментальных средств поддержки всех стадий и этапов жизненного цикла системы.

Использование результатов диссертации позволяет:

- повысить функциональные возможности систем сбора, передачи и обработки измерительной информации;
- снизить затраты и срок проектных работ при создании информационных систем, работ по сопровождению эксплуатации и в конечном итоге положительно повлиять на качество их функционирования.

В приложениях приводятся описание разработанного программного комплекса «Каталог продукции», а также представлены копии свидетельства о регистрации комплекса, Решения о выдаче патента РФ и актов о внедрении.

Публикации по теме диссертации

1. Артамонов М.М., Лупиков В.С., Новиков Ю.А. Телекоммуникационное обеспечение системы подготовки и пуска РКН // 2-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 1998. – С. 73-74.

2. Артамонов М.М., Бистерфельд О.А., Новиков Ю.А., Пресняков А.Н. Способ контроля и диагностики многопараметрических объектов по данным телеизмерений с использованием технологий баз данных // 3-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2000. – С. 230-231.

3. **Везенов В.И., Новиков Ю.А. Организация спутниковых каналов связи в системах сбора измерительной информации // Информационные технологии. 2006. №12. – С. 44-50.**

4. **Везенов В.И., Новиков Ю.А. Организация вычислительного процесса в системах сбора измерительной информации // Информационные технологии. 2007. №1. – С. 69-73.**

5. Везенов В.И., Новиков Ю.А. Анализ методов оптимизации проектных решений при создании распределенных систем сбора измерительной информации // 14-я международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязанская государственная радиотехническая академия. – Рязань, 2005. – С. 98-99.

6. Везенов В.И., Новиков Ю.А. Анализ аспектов создания базового набора аппаратно-программных средств автоматизации трассового сбора измерительной информации // 13-я международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязанская государственная радиотехническая академия. – Рязань, 2004. – С. 11-12.

7. Везенов В.И., Новиков Ю.А., Петров Е.Д. Организация сбора измерительной информации при обеспечении пусков изделий ракетно-космической техники // 4-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2003. – С. 131-134.

8. Везенов В.И., Новиков Ю.А., Пресняков А.Н., Светников О.Г., Хлебников Н.Ю. Способ информационного обмена между базами данных информационных систем и система для его осуществления. Патент РФ. № 2351010, приоритет от 05.06.2007.

9. Везенов В.И., Марченков Р.Е., Новиков Ю.А., Пресняков А.Н., Форсов Г.Л. Способ передачи информации по каналам связи в реальном времени и система для его осуществления. Заявка на патент РФ. Способ передачи информации по каналам связи в реальном времени и система для его осуществления. Заявка на патент РФ. 2009.

10. Везенов В.И., Тимашев А.В., Новиков Ю.А., Петров Е.Д., Хамко Н.Г. Принципы построения систем спутниковой связи для обеспечения сбора информации при подготовке и проведении испытаний космических аппаратов // 3-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2000. – С. 127-129.

11. Лабутин А.В., Новиков Ю.А., Пресняков А.Н., Сидоров М.В. Организация информационного обмена между базами данных специализированных территориально распределенных ИАС // 4-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2003. – С. 249-250.

12. Лукьянов О.В., Новиков Ю.А., Сериков С.А. Использование стека протокола ТСР/IP в спутниковых системах передачи данных, работающих в реальном времени //

4-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2003. – С. 254-258.

13. Новиков Ю.А., Петров Е.Д., Хлебников Н.Ю. Анализ использования ЗССС в системах сбора измерительной информации // Международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязанская государственная радиотехническая академия. – Рязань, 2005. – С. 67–69.

14. Новиков Ю.А., Товпеко А.В. Анализ методов проектирования адаптивного программного и информационного обеспечения систем сбора и обработки телеметрической информации // Международная научно-техническая конференция «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций». Рязанская государственная радиотехническая академия. – Рязань, 2005. – С. 69–70.

15. Новиков Ю.А., Потапов Н.А. Программа «Каталог продукции». Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2008612463, зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 20.05.2008.

16. Новиков Ю.А., Пресняков А.Н. Анализ концепций построения информационных средств специализированных территориально распределенных ИАС // 4-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2003. – С. 247-248.

17. Новиков Ю.А., Фомов О.П. Технология GRID // Научно-техническая конференция «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий». Российский научно-исследовательский институт космического приборостроения – Москва, 2007.

18. Новиков Ю.А. Тихомиров С.А. Основные аспекты оптимизации вычислительного процесса обработки и анализа телеметрической информации в системах сбора измерительной информации // 5-я международная научно-техническая конференция «Космонавтика, радиоэлектроника, геоинформатика». – Рязань, 2007. – С. 141-143.

Подписано в печать 00.04.2009 г. Формат _____
Бумага для множительных аппаратов. Печать офсетная.
Гарнитура Times. Усл. печ. л. 1,0
Уч.-изд. л. 1,0. Тираж 100 экз.
ГОУ ВПО Рязанский государственный радиотехнический университет
390005, Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1

Редакционно-издательский центр РГРТУ