

На правах рукописи



Говорухина Татьяна Николаевна

**МОДЕЛИ, МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ И
ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ АДАПТИВНЫМИ
РЕКОНФИГУРИРУЕМЫМИ МОДУЛЯМИ В
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Специальность 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка
информации (технические и медицинские системы)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Курск – 2013

Работа выполнена в Юго-Западном государственном университете на кафедре биомедицинской инженерии

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор
Бурмака Александр Александрович

Официальные оппоненты:

Кониченко Александр Васильевич
доктор технических наук, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский центр (г.Курск) ФГУП «18 ЦНИИ» МО РФ, главный научный сотрудник

Коржук Николай Львович
кандидат технических наук, доцент, Тульский государственный университет, профессор кафедры приборы и биотехнические системы

Ведущая организация

Воронежский государственный технический университет, г. Воронеж

Защита диссертации состоится «27» ноября 2013 года в 12⁰⁰ часов в конференц-зале на заседании диссертационного совета Д 212.105.03 при Юго-Западном государственном университете по адресу: 305040, Курск, ул.50-лет Октября, 94.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Юго-Западного государственного университета.

Автореферат разослан «26» октября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 212.105.03



Милостная Наталья Анатольевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современные телеметрические системы (ТМС), информационно-управляющие системы (ИУС) и информационно-логические измерительные системы (ИЛИС) составляют одну из наиболее обширных и развивающихся областей контроля и управления сложными динамическими объектами. Роль этих систем возросла в настоящее время еще больше, в связи с ускоренным развитием ведущих отраслей народного хозяйства страны, качество работы которых во многом зависит от эффективности управления целенаправленными процессами (ЦНП), реализуемыми в каждой из отраслей различными объектами, как правило, сложноструктурированными и со сложной динамикой поведения. В основе контроля ЦНП и сложных динамических объектов (СДО) лежат процессы измерения и преобразования первичной информации, доставляемой территориально распределенными датчиками различной физической природы, образующими совместно с каналами связей и средствами коммутации первичную информационную среду (информационное поле), являющуюся территориально распределенным нижним уровнем (нижней стратой) ТМС, ИУС или ИЛИС в зависимости от целевой направленности контроля и мониторинга ЦНП и СДО.

ЦНП и СДО являются, как правило, сложными управляемыми структурами, информация о функциональном состоянии которых содержится в массивах текущих значений информации, добываемой ТМС.

Повышение уровня сложности СДО обуславливает значительное увеличение количества измеряемых параметров и характеристик процессов и закономерностей их функционирования. Количество этих параметров и характеристик (теплоэнергетические, ракетно-космические, транспортные, радиоэлектронные и другие отрасли) достигает сотен и тысяч.

Основные принципы построения и способы применения ТМС в различных промышленных и социальных отраслях народного хозяйства Российской Федерации рассматривались в работах Абкидеева Н.М., Атакищева О.И., Балашова Е.П., Геппенера В.В., Загорелого В.П., Жуковой Н.А., Новопащенко Г.Н., Цветкова Э.И. и др. Методы управления СДО и ЦНП с использованием ТМС, ИЛИС и ИУС рассматривались в работах Кониченко А.В., Николаева В.Н., Охтилева М.Ю., Посягина Б.С., Радзиевского В.Г. и др., теоретические и практические вопросы построения автоматизированных многоканальных телеметрических систем и комплексов, вопросы обработки информации рассматривались в работах Гильбо Е.П., Голда Б., Горлача А.Д., Гольденберга Л.М., Макса Ж., Сизова А.С., Бурмаки А.А. и др.

Вместе с тем вопросы контроля поведения и управления СДО и ЦНП при больших объемах первичной информации с большой динамикой изменения своих характеристик в условиях территориальной распределенной информационной сети ТМС и априорной неопределенности относительно характеристик входных воздействий в ряде направлений и аспектов остаются нерешенными.

Полнота, своевременность и достоверность получения, преобразования и доставки телеметрической измерительной сигнальной информации зависит от

функциональных и структурных возможностей ТМС и ИУС на всех уровнях их иерархии. Очень большие объемы разнородной первичной информации, различная степень неопределенности о свойствах потока входных воздействий в параметрическом и семантическом виде обуславливают расширения сети оборудования, что требует новых финансовых, энергетических и других вложений, особенно, в части создания подсистем нижнего уровня ТМС, формирующих первичное информационное поле (информационную территориально распределенную сеть), объединенное каналами передачи телеметрической информации с подсистемами верхнего уровня ТМС.

Возникает противоречие между современными требованиями эффективного получения и обработки телеметрической информации при обслуживании контролируемых ЦНП и СДО и возможностями существующих средств, методов и приемов обработки данных.

В соответствии с этим представляется актуальным поиск путей и разработка методов, алгоритмов и средств, позволяющих оптимизировать построение первичной информационной и управляющей сетей (нижнего уровня территориально и функционально распределенной ТМС) реализующей оптимальные алгоритмы и аппаратно-программные средства получения, предобработки и коммутации первичной информации при снижении стоимостных, энергетических и эксплуатационных затрат.

Таким образом, актуальной научно-технической задачей является повышение эффективности функционирования ТМС и ИУС, содержащих территориально распределенные подсистемы нижнего уровня, формирующие первичное информационное и управляющее поле для этих систем в условиях получения больших и очень больших массивов текущих данных и при априорной неопределенности относительно свойств и характеристик потока входных воздействий.

Разработка выполнялась в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ Юго-Западного государственного университета в 2011-2013 годах в ходе разработки системы комплексной безопасности наземных ракетно-космических средств.

Цель работы. Разработка моделей, методов и алгоритмов управления и обработки телеметрической информации адаптивными реконфигурируемыми модулями первичной информационно-управляющей сети ТМС для повышения технической эффективности её работы.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие **задачи:**

1. Сравнительный анализ функционально-структурной организации (ФСО) существующих средств получения измерительной информации и формирования телеметрической информации о ЦНП и СДО в технических системах различных отраслей народного хозяйства Российской Федерации.

2. Построение аналитических и системных моделей получения, адаптивной обработки и преобразования первичной информации в подсистеме нижнего уровня ТМС.

3. Разработка методов структурно-параметрического синтеза функционально-структурной организации адаптивной периферийной подсистемы ТМС и адаптивного реконфигурируемого модуля как типового функционального компонента этой подсистемы.

4. Разработка алгоритмов обработки информации и ситуационного управления адаптивным реконфигурируемым модулем периферийной подсистемы ТМС.

Объект исследования. Территориально распределенные телеметрические, информационно-управляющие и информационно-логические системы открытого типа.

Предмет исследований. Адаптивные реконфигурируемые модули в подсистемах нижнего уровня ТМС, ИУС или ИЛИС.

Методы исследований. В работе использованы методы системного анализа, аналитического и системного моделирования, теории управления, теории информационных измерительных и телеметрических систем, теории адаптации, теории ситуационного управления, теории алгоритмов, теории вероятностей.

Новыми научными результатами и положениями, выносимыми на защиту, являются:

1. Аналитические и системные модели получения, адаптивной обработки и преобразования первичной информации в подсистеме нижнего уровня территориально распределенных ТМС открытого типа, отличающиеся использованием базовых разработанных моделей потока входных воздействий, динамических моделей состояний и динамических моделей наблюдений.

2. Метод структурно-параметрического синтеза функционально-структурной организации территориально распределенной адаптивной подсистемы нижнего уровня ТМС, ИУС и ИЛИС, отличающегося технологическими особенностями, заключающимися в поэтапном применении моделей: потока входных воздействий, динамических моделей состояний и наблюдений, системной модели формирования первичной информации в периферийной подсистеме и системной модели адаптивной обработки информации в ТМС – как технологических приемов (шаблонов), посредством применения которых формируется ФСО подсистемы ТМС, способную оптимизировать процессы получения, обработки первичной информации и её прямого использования для управления объектами и ЦНП.

3. Метод структурно-параметрической реконфигурации адаптивного модуля ТМС, управляемого по удаленному доступу, отличающегося использованием упрощенной фреймовой организации базы знаний при принятии решений на основе получения сжатой апостериорной информации о состоянии СДО и ЦНП.

4. Алгоритмы обработки информации и ситуационного управления адаптивным реконфигурируемым модулем периферийной подсистемы ТМС.

5. Функционально-структурная организация адаптивного реконфигурируемого модуля телеметрической системы.

Практическая ценность и результаты внедрения работы.

Практическая ценность работы заключается в следующем:

1. Результаты диссертационного исследования положены в основу создания эффективно функционирующих территориально распределённых информационно-управляющих и адаптивно коммутационных подсистем нижнего уровня ТМС (ИЛИС) открытого типа с использованием реконфигурируемых адаптивных модулей.

2. Предложена и экспериментально проверена ФСО адаптивного модуля, как базовой составляющей перспективных ТМС, ИУС и ИЛИС распределенного типа, используемых в составе средств контроля и мониторинга ЦНП и СДО.

Результаты, полученные в диссертационной работе, использовались при создании ТМС в системах контроля и телеметрии в частности в интересах ООО «Каменский завод газоиспользующего оборудования», внедрены в учебный процесс Юго-Западного государственного университета на кафедре биомедицинской инженерии в рамках дисциплины «Информационно-измерительные системы и комплексы», что подтверждено соответствующими актами.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности

Содержание диссертации соответствует п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации» и п.7 «Методы и алгоритмы структурно-параметрического синтеза и идентификации сложных систем» паспорта специальности 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации».

Апробация. Основные научные и практические результаты исследования по теме диссертации докладывались и получили положительную оценку на международных, всероссийских и региональных научно-технических конференциях: «Прикладная математика, управление и информатика» (г. Белгород 2012 г.), «Медико-экологические информационные технологии» (г. Курск, 2012г., 2013г.), «Биомедицинские и технические системы: анализа, проектирование и управление» (г. Курск, 2012г., 2013г.), Интегративные процессы -2013» (г. Москва, 2013г.), «Образование и наука: современное состояние и перспективы развития» (г. Тамбов, 2013 г.), «Новината за напреднали наука – 2013» (София, Болгария, 2013), а также на научно-технических семинарах кафедры биомедицинской инженерии Юго-Западного государственного университета.

Публикации. Основные результаты отражены в 14 научных работах, из них 5 статей опубликованы в рецензируемых научных журналах.

Личный вклад автора. Все выносимые на защиту результаты получены лично автором. В работах, опубликованных в соавторстве и приведенных в списке литературы, соискателем лично предложены: в [1] – модели и алгоритмы выбора и получения достаточных статистик, обеспечивающих необходимую достоверность оценивания параметров сигналов, принимаемых на фоне помех; в [2] – разработаны матричные модели формирования и использования управляющих

функций для адаптивной обработки потока входных воздействий в условиях априорной неопределенности относительно входных характеристик, а также – для реализации процессов функциональной и структурной реконфигурации адаптивного реконфигурируемого модуля; в [3] – предложено использование элементов самоорганизации ИЛИС для расширения её функциональных возможностей; в [4] – разработана системная модель периферийной подсистемы ТМС и ИИС в виде вложения двух субмоделей как основы для создания метода формирования функционально-структурной организации территориально распределенной периферийной подсистемы ТМС (ИЛИС), в [5] – предложена модель потока входных воздействий, её структурные и функциональные модели для воздействий случайного характера, разработана системная модель для ИЛИС распределенного типа, в [9] – основные принципы ФСО адаптивного реконфигурируемого модуля как составной части распределенной подсистемы ИУС, ТМС и ИЛИС нижнего уровня; в [10] – предложены способы организации первичного информационного поля ИИС с использованием автономных модулей как основных компонентов предобработки первичной информации и управления поведением контролируемых объектов; в [11] – ФСО реконфигурируемого модуля с элементами самоорганизации, в [13] – способ рангового анализа сигналов в биомедицинских средах.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения, списка литературы, включающего 70 наименований. Работа изложенных на 132 страницах машинописного текста, поясняется 26 рисунками, 3 таблицами.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы: основное противоречие, цель и задачи исследований, научная новизна, положения, выносимые на защиту, практическая ценность, результаты работы.

В первой главе с позиций системного подхода выполнен анализ известных методов контроля и мониторинга состояния СДО и ЦНП. Рассмотрены особенности функционирования информационно-управляющих, информационно-измерительных и информационно-логических телеметрических систем как основных компонентов систем и комплексов мониторинга и управления сложными конфигурациями СДО и ЦНП.

Проанализированы известные приемы и методики управления сбором, сортировкой и коммутацией информационных потоков для последующей обработки текущей информации в структурно и территориально распределенных подсистемах ТМС, ИУС и ИЛИС открытого типа, принятия решений и управления.

Показано, что в связи с возрастающей сложностью и информационным наполнением контролируемых СДО и ЦНП, являющихся составными частями инфраструктуры различных отраслей народного хозяйства РФ, существующие принципы построения и функционирования ТМС, ИУС и ИЛИС не в полной мере удовлетворяют возрастающим требованиям эффективной реализации информационных технологий и технологий управления, в особенности, при

контроле развития сложнопрогнозируемых ситуаций при мониторинге больших и сложных систем.

Сформулированы основные задачи исследования, решение которых разрешает основное противоречие и оптимизирует основные процессы обработки информации и управления объектами территориально и структурно распределенными ТМС, ИУС и ИЛИС, построенными по модульному принципу и функционирующими в составе комплексов мониторинга состояний СДО и ЦНП, а также автоматизированных систем и комплексов управления объектами и процессами.

Во второй главе в плане создания и развития методики системного решения совокупности задач в соответствии с целью исследований разработано и исследовано последовательное вложение моделей:

- аналитической модели потока входных воздействий периферийной подсистемы ТМС открытого типа:

$$\lambda(S/a, b) = \sum_{i=1}^{\ell} \lambda_i(S/a, b), \quad (1)$$

где a и b соответственно информативные и неинформативные параметры сигнала S , $s \in S$, несущего полезную информацию; ℓ - число входных каналов периферийной подсистемы, λ_i - i -тый фрагмент потока;

- комплексной вербальной модели формирования в ТМС первичной измерительной и семантической информации с учетом адекватности входным процессам модели (1);

- с учетом вербальной модели разработаны динамическая модель состояний (ДМС) СДО и ЦНП и динамическая модель наблюдений (ДМН), соответственно аналитические выражения (2) и (3):

$$\begin{cases} \xi_{j+1} = E_J \{ F_j^*(x) [X^*(\psi)] \xi_j(x) + G_j^*(x) [X(\psi) \cdot \vec{n}(x)] \}; \\ \vec{x}_{j+1} = E_H \{ f_k^{*(j)} [a_j(x_k)] x_k^{(j)} + g_k^*(x) \cdot \vec{n}_k^{(j)}(x) \}, \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x_j^r(t) = E_J^r \left[\sum_{S_j \in S} S_{jk}^{(r)}(a, b, \lambda, t), n(t) \right]; \\ \{ \hat{a}^{(r)} \}_{jk} = E_{\gamma_j}^{(r)} \{ E_H [E_J^{(r)}(E_H(\tilde{Z})) = \frac{k}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \tilde{f}[\vec{x}(t_i), \vec{\delta}(t_i), \vec{g}]] \}, \end{cases} \quad (3)$$

где $\xi(t)$ - поток входных воздействий для периферийной подсистемы ТМС; E_J , E_H , E_γ - операторы соответственно информационных преобразований, измерений, принятия решений (оценивания); F^* , G^* , f^* , g^* - переходные матрицы соответствующей размерности; $\psi(t)$ - режимы функционирования СДО и ЦНП; $S(t) = S(a, b, \lambda, t)$ - сигналы, несущие в потоке $\xi(t)$ полезную информацию, a и b - соответственно информативные и неинформативные параметры сигнала, λ - интенсивность сигналов; $X(\psi)$ - поток сигналов, изменяющийся со сменой режимов, X - фрагмент потока; \vec{n} - вектор мешающих воздействий в общем потоке $\xi(t)$; \hat{a} - оценка параметра; j - j -тый сеанс работы системы; r - r -тый

источник сигналов (СДО и ЦНП); k - k -тый фрагмент входного воздействия; $\vec{\delta}(t)$ - вектор погрешностей ТМС (ИЛИС).

Комплексная вербальная модель представлена на рисунке 1.

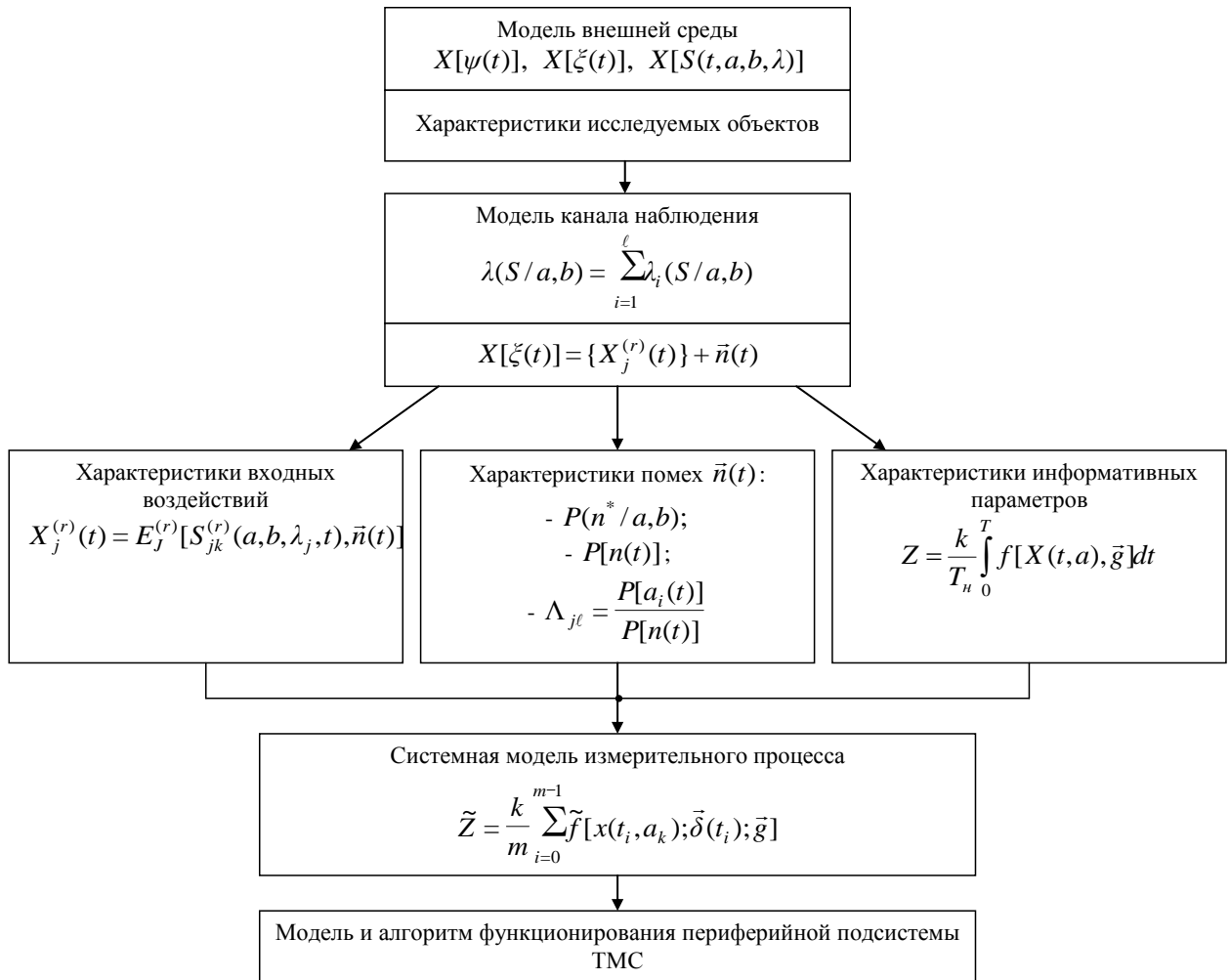


Рис. 1. Комплексная вербальная модель формирования первичной информации подсистемой ТМС

В соответствии с совокупностью основных функций ТМС (преобразование значений параметров СДО и ЦНП в электрические сигналы, их адаптивная коммутация и предобработка, дискретизация и оцифровка, накопления массивов данных, их сортировка, оценивание параметров и характеристик подконтрольных объектов, распознавание и идентификация ситуаций, прогнозирование их развития, формирование данных для принятия решения, формирование команд для управления объектами и передачи данных по каналу связи на локальный диспетчерский пункт для вторичной и третичной обработки данных), использованием разработанных аналитических моделей (входного потока, ДМС и ДМН), а также - модели первичной обработки данных - **предложена** системная модель ТМС, как вложение трех субмоделей L_φ , L_H , L_λ :

1) функциональное описание субмодели L_φ в виде:

$$L_\varphi = \{T, S(T), \xi, Q, Z^*, \varphi, \eta\}, \quad (4)$$

где T - множество моментов времени; $S(T)$ - множество сигналов, $S(T) = \{S(t_i)\}$; Q - множество состояний; φ - переходная функция состояний по ситуациям, т.е. $\varphi = \{T \cdot \xi \cdot C \rightarrow Q\}$; ξ - множество допустимых входных воздействий для L_φ таких, что $\xi(T) = [S(T, a, b, \lambda), \vec{n}(T)]$; Z^* - выходные выходные воздействия (результат работы, решения); т.е. $Z^* = \{U : T \rightarrow Z^*\}$; η - выходное отображение, т.е. $\eta = \{T \times Q \rightarrow Y\}$, Y – цель.

2) субмодели периферийной подсистемы нижнего уровня ТМС L_H (рисунок 2);

3) субмодели ядра ТМС (ИУС, ИЛИС) L_J .

Системная субмодель периферийной подсистемы представлена, в свою очередь, многоканальной и одноканальной составляющей для адаптивной коммутации и первичной обработки потока входных воздействий.

Разработанные аналитические и системные модели обеспечивают возможность осуществления структурно-параметрического синтеза функционально-структурной организации территориально распределенной подсистемы нижнего уровня ТМС открытого типа, представленного в виде блочной структуры поэтапных процедур (рисунок 3).



Рис. 2. Системная модель ТМС и её периферийной подсистемы

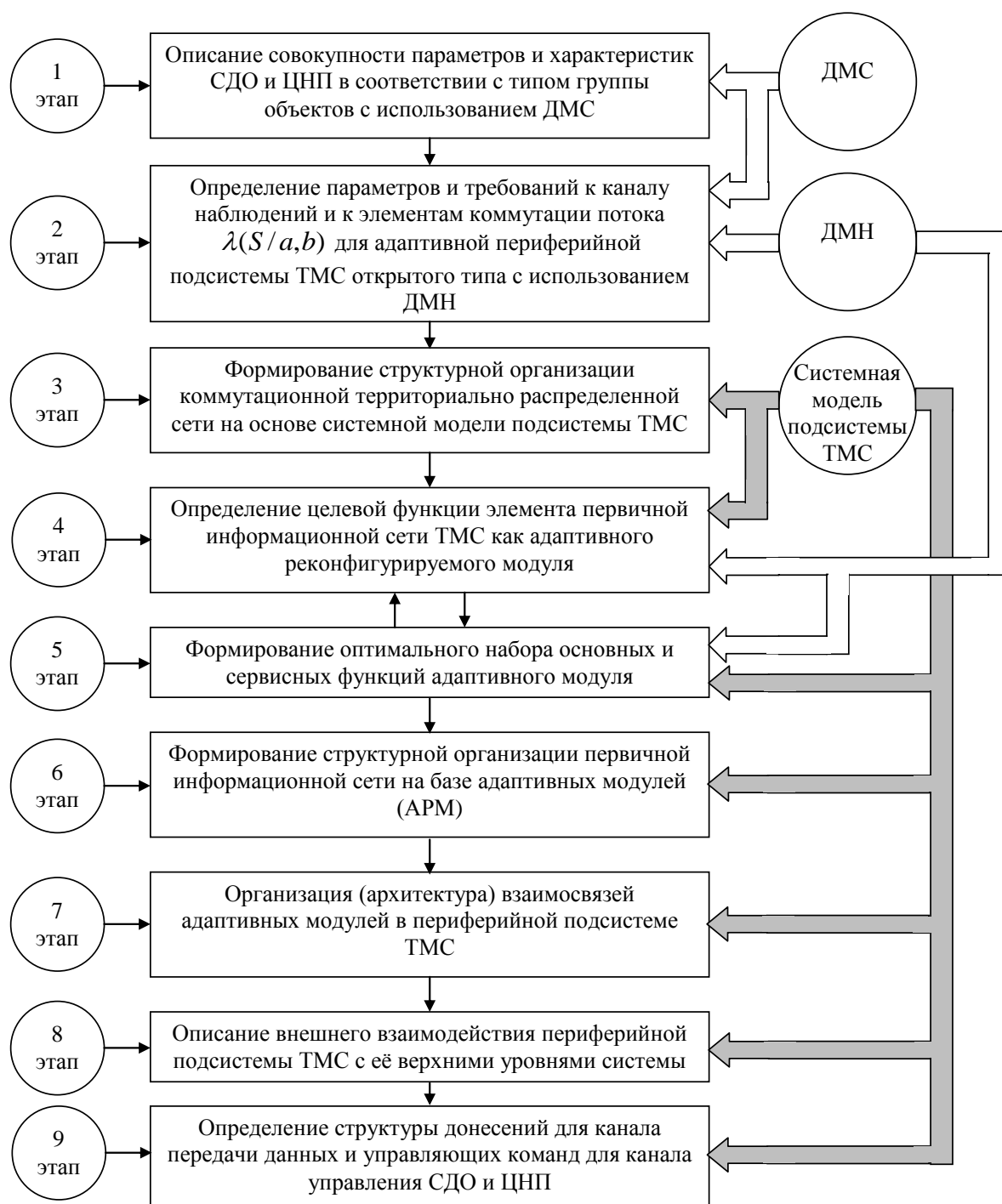


Рис. 3. Блочная структура метода структурно-параметрического синтеза ФСО адаптивной периферийной подсистемы ТМС

Третья глава посвящена декомпозиции периферийной подсистемы ТМС открытого типа (нижней страты) на основе обоснованного в главе 2 принципа модульного построения территориально распределенной подсистемы, представляющей, по сути, первичное информационное поле телеметрической системы или ИУС. Необходимость построения и использования в качестве узловых элементов первичной информационной сети адаптивных реконфигурируемых модулей типовой архитектуры (типовой функционально-структурной организации) обусловлена следующим:

- территориально разнесенными контролируемыми и управляемыми объектами и их объединениями;
- большими объемами первичной информации, получаемой от большого (и очень большого) количества датчиков;
- необходимостью построения в разветвленной сети локальных каналов с одной стороны - для сбора информации, а с другой - для управления СДО и ЦНП;
- возрастающими требованиями оперативной реакции на штатные и нештатные как локальные, так и общесистемные ситуации, когда цена запоздалого решения может быть очень высокой;
- необходимостью оперативно изменять функциональное и программное наполнение модуля, как посредством внутренних команд, так и посредством удаленного доступа;
- необходимостью применения модулей с типовой структурой и архитектурой связей для контроля и мониторинга СДО и ЦНП в различных отраслях народного хозяйства Российской Федерации.

Возникает противоречие в том, что, с одной стороны, необходимо обеспечить полноту и своевременность доставки информации верхней страте ТМС, а с другой стороны, чрезмерная сложность первичной информационной среды при существующих подходах не позволяет обеспечить эти требования.

Системная модель, приведенная в главе 2, решает эту задачу путем адаптивного перераспределения потока $\lambda(S/a, b)$ на подмножества медленных и быстрых процессов с последующим использованием однородных коммутационных и измерительно-вычислительных структур для управления информационным процессом и преобразования его к виду, удобному для вторичной и третичной обработки данных верхней стратегией ТМС и формирования решений.

Эти функции в диссертационной работе возложены на адаптивный реконфигурируемый модуль с типовой ФСО, реализующий функции получения и первичной обработки информации от группы информационно взаимосвязанных датчиков таким образом, чтобы минимизировать на этом уровне (и в данном узле информационной сети) время обработки $t_{обр}$, количество входных и выходных связей, длительность и количество необходимых локальных управляющих воздействий, необходимую полосу пропускания канала передачи данных верхнему уровню ТМС и количество этих сигналов.

При этом датчики группируются по возможно однородной физической природе и от одного и того же объекта (подобъекта, его подсистемы и т.д., например, от локального АРМ в медицине или оборудования, реализующего определенный этап ЦНП). Структурная организация участка (фрагмента) первичной информационной сети представлена на рисунке 4, а конфигурация связей в сети между адаптивными модулями, датчиками и каналом передачи данных – на рисунке 5. Структурная организация периферийной подсистемы ТМС представлена на рисунке 6.

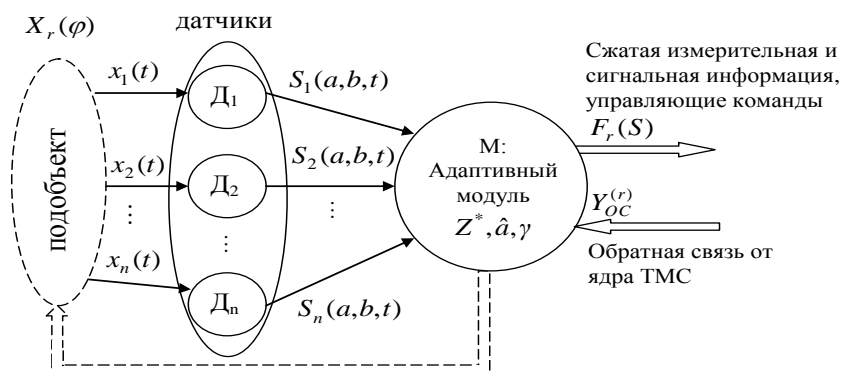


Рис. 4. Структура и конфигурация связей адаптивного модуля «М»

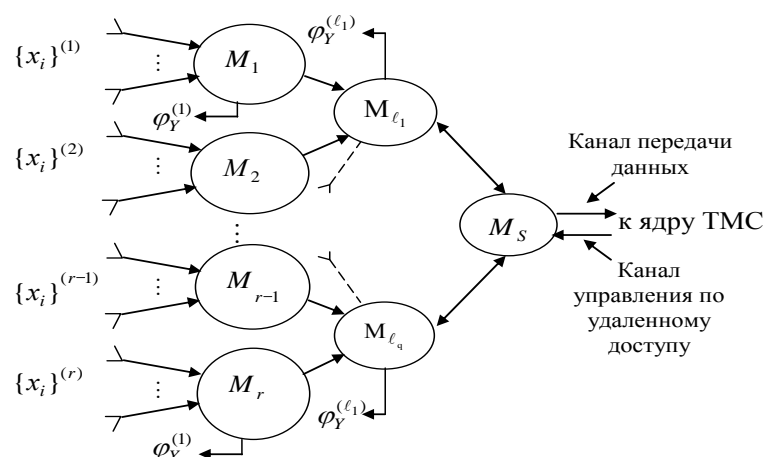


Рис. 5. Конфигурация связей модулей в первичной информационной и управляющей сети

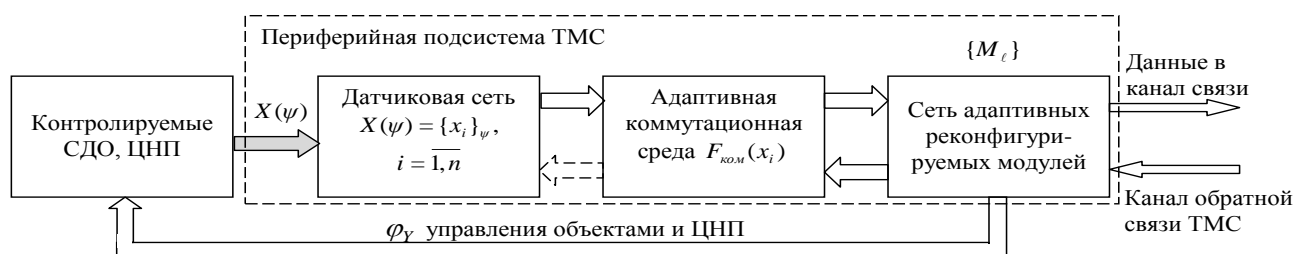


Рис. 6. Структурная организация периферийной подсистемы ТМС

Если целевая функция периферийной подсистемы ТМС трактуется как формирование сжатой информации о состоянии и поведении СДО и ЦНП, доставляемой подсистеме верхнего уровня ТМС при локальном управлении СДО, то целевая функция адаптивного модуля определяется как составная часть групповой целевой функции ТМС распределенного типа.

При больших объемах первичной информации, поступающей в подсистемы верхнего уровня ТМС, её реакция в части принятия решений и формирования управляющих воздействий может запаздывать, что приведет к сбоям в управлении СДО и ЦНП. Это противоречие в диссертационном исследовании разрешено путем передачи части функций подсистемы верхнего уровня ТМС адаптивным модулям её периферийной подсистемы.

В соответствии с рисунками 4, 5 и 6 важным моментом в работе адаптивного модуля является управление потоком входных воздействий, которое представлено в виде трех составляющих:

- адаптивное управление коммутацией входных сигналов $S_k(t, a, b)$ путем оперативного перераспределения потока на быстрые и медленные воздействия;
- управление коммутацией с учетом вероятностных характеристик входного потока $\lambda(S/a, b)$ в целом и его фрагментов для каждого из коммутируемых каналов (рисунки 5, 6);
- реализация итеративного адаптивного алгоритма управления потоком входных воздействий при неопределенности относительно его вероятностных и параметрических характеристик.

Аналитическая модель коммутации высокоскоростных сигналов для многоканальной периферийной подсистемы в детерминированном случае (начальный этап) представлена в виде:

$$Z_i = \bigcup_k [f_{ki}(Y)S_k(t, a, b)], \quad k = \overline{1, n}; \quad (5)$$

где $f_{ki}(Y)$ - управляющая функция, $Y \rightarrow Z$ - управляющий вектор, для многоканальной структуры подсистемы (аналогично и для модуля) выражен в виде матрицы

$$Y = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{21} & \dots & Y_{k1} & \dots & Y_{n1} \\ Y_{12} & Y_{22} & \dots & Y_{k2} & \dots & Y_{n1} \\ \vdots & & & & & \\ Y_{1n} & Y_{2n} & \dots & Y_{kn} & \dots & Y_{nn} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

Выражения (5) и (6) представляют модель смены состояний подсистемы и (или) модуля как при реализации алгоритмов коммутации, так и в случае функциональной реконфигурации адаптивного модуля (путем корректировки матрицы, её замены на другую, корректировки набора управляющих функций $\{f_{ki}(Y)\}$). При учете предыстории, в зависимости от её объема, использованы Марковская модель и модель проверки гипотез. В этом случае учитываются условные вероятности P_{kj} перехода состояния подсистемы или модуля из k -того (k -той ситуации) в j -й класс. Вероятность P_{kj} зависит от номера управляющей качеством работы модуля функции $f_{ki}(Y)$.

Если априори известны начальные вероятности $P_k(0)$ (или $P_k(t_0)$) принадлежности состояний модуля к соответствующим ситуациям (классам состояний), а также – условные вероятности перехода из одного класса в другой (из одного типа ситуаций в другой), то правило перехода также представлено в виде матрицы вероятностей

$$\|P_{kj}(\ell)\| = \begin{bmatrix} P_{11}(\ell) & P_{21}(\ell) & \dots & P_{k1}(\ell) & \dots & P_{n1}(\ell) \\ P_{12}(\ell) & P_{22}(\ell) & \dots & P_{k2}(\ell) & \dots & P_{n2}(\ell) \\ \vdots & & & & & \\ P_{1n}(\ell) & P_{2n}(\ell) & \dots & P_{kn}(\ell) & \dots & P_{nn}(\ell) \end{bmatrix}, \quad \text{где } \sum_{j=1}^n P_{kj}(\ell) = 1. \quad (7)$$

Используя совместно (6) и (7), получена многомерная матрица, с помощью которой можно определить вероятность пребывания модуля в любой из

допустимых ситуаций и в любом коммутационном канале – для каждого шага управления потоком входных воздействий и подконтрольным объектом или ЦНП, а в итоге – качеством работы системы.

При значительной априорной неопределенности относительно $\|P_{kj}(\ell)\|$ с помощью адаптивного алгоритма реализуется правило проверки гипотез, такое что

$$\{\hat{x}, \hat{a}, \hat{b}\} = \arg \min R(\hat{x}, \hat{a}, \hat{b}), \quad (8)$$

где \hat{x} - фрагмент потока входных воздействий (случайная последовательность воздействий); R - правило, критерий среднего риска; \hat{a} - оценка информативного параметра; \hat{b} - оценка неинформативного параметра.

При этом каждому x_v ставится в соответствие конечный набор решений γ_s , а адаптивная модель оптимизации процесса управления потоком входных воздействий использует критерий оптимальности

$$R'(\vec{a}) = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{N} \sum_{v=0}^N Q_v[x(v), \vec{a}], \quad (9)$$

где $Q[x, \vec{a}]$ - функционал вектора параметров $\vec{a} = \{a_j\}$, $j = \overline{1, n}$.

При этом учитывается, что функционал Q может изменяться на каждом v -том шаге (или в каждый момент времени t_v).

С целью упрощения управления потоком входных воздействий и соответственно поведением объектов и ЦНП, часть процедур обработки информации, обычно выполняемой подсистемой верхнего уровня, передана адаптивному модулю. Если в интервале $[t_j, t_j + \Delta t_j]$ последовательность сигналов $\{S_{jk}^{(r)}\}$ выделена из потока, её параметры $\{a_{rj}\}$ измерены, сформированы достаточные статистики, то это является предпосылкой (исходным материалом) для реализации процедур распознавания текущей ситуации, идентификации ситуаций и формирования новых ситуаций (эталонов), т.е.

$$\begin{cases} X_{\mathcal{E}_{jk}}^{(r)} = E_{\mathcal{E}_T}[\{\hat{a}_{jk}^{(r)}\}], \quad k = \overline{1, N}; \text{ эталон} \\ \hat{Z}_{T_i}^{(r)} = E_T^{(r)}[E_J^{(r)}(\hat{X}_{\mathcal{E}_{jk}}^{(r)})], \text{ ситуация, тип, класс} \end{cases} \quad (10)$$

где $X_{\mathcal{E}_{jk}}^{(r)}$ - описание эталона k -той ситуации для r -го объекта; $E_{\mathcal{E}_T}$ - оператор формирования эталона; $\hat{Z}_{T_i}^{(r)}$ - описание i -той штатной ситуации для r -го объекта; E_T - оператор идентификации (классификации) ситуаций, где ситуация определяется как множество понятий, на котором задана система бинарных отношений.

Система операторных уравнений (10) является основой модели управления, с помощью которой, прогнозируя развитие ситуаций, можно выбрать оптимальное решение из множества допустимых решений.

При этом, если в рамках функциональных возможностей адаптивного модуля решение не может быть принято, то формируется донесение верхней

страте ТМС и ожидается реакция (решение принимается на уровне ядра ТМС). Таким образом, метод реконфигурации адаптивного модуля заключается в формировании с учетом детерминированной и вероятностной матричных моделей правил управления (с помощью управляющих функций $f(Y)$) функциональной и структурной (например, при использовании ППЛИС) организацией адаптивных модулей, а при априорной неопределенности – использование итеративных правил оптимизации. Новые ситуации при этом могут быть сформированы с использованием (в качестве «надстройки») матрицы ситуаций локальных компонентов базы знаний на основе фреймовой структуры.

В четвертой главе диссертации рассматриваются вопросы информационной, алгоритмической и структурной организации адаптивного реконфигурируемого модуля, вариант его конструктивного исполнения (реальный практический вариант), результаты применения и испытания на объектах нефтегазовой отрасли.

Общая задача структурно-параметрического синтеза ФСО адаптивного модуля декомпозируется на четыре подзадачи: построения и функционирования измерительного блока, вычислительного блока, блока формирования, прогнозирования и идентификации ситуаций и блока управления реконфигурацией модуля (внутреннее управление и управления по командам удаленного доступа).

Реализация базового принципа построения ФСО измерительной части адаптивного модуля предполагает формирование достаточных статистик, обеспечивающих при максимальном сжатии первичной информации и минимизации средних информационных потерь, т.е.

$$\begin{cases} \{\hat{X}, \hat{A}\}_{opt} \Rightarrow \max_{\hat{a} \in \hat{A}} J(E_p, S); A = \{a_i\}, i = \overline{1, n}; \\ \max_{a \in A} J(E_p, S) \Rightarrow \min H(a / E_p), \end{cases} \quad (11)$$

где E_p - оператор преобразования сигналов от датчиков; X, A , – соответственно пространство воздействий и пространство параметров, H – энтропия (остаточная) после измерения и оценивания.

В этом случае оптимальное решающее правило

$$\gamma = \gamma[\{E_p\}] \quad (12)$$

зависит не от всей совокупности наблюдаемых X , а от небольшого множества достаточных статистик малой размерности, содержащих в сжатом виде всю доступную для принятия решений информацию. Экономия аппаратного, временного и функционального ресурса позволяет в этом случае высвободить его значительную часть для решения третьей и четвертой подзадач.

Решение третьей подзадачи предполагает распознавание и идентификацию локальных штатных и нештатных ситуаций на подконтрольных СДО и ЦНП и в прилегающей внешней среде – с целью сформировать поддержку принятия решения (или само решение) управляемому или управляющему звену, не дожидаясь обработки на интервале $[t_i, t_i + \Delta t_i]$ всех текущих данных первичного информационного поля.

Исходным моментом для формирования алгоритмов формирования, прогнозирования и идентификации ситуаций о текущем состоянии СДО и ЦНП является:

- целевая функция модуля и её функциональная поддержка;
- информационная модель на базе совокупности основных измерительных и операторных уравнений;
- архитектура связей (внутренних и внешних);
- закономерности и методики формирования и идентификации ситуаций.

Информационная модель адаптивного модуля приведена на рисунке 7, алгоритм распознавания и идентификации ситуаций показан на рисунке 8.

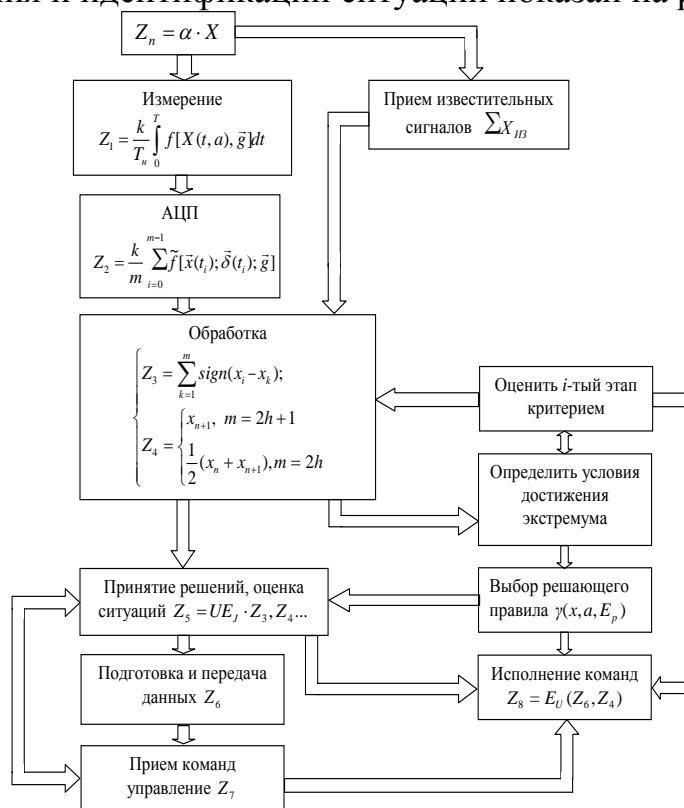


Рис. 7. Информационная модель адаптивного модуля

Ситуационное управление вытекает из модульной теории мышления, и при этом становится возможным в качестве алгоритмической поддержки использовать упрощенную базу знаний фреймовой структуры, где каждый из фреймов содержит минимально необходимую структурированную информацию, однозначно определяющую класс ситуаций на подконтрольном СДО или ЦНП. Система фреймов, отображаемая в памяти адаптивного модуля, используется и как структура для формирования стереотипных ситуаций, и как основа для прогнозирования новых ситуационных вариантов, а также – как информационная поддержка алгоритмов реконфигурации функционального и программного ресурсов модуля. При этом более перспективным является управление по ситуациям: первоначально используется матрица решения типа «строка- i -тая ситуация» и «столбец- k -тое решение».

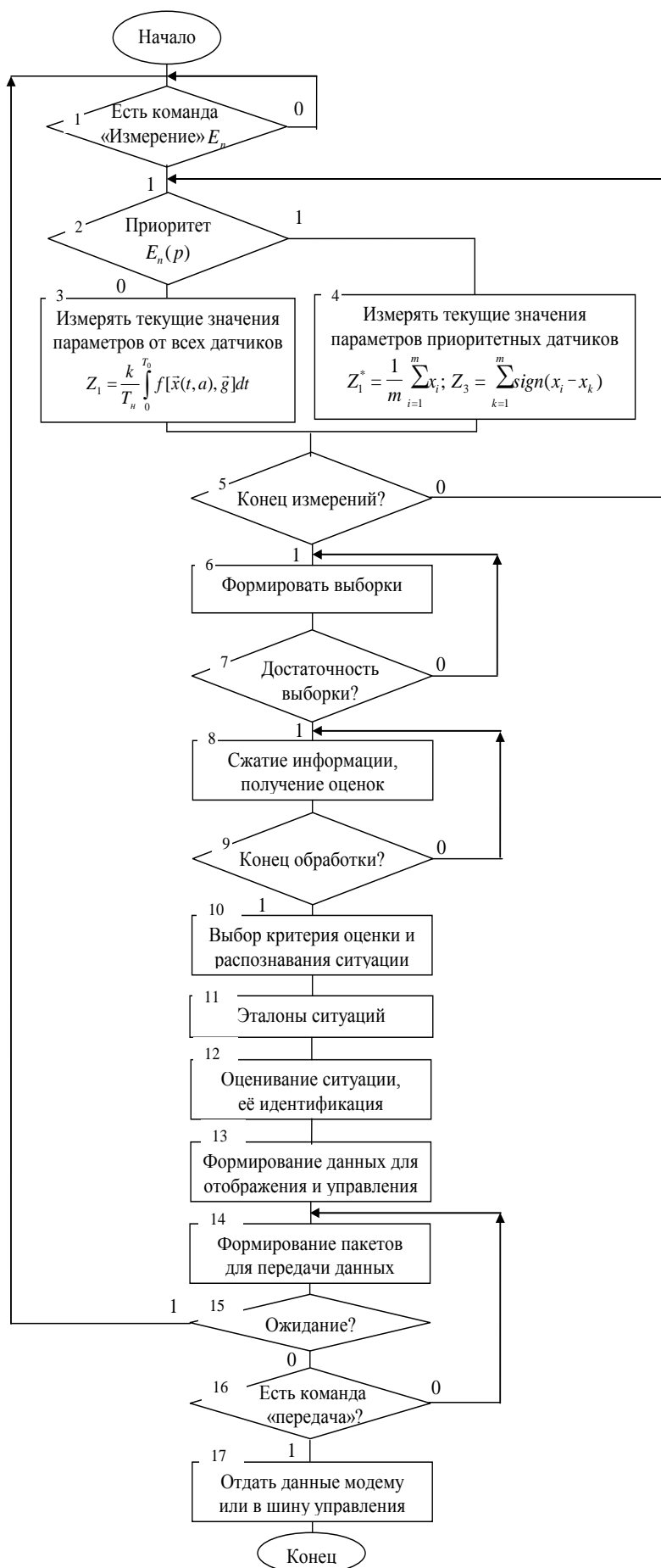


Рис. 8. Алгоритм работы адаптивного модуля ТМС

Алгоритм формирования и прогнозирования ситуаций приведен на рисунке 9.

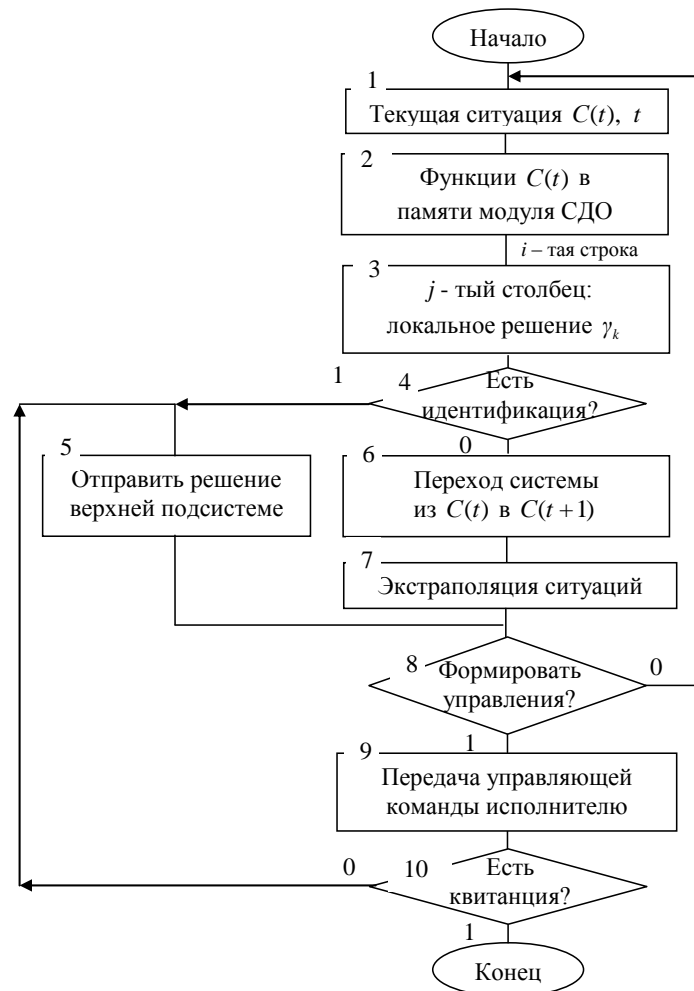


Рис. 9. Алгоритм формирования и прогнозирования ситуаций

Создание опытного образца, экспериментальные монтаж, настройка, пусконаладочные работы и испытания на работоспособность модуля проводились в рамках деятельности ООО «Каменский завод газоиспользующего оборудования» (КЗГО). Такое внедрение представлялось перспективным с точки зрения использования адаптивного модуля в составе территориально распределенного комплекса телеметрического мониторинга с элементами управляющего воздействия на подконтрольные ЦНП при многомерном многопараметрическом входном воздействии.

Результаты прямого моделирования показали снижение в среднем временных затрат более чем на 20%, уменьшение длительности и емкости предоставления трафика на 12-15%, расширение функциональных возможностей системы в целом путем реконфигурации СПО по удаленному доступу с локального диспетчерского поста (ЛДП, Калужская область), что подтверждено Актом о внедрении устройства. с последующим использованием результатов разработки в системах телеметрии ОАО «Газпром». Структурная схема адаптивного модуля приведена на рисунке 10. Структурная схема блока реконфигурирования – на рисунке 11.

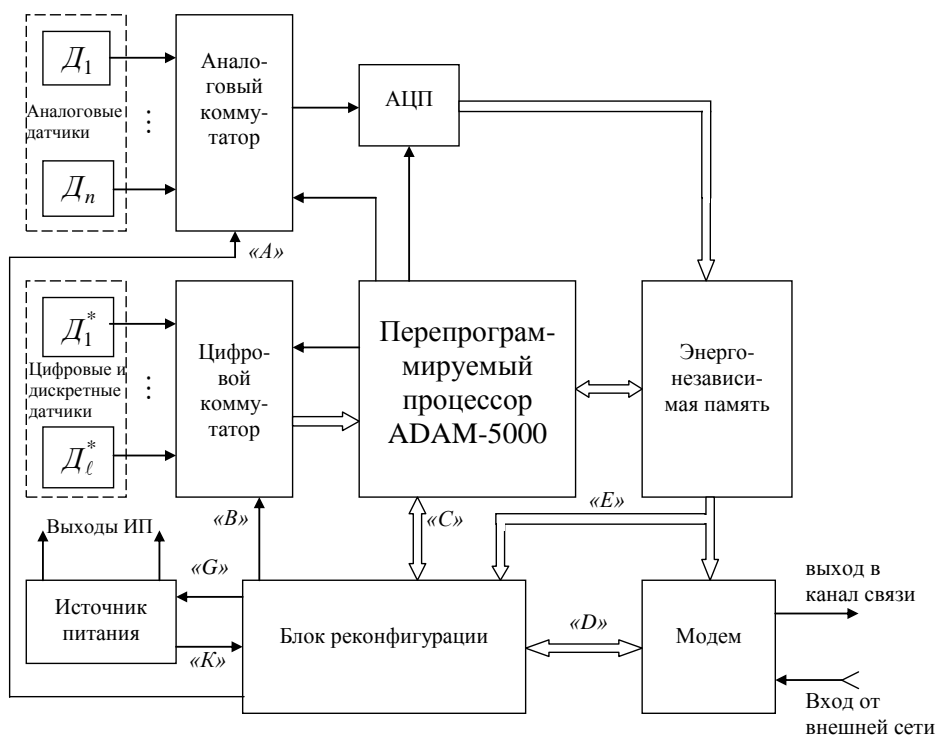


Рис. 10. Структурная схема адаптивного модуля

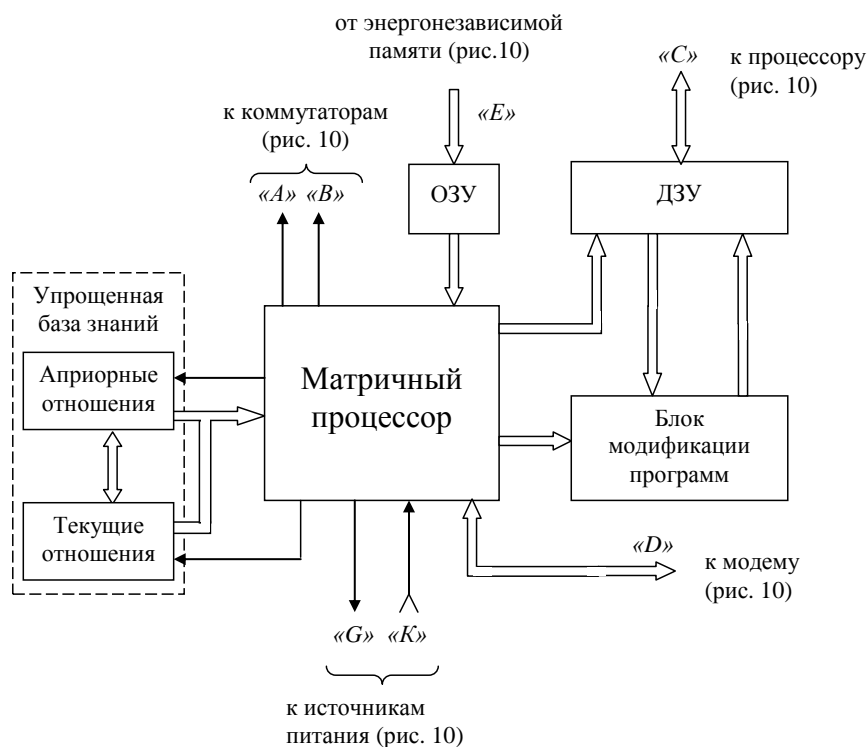


Рис. 11. Структурная схема блока аппаратно-программного реконфигурирования

Общий вид автономного реконфигурируемого модуля представлен на рисунке 12, периферийный блок сбора, обработки и управления – на рисунке 13.

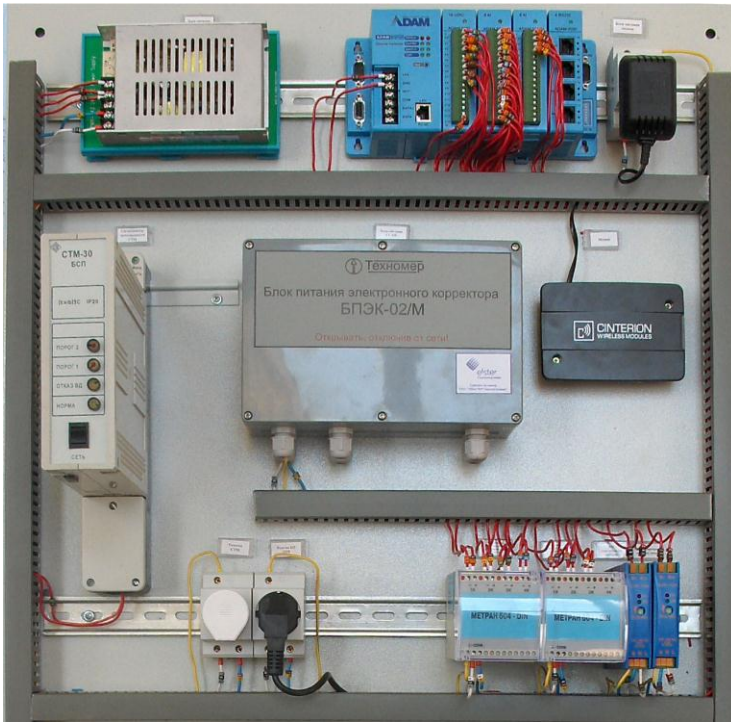


Рис. 12. Общий вид адаптивно реконфигурируемого модуля



Рис. 13. Периферийный блок сбора, обработки и управления

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

Диссертационная работа посвящена решению научно-технической задачи повышения эффективности функционирования ТМС и ИУС, содержащих территориально распределенные подсистемы нижнего уровня, формирующие первичное информационное и управляющее поле для этих систем в условиях получения больших и очень больших массивов текущих данных и при априорной неопределенности относительно свойств и характеристик потока входных воздействий.

В ходе решения данной задачи получены следующие основные результаты:

1. Проведен сравнительный анализ функционально-структурной организации существующих аппаратно-программных средств получения измерительной и формирования телеметрической информации о текущем состоянии и поведении ЦНП и СДО в технических системах различных отраслей народного хозяйства РФ.

2. Разработаны аналитические и системные модели получения, адаптивной обработки и преобразования первичной информации в периферийной подсистеме нижнего уровня территориально распределенных ТМС, ИУС и ИЛИС открытого типа с использованием как базовых модели потока входных воздействий, динамической модели состояний объектов, динамической модели наблюдений.

3. С использованием аналитических и системной модели получения и адаптивной обработки первичной информации в подсистеме ТМС разработан метод структурно-параметрического синтеза ФСО адаптивной территориально распределенной периферийной подсистемы ТМС, технологической особенностью которой является поэтапное вложение моделей потока входных воздействий,

ДМС, ДМН и системных моделей получения и адаптивной обработки информации в периферийной подсистеме нижнего уровня ТМС.

4. Разработан метод структурно-параметрической реконфигурации адаптивного модуля периферийной подсистемы ТМС как её типового функционального компонента, управляемого по удаленному доступу, отличием которого является использование упрощенной фреймовой организации базы знаний при принятии решений на основе получения достоверной сжатой апостериорной информации о состоянии и поведении СДО и ЦНП.

5. Разработаны алгоритмы обработки информации и ситуационного управления адаптивным реконфигурируемым модулем периферийной территориально распределенной подсистемы ТМС.

6. Разработано и испытано в реальных условиях устройство для работы в составе периферийной подсистемы ТМС. Использование его аппаратной реализации (подана заявка на полезную модель) на базе перепрограммируемого микроконтроллера ADAM-5000 с его периферией (ADAM-5050, ADAM-5017H, ADAM-5090) показала работоспособность методов и алгоритмов, разработанных в процессе решения научной задачи. По сравнению с существующими средствами предложенное устройство позволяет сократить время на информационное обеспечение пользователя, снизить затраты на трафик, расширить функциональные возможности ТМС, а также снизить вероятность развития опасных ситуаций.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в рецензируемых научных журналах

1. Говорухина, Т.Н. Математические модели многошаговых процессов предобработки данных автономными сетевыми измерительными модулями [Текст] / Т.Н. Говорухина, О.А. Терехова // Известия Юго-Западного государственного университета. - 2012. - №2 (4). - Часть 1. - С. 57-60.

2. Говорухина, Т.Н. Стохастическая и адаптивная модели целенаправленных процессов коммутации сигналов в информационном поле измерительно-вычислительных систем [Текст] / А.А. Бурмака, Т.Н. Говорухина, А.В. Левченко, И.В. Фишер // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. – 2012. - Том 11. - №3. – С.701-704

3. Говорухина, Т.Н. Информационно-логическая измерительная система с нечетким множеством состояний [Текст] / А.А. Бурмака, Т.Н. Говорухина // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение.- 2012. - №2. - Часть 3. - С. 134-138

4. Говорухина, Т.Н. Модели и алгоритмы оценивания информативности признаков коммутируемых сигналов в многоканальной информационно-логической системе [Текст] / Т.Н. Говорухина, Н.А. Корневский, О.А. Терехова // Вестник компьютерных и информационных технологий. - 2013. - № 6. - С. 24 - 27.

5. Говорухина, Т.Н. Модели подсистем и целенаправленных процессов, реализуемых в информационно-логических измерительных системах распределенного типа [Текст] / А.А. Бурмака, Н.А. Корневский, Т.Н. Говорухина, О.А. Терехова // Телекоммуникации. – 2013. - №8. – С.8-12.

Научные работы в других изданиях

6. Говорухина, Т.Н. Формирование целевой и основных функций сбора и обработки информации, доставляемой автономными периферийными аппаратно-программными модулями [Текст] / Т.Н. Говорухина // Биомедицинские и технические системы: анализ, проектирование, управление: сборник материалов II Студенческой региональной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С.73-76.
7. Говорухина, Т.Н. Аналитические модели функционирования автономного сетевого измерительного модуля территориально распределенных ИИС [Текст] / Т.Н. Говорухина // Медико-экологические информационные технологии – 2012: сборник материалов XV международной научно-технической конференции – Курск: ЮЗГУ, 2012. – С. 25-30.
8. Говорухина, Т.Н. Методика построения имитационных моделей защиты информации в каналах передачи данных больших информационно-логических измерительных систем [Текст] / Т.Н. Говорухина // Прикладная математика, управление и информатика: сборник трудов Международной молодежной конференции – Белгород, 2012 – Том 2. – 361-364.
9. Говорухина, Т.Н. Принципы функционально-структурной организации адаптивного реконфигурируемого модуля в распределенных информационно-измерительных сетях [Текст] / А.А. Бурмака, Т.Н. Говорухина // Интегративные процессы в науке- 2013: материалы международной научно-практической конференции. – Москва, 2013. – 44-48.
10. Говорухина, Т.Н. Автономный реконфигурируемый модуль предобработки информации в произвольных сетях формирования поддержки принятия решений [Текст] / А.А. Бурмака, Т.Н. Говорухина, О.А. Терехова // Интегративные процессы в науке- 2013: материалы международной научно-практической конференции – Москва, 2013. – 60-64.
11. Говорухина, Т.Н. Организация целенаправленного информационного процесса в произвольной территориально распределенной сети информационно-логической измерительной системы [Текст] / О.А. Бурмака, Т.Н. Говорухина // Образование и наука: современное состояние и перспективы развития: материалы международной научно-практической конференции-Тамбов, 2013.-Ч.10. – С.21-22.
12. Говорухина, Т.Н. Основные принципы ситуационного управления большими системами [Текст] / Т.Н. Говорухина // Биомедицинские и технические системы: анализ, проектирование, управление: сборник материалов III студенческой региональной научно-технической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2013. – С.27-30.
13. Говорухина, Т.Н. Обработка биомедицинских сигналов с использованием методов рангового анализа на сигнальных процессорах [Текст] / В.Н. Снопков, Т.Н. Говорухина, В.В. Стародубцева // Медико-экологические информационные технологии – 2013: сборник материалов XVI Международной научно-технической конференции – Курск: ЮЗГУ, 2013. – С.133-143.
14. Говорухина, Т.Н. Перспективные тенденции развития информационно-измерительных систем [Текст] / Новината за напреднали наука – 2013. Математика: материали за IX международна научна практична конференция. – София, 2013 - Т. 53. – 25-28.