

УДК 004.05: 004.7: 004.9

В.И. ФрейманПермский национальный исследовательский политехнический университет,
Пермь, Россия

К ВОПРОСУ О ПРОЕКТИРОВАНИИ И РЕАЛИЗАЦИИ ЭЛЕМЕНТОВ И УСТРОЙСТВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ

Объектом исследования в данной статье выбран класс систем управления – распределенные информационно-управляющие системы, которые используются для обеспечения широкого спектра технологических систем. Цель данной статьи – разработка и анализ подходов к построению и реализации элементов распределенных информационно-управляющих систем. Рассматривая как норматив Государственную систему промышленных приборов и средств автоматизации и управления, предлагается представлять такие системы как совокупность подсистемы автоматизации и управления и подсистемы сбора, передачи и распределения информации. Для каждой подсистемы рассмотрены особенности ее функционирования, способов и технологий реализации, приведены примеры. Выполнена детализация функциональности элементов каждой из выделенных подсистем. Определены объект и предмет исследования данной статьи. Разработаны и проанализированы компонентная и коммуникационная модели указанных подсистем, указаны их сходства и отличия. Это позволило предложить общие подходы к обеспечению показателей и характеристик их основных элементов. Представлена типовая структура распределенной информационно-управляющей системы, выделены объекты управления и контроля, проанализированы процессы сбора, передачи и распределения информации между устройствами разного уровня администрирования. Выполнен анализ способов построения элементов систем управления, сформулированы требования к их практической реализации, а также сформулирован подход к обеспечению заданных эксплуатационно-технических показателей элементов систем управления. Он основан на применении методов технической диагностики, способов повышения достоверности передачи данных и алгоритмов принятия решения по результатам обработки диагностической информации. Выполнена формальная постановка задачи обеспечения количественных и качественных показателей элементов систем управления (надежности, контролепригодности, достоверности). Представлены результаты внедрения предложенных подходов, намечены пути дальнейших исследований.

Ключевые слова: распределенные информационно-управляющие системы, элементы и устройства, модель, автоматизация, инфокоммуникации, диагностирование, достоверность.

V.I. Freyman

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

TO THE QUESTION ABOUT DESIGN AND REALIZATION OF ELEMENTS AND DEVICES FOR DISTRIBUTED INDUSTRIAL CONTROL SYSTEMS

The research object of this paper is distributed industrial control systems – one class of control systems that used for supporting for broad spectrum of technical systems. The purpose of this paper is design and analysis of approaches for creating and realization of distributed industrial control systems elements. According to State system industrial devices and automation tools requirements such systems can be considered as a complex of automation and control subsystem and collection, transmission and distribution subsystem. For each subsystem a features of functioning and realization methods are considered, examples are shown. The specification of elements functioning for each form subsystems is performed. The object and subject of research for this paper are defined. The component and communication models of subsystems are created and analyzed and their similarities and differences are indicated. It allowed suggesting the common approaches to providing parameters and characteristics of its basic elements. The typical structure of the distributed information and control system is presented, the objects of management and control are highlighted, the processes of collecting, transmitting and distributing information between devices of different levels of administration are analyzed. The analysis of design methods of control systems elements is done; the requirements for their practical realization are formulated. The approach to providing of preset operation and technical indicators of control systems elements. It based on using technical diagnostics methods, ways to improve the reliability of data transmission and decision-making algorithms for the results of processing diagnostic information. A formal formulation of the problem of ensuring the quantitative and qualitative indicators (reliability, testability, transmission reliability) of the control systems elements has been completed. The results of implementation of offered approaches are shown; the directions of next research are defined.

Keywords: distributed industrial control systems, elements and devices, model, automation, info communications, diagnosing, reliability.

Введение. Для современных экономико-политических условий характерен переход промышленности России на разработку и выпуск высокотехнологичного оборудования различного назначения в рамках процесса импортозамещения. Такая аппаратура эффективно и обоснованно используется как программно-техническая основа распределенных информационно-управляющих систем (РИУС, DICS – Distributed Industrial Control Systems) [1], которые обслуживают объекты так называемой «критической инфраструктуры»: транспорт и энергетику, добычу и переработку полезных ископаемых, коммуникации, системы жизнеобеспечения, обороны и безопасность и т.д. Для успешного решения указанными технологическими системами своих профильных задач необходимо, чтобы они строились на надежно и эффективно функционирующих компонентах, элементах и устройствах систем управления [2].

Для построения и реализации РИУС, которые представляют собой многофункциональные, гетерогенные и мультивендорные технические системы, необходимо использовать передовые научно-технические достижения в области информационных и телекоммуникационных технологий, элементной базы, автоматизации и т.д. [3] Функциональные компоненты РИУС, отвечающие самым высоким требованиям к своим качественным и эксплуатационным характеристикам, являются при этом основным инструментом для обеспечения заданного качества управления соответствующими технологическими объектами, процессами и системами [4]. При этом важно разрешить следующее противоречие, которое заключается в сохранении паритета между усложнением объектов, описывающих их моделей, методов и средств диагностирования и обеспечением их практически реализуемой эффективности, достоверности, точности, затратам ресурсов и т.п.

Целью данной статьи является анализ подходов к построению РИУС, их элементов и устройств, а также способов и средств повышения их эксплуатационно-технических характеристик. Для этого будут решены следующие задачи:

1. Анализ общих принципов построения и функционирования РИУС, задание ее элементной структуры в соответствии с ГСП.
2. Разработка моделей представления РИУС на компонентном и коммуникационном уровнях.
3. Анализ способов реализации элементов и устройств РИУС.
4. Обоснование выбора подходов к повышению эксплуатационно-технических показателей элементов и устройств РИУС.

Предложенные в статье подходы нашли практическое применение в разработанных при непосредственном участии автора системах управления, мониторинга и диагностирования многофункциональных компонентов РИУС технологическими объектами широкого спектра применения [5].

1. Анализ принципов построения, архитектуры и структуры РИУС. Предприятия и организации различных отраслей промышленности и экономики, вне зависимости от формы собственности, масштаба и профиля, реализуют и сопровождают широкий спектр основных и вспомогательных организационно-технологических процессов [6]. Они характеризуются значительным количеством субъектов, этапов, организационных и технических взаимодействующих компонен-

тов. Для описания алгоритмов взаимодействия предлагается рассматривать *нижний* и *верхний* уровни для обмена информацией. Нижний уровень реализует процедуры сбора, обработки и распределения *технологической информации*, которая необходима для организации соответствующих процессов, а верхний уровень решает задачи *контроля и администрирования* их работы. Приведем примеры функциональных элементов технологических подсистем для разных отраслей производства и экономики:

– промышленность: оборудование автоматизации технологических процессов и производств, управления предприятием; технологических сетей связи, систем безопасности и т.п.;

– отрасль добычи и переработки полезных ископаемых: датчики и исполнительные механизмы, оборудование блокировки, технологическая связь, аппаратура систем обеспечения безопасности и разграничения доступа и т.п.;

– транспорт (в частности, железная дорога): аппаратура оперативно-технологической и общетехнологической связи, оборудование контроля, управления безопасностью (сигнализация, централизация, блокировка), организация работы функциональных подразделений и служб и т.п.;

– телекоммуникации: терминальное и коммутационное оборудование, аппаратура, СКС (структурированные кабельные системы), оборудование сетей доступа и транспортных систем связи и т.п.

В рамках любого технологического процесса требуются организация и сопровождение *информационного взаимодействия* его участников [7]. Поэтому от показателей эффективности (быстродействие, надежность, достоверность и т.д.) информационного обмена зависят количественные и качественные характеристики самой деятельности современного предприятия и организации. Их обеспечивает эффективная и надежная *аппаратно-программная платформа* [8].

Выполняя требования ГСП (Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации), в структуре РИУС выделяют основные *элементы – преобразователи информации* (ПИ), которые отвечают за получение, передачу, обработку или хранение, использование информации. Их функции реализуют: измерительные преобразователи (ИП); исполнительные механизмы (ИМ); устройства сбора, передачи и распределения информации (цифровая коммутация –

ЦК и передача данных – ПД); локального управления – УЛУ и централизованного управления – УЦУ; удаленного администрирования – УУА и т.д.). На рис. 1 представлены предложенная элементная структура (функции преобразования информации) и соответствующая ей компонентная структура (устройства) РИУС.

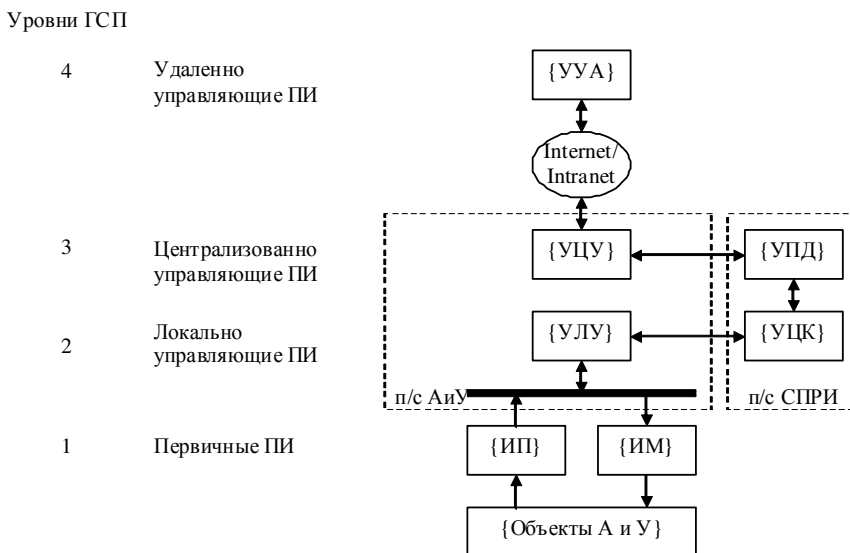


Рис. 1. Структура РИУС

В структуре РИУС выделяются:

1. *Подсистема автоматизации и управления (АиУ)*, которая обслуживает соответствующие технологические процессы;

2. *Подсистема сбора, передачи и распределения информации (СПРИ)*, которая отвечает за обмен технологической, управляющей и диагностической информацией [5].

Для описания информационного взаимодействия между субъектами технологического процесса можно выделить следующие основные процессы:

- *управление*: настройка конфигурации объектов;
- *мониторинг* (или *контроль*): сбор данных описания технического состояния объектов;
- *диагностирование* (или *проверка*): поиск неисправных компонентов;
- *измерение*: сбор данных о параметрах и характеристиках контролируемых объектов.

Для эффективности процедур информационного взаимодействия необходимо обеспечить:

- возможность передачи больших объемов данных;
- передачу информации различных типов (данные, голос, видео, мультимедиа);
- высокую надежность и достоверность;
- адекватность и наглядность представления информации для соответствующих уровней элементной и компонентной моделей (см. рис. 1) и т.п.

Информационное взаимодействие обеспечивается *программно-технической платформой*, которая в зависимости от задач реализуется *системами автоматизации и управления (САУ)* [7, 9] и *инфокоммуникационными сетями (ИКС)* [10, 11].

Управляющая надстройка (УН) в САУ представляет реализацию варианта *автоматизированных систем (АСУ)*, а именно: систем управления технологическими процессами (АСУТП), управления предприятием (АСУП), сбора данных и диспетчерского управления (SCADA), многофункциональных систем телемеханики (МСТМ), распределенных информационно-управляющих систем (Distributed Control Systems), систем организации и проведения научных исследований (АСНИ) и т.д. (рис. 2).

Такие системы решают задачи управления технологическими процессами и производствами промышленности и в других областях, которые можно описать как «объекты критической инфраструктуры народного хозяйства» (транспорт, энергетика, системы жизнеобеспечения и т.п.). Значимость управления такими процессами, многие из которых описываются моделями «систем реального времени», требует повышенных показателей быстродействия, отказоустойчивости, ремонтпригодности и других характеристики качества, эффективности и надежности технических систем.

Инфокоммуникационные системы названы как результат интеграции и конвергенции ИНФОРМАЦИОННЫХ и телеКОММУНИКАЦИОННЫХ технологий. В их составе выделяют *сети передачи данных* (вычислительные сети – локальные (Ethernet), глобальные (Интернет), беспроводные (MANET, WLAN, Wi-Fi) и т.д.) и *телекоммуникационные сети* мультисервисного доступа (телевидение, телефония, радиовещание, мультимедиа и т.п.) [10] (рис. 3).

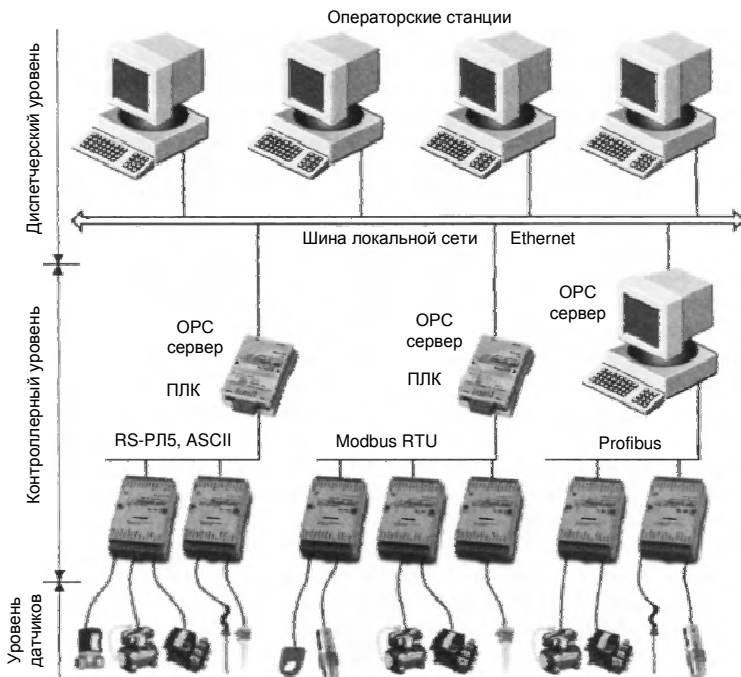


Рис. 2. Один из вариантов реализации системы автоматизации и управления [1]

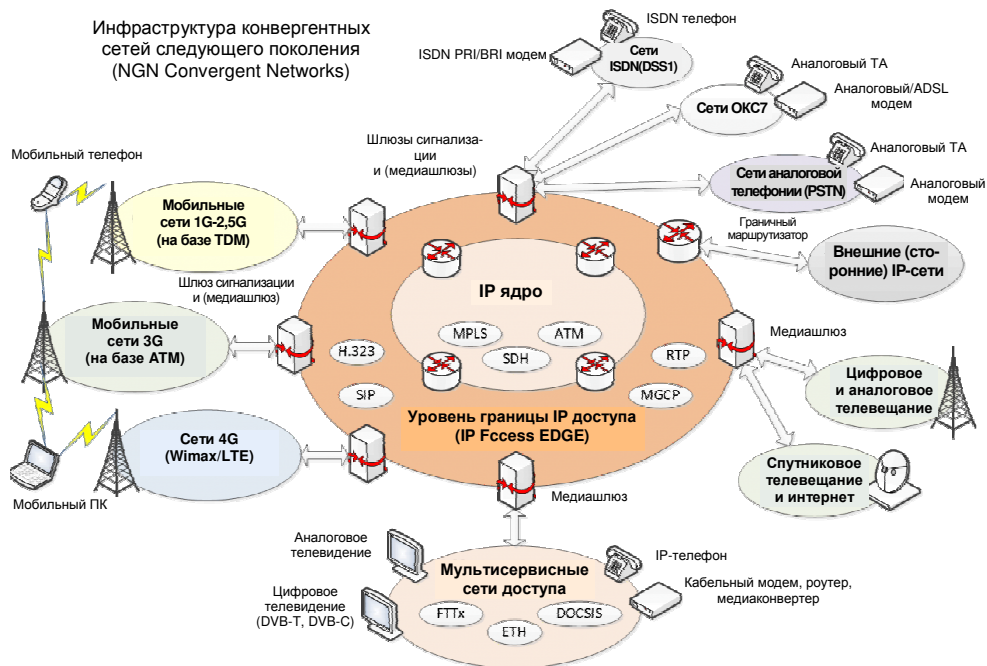


Рис. 3. Инфокоммуникационная сеть связи «следующего поколения» (NGN)

Для контроля ИКС используются *системы управления и мониторинга (СУМ)*. Требования, которые предъявляются к показателям и характеристикам СУМ ИКС, определяются необходимостью обеспечения доступности услуг и достоверностью передачи информации [11].

2. Разработка и исследование моделей распределенных информационно-управляющих систем на разных уровнях модели их представления. Далее предлагается 4-уровневая *компонентная модель* средств управления разными подсистемами РИУС, которая позволяет построить и реализовать общие подходы к описанию систем управления (СУ) (табл. 1):

- 1-й уровень – первичные ПИ (измерения, мониторинг, управление, контроль);
- 2-й уровень – вторичные ПИ (локальное и местное управление);
- 3-й уровень – устройства локального управления (на уровне предприятия или сети);
- 4-й уровень – устройства сетевого управления (корпоративные распределенные системы доступа к информации).

Таблица 1

Компонентная модель УН п/с АиУ и СУМ п/с СПРИ

№ п/п	УН п/с АиУ	№ п/п	СУМ п/с СПРИ
1	Исполнительные механизмы, измерительные преобразователи	1	Терминальная аппаратура, платы канальных оконечаний, функциональные модули
2	Программируемые логические контроллеры, промышленные компьютеры	2	Платы управления и мониторинга (УМ), контроля и сигнализации (КС) для коммуникационной аппаратуры, устройства связи с объектом контроля (УСО)
3	Пульты диспетчера, программное обеспечение оператора (SCADA)	3	Пульт оператора СУМ производителя (предприятия, организации)
4	СУ базами данных (СУБД), организация удаленного доступа к ресурсам (Web)	4	Менеджер мультивендорной интегрированной СУМ

В табл. 2 приведена *коммуникационная модель*, которая построена по результатам сравнительного анализа *протоколов и интерфейсов* взаимодействия между устройствами, соответствующими уровням

введенной выше компонентной модели. Можно утверждать, что существенно отличаются протоколы нижнего уровня взаимодействия (между первичными и вторичными информационными преобразователями), поскольку именно на процедуры обмена информацией между ними оказывает влияние специфика решаемых профильных задач и применяемых технологий взаимодействия. Протоколы и интерфейсы вышележащих уровней используются для передачи, обработки и распределения данных, поэтому в разных типах систем управления они аналогичны.

Таблица 2

Коммуникационная модель УН п/с АиУ и СУМ п/с СПРИ

УН п/с АиУ		СУМ п/с СПРИ	
1–2	Промышленные сети (Fieldbus, CAN, LON, Modbus, Profibus, Industrial Ethernet)	1–2	Сервисные каналы (встроенные в структуру кадра данных или выделенные из СУ)
2–3	ЛВС (Intranet, Ethernet, HDLC, TCP/IP)	2–3	Протоколы и интерфейсы СУ (Ethernet, HDLC, TCP/IP)
3–4	Интернет, СУБД, протоколы управления (SNMP)	3–4	Интернет, СУБД, технологии управления (CORBA, CMIP)

Доказанная адекватность моделей СУ для разных подсистем РИУС дает возможность сформулировать общие свойства и признаки, а далее построить обобщенную модель РИУС со следующими свойствами (рис. 4) [12]:

- диагностические модели объектов диагностирования (контроль технического состояния и правильности функционирования);
- коммуникационные протоколы (телекоммуникации, передача данных);
- способы и интерфейсы взаимодействия объектов по схеме «агент–менеджер»;
- топологии и архитектуры сети передачи данных.

Рассмотрим алгоритм взаимодействия основных элементов типовой РИУС.

Информация от объектов автоматизации передается по следующей схеме: *первичные информационные преобразователи (ПИП)* ⇒ *программируемые логические контроллеры (ПЛК)* ⇒ *аппаратура сетей передачи данных (АПД)* ⇒ *программное обеспечение верхнего уровня (SCADA)*. Аналогично осуществляется передача в обратную сторону.

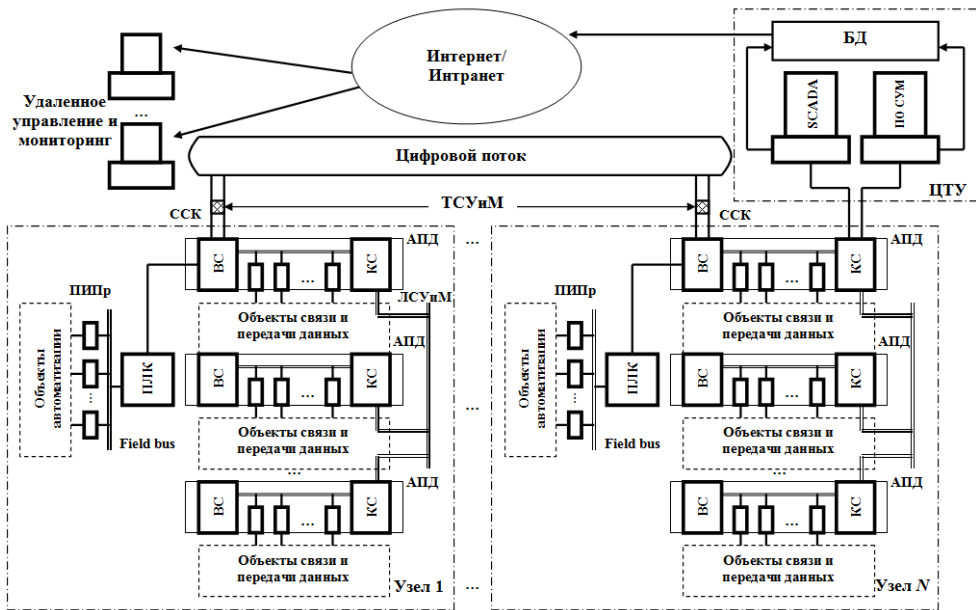


Рис. 4. Обобщенная модель РИУС

Информация от объектов связи и передачи данных передается по следующей схеме: устройства контроля и сигнализации (КС) ⇒ локальная сеть управления и мониторинга (ЛСУиМ) ⇒ служебный сервисный канал (ССК) транспортной сети управления и мониторинга (ТСУиМ) ⇒ программное обеспечение менеджера системы управления и мониторинга (ПО СУМ). Аналогично – в обратную сторону.

Агрегированная информация хранится в базе данных (БД), к которой может быть организован удаленный доступ через глобальную сеть (Интернет) или локальную сеть (Инtranет) для работы удаленных администраторов или операторов. Система диагностирования реализуется отдельно или интегрируется в ПО СУМ.

Достоинства распределенной структуры СУ:

- унификация компонентов СУ и, как следствие, снижение стоимости;
- повышение надежности за счет использования избыточности, отказоустойчивых топологий и эффективных способов диагностирования [13];
- расширяемость и масштабируемость системы как результат регулярности иерархической структуры и стандартизированных коммуникационных протоколов [14];

– уменьшение трудоемкости процедур установки, настройки и сопровождения, которое основано на активном применении специализированного ПО [15, 16];

– увеличение быстродействия и уменьшение задержек за счет использования современных высокоскоростных технологий передачи и обработки данных [17].

Объекты исследования – элементы и устройства РИУС как первичные и вторичные информационные преобразователи расширенной функциональности и высокой сложности. Для них характерно: расширение масштабов территориального охвата (*распределенность*), применение оборудования различных цифровых технологий (*гетерогенность*), появление на рынке большого числа производителей (*мультивендорность*). При этом высокое качество и надежность функционирования сложных информационных систем обеспечиваются решением актуальных задач эффективного управления, контроля и диагностики и отдельных элементов, и всей системы управления.

Современные СУ представляют собой информационно-вычислительные сети (ИВС) разнообразных архитектур, топологий и протоколов каналов передачи данных, построенные на передовых инфокоммуникационных технологиях. Поэтому *предметом исследования* являются *модели, методы и средства контроля и оценивания качественных и эксплуатационных показателей элементов и устройств РИУС*. Реализованное на их основе информационное и аппаратурно-программное обеспечение элементов РИУС позволяет выполнить заданные требования по количественным и качественным показателям обслуживаемых ими технологических процессов, систем и объектов.

3. Анализ способов реализации и функциональности элементов и устройств РИУС. Для того чтобы решать задачи анализа функциональности и вариантов реализации, представим элементы и устройства РИУС на двух уровнях рассмотрения:

- *логический* (формируется перечнем реализуемых функций);
- *физический* (формируется вариантами аппаратурно-программной реализации).

Основные функции, выполняемые элементами СУ, – *агент* и *менеджер* (отметим, что на разных уровнях системы управления один и тот же компонент может выполнять обе указанные функции). В дополнение к изложенному уточним, что элемент может выполнять

обобщенную функцию *медиатора* (посредника), осуществляющего различные преобразования (форматов данных, протоколов и интерфейсов, маршрутов и т.д.).

Физическая (аппаратурная) реализация элементов СУ, учитывающая их функциональность, представляется следующими типами *технических устройств* [5]:

- *модули* в структуре плат блока (аппаратуры, оборудования);
- *платы* в структуре блока;
- *блоки* (оборудование, в том числе вспомогательное: сетевое, коммутационное, диагностическое, метрологические и т.п.),
- *устройства* управления (персональные или промышленные компьютеры со специализированным ПО СУМ, серверы БД, промышленные и веб-серверы и т.п.).

В каждом из указанных устройств *функции* элементов РИУС реализуются:

- *программно* (функции в системном или прикладном ПО, к примеру, служба агента SNMP в операционных системах Microsoft Windows);
- как *встроенные* – на аппаратурно-программном уровне (специализированные модули, например, сетевые, аудио- и видео-платы в персональном и промышленном компьютере и т.п.);
- как *выделенные* – на аппаратурно-программном уровне (функциональные модули в составе устройства или плат блока; платы КС и УМ в составе аппаратуры; блоки (устройство сервисного обслуживания, связи с объектом – УСО); программируемые логические контроллеры (ПЛК) в структуре подсистемы автоматизации и управления и т.д.).

Отметим, что диагностика элементов СУ первых двух способов реализации в достаточной степени подробно проработана (в частности, речь идет об интегрированных функциях и командах в структуре системного ПО операционных систем современной вычислительной техники, о методиках применения измерительных приборов и т.п.), поэтому актуальной остается задача диагностирования именно *выделенных* элементов СУ. На основе предложенного подхода к анализу элементов СУ построена *обобщенная структурная схема* для трех уровней иерархии: «менеджер–медиатор–агент» (рис. 5). Она достаточно часто применяется на практике и для управляющей надстройки п/с АиУ, и для систем управления п/с СПРИ в РИУС, поэтому может быть рассмотрена как пример типовой схемы СУ.

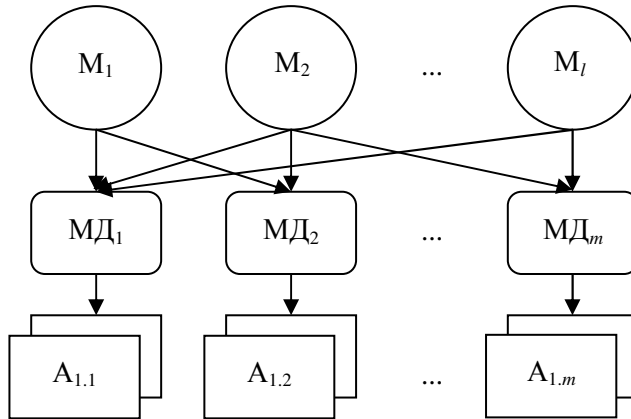


Рис. 5. Обобщенная схема взаимодействия элементов СУ

Укажем основные задачи элементов СУ для соответствующих уровней иерархии:

- агент А (в модуле платы): реализует процедуры сбора, обработки, формирования и промежуточного хранения сообщений о неисправностях для обслуживаемых (контролируемых) им физических и логических информационных структур (портов, интерфейсов, потоков, каналов и т.д.), а также поддержки коммуникационных протоколов обмена по внутриблочной магистрали;

- медиатор/агент (в составе платы контроля и сигнализации): выполняет функции сбора, обработки и хранения диагностической и управляющей информации по всем контролируемым платам блока, а также поддержки протоколов взаимодействия с медиатором СУ;

- медиатор МД (как функция в одном из агентов или как специализированное устройство): осуществляет прием, формирование и распределение потоков управляющей и диагностической информации между агентами и менеджерами систем управления, а также поддержку коммуникационных протоколов взаимодействия с сетевыми элементами и менеджерами СУ;

- менеджер М (устройство управления): реализует сбор, хранение и представление информации (заполнение БД оборудования, отчетов тревог, статистики и системных «логов», контроль и управление доступом к ресурсам, представление информации на карте сети и т.д.), а также поддержку протоколов взаимодействия с сетевыми элементами, медиаторами и другими менеджерами системы управления (в том числе других СУ).

4. Способы обеспечения качественных и эксплуатационных показателей элементов и устройств РИУС. Основной эксплуатационно-технический показатель надежности для СУ и ее элементов – *коэффициент готовности*, который показывает вероятность того, что в произвольный момент времени объект будет исправен (работоспособен, функционирует правильно). Коэффициент готовности определяется через показатели *безотказности* (характеристики оборудования или топологии связей) и показатели *восстанавливаемости* (эффективность процессов обнаружения неисправностей и ликвидации последствий их проявления) [18].

Для *восстановления* исправного и/или работоспособного состояния, которое связано с обнаружением и устранением проявлений дефектов, аварий и неисправностей, эффективно используются *системы диагностирования* (система, выделенная или встроенная в систему управления и мониторинга). Важное значение имеет использование в ее структуре методов и алгоритмов *тестового диагностирования*, которые уменьшают время поиска и повышают точность детализации места и характера неисправности. Это приводит к улучшению показателей восстановления (интенсивности, среднего времени и т.д.) и, как следствие, и коэффициента готовности.

Поскольку элементы СУ усложняются, то требования к качеству их проектирования, изготовления и эффективности применения постоянно растут. Чтобы выполнять указанные требования, активно применяются автоматизация проектирования, контроль качества производственных операций и т.д. Высокая производительность, сложность, стоимость, а также широкая функциональность и мультисервисность, оборудования обуславливают существенные потери при простое из-за аварий или неэффективно организованной эксплуатации [5]. Поэтому большое внимание уделяется совершенствованию процедур диагностирования качества проектов и изготовления изделий. Наука, решающая указанные вопросы, называется *технической диагностикой* [19].

Качество решения задач *технической диагностики* на этапах изготовления, внедрения и сопровождения оборудования определяет надежность функционирования, а также другие существенные количественные эксплуатационно-технические показатели устройств РИУС. Эффективность их функционирования в существенной степени определяется показателями достоверности передачи информации, которая обрабатывается в цифровых устройствах РИУС.

Диагностика технического состояния устройств и соединений между ними является одним из ответственных этапов технологического процесса создания и наладки современной радиоэлектронной аппаратуры. Решение указанных задач возложено на *автоматизированные системы технического диагностирования* (АСТД). При эксплуатации или регламентных работах для проверки правильности функционирования узлов (модулей, плат, блоков, изделий) используется АСТД, интегрированная в структуру *системой управления и мониторинга* (СУМ). Такая система дает возможность вместе с *функциональным контролем* текущих рабочих характеристик и параметров выполнять и *тестовое диагностирование*. Увеличение объема и сложности элементного базиса устройств СУ привело к тому, что стоимость производственной диагностики и эксплуатационного мониторинга такого оборудования стала сопоставима со стоимостью контролируемой аппаратуры, а в некоторых случаях даже превосходить ее. Усложнение структуры и расширение функциональности современной вычислительной техники и аппаратуры систем управления делают процесс обнаружения и поиска дефектов всё более трудоемким, что требует постоянного повышения уровня автоматизации и эффективности процедур диагностирования.

Для улучшения показателей безотказности и восстанавливаемости оборудования РИУС также необходимо повышать *достоверность передачи* управляющей, контролирующей и диагностической информации. Это обусловлено улучшением надежности (правильности) принятия решений по управлению и диагностике, что позитивно отражается на функционировании СУ и ее элементов.

Для СУ, которые могут рассматриваться как системы передачи информации, всегда актуальна проблема повышения *помехоустойчивости* как инструмента для обеспечения заданной достоверности принятой информации на фоне действия помех различной формы в каналах и трактах передачи данных. В зависимости от конфигурации и способов взаимодействия элементов СУ укажем два основных способа повышения помехоустойчивости [20].

Первый способ основан на применении *помехоустойчивого кодирования*, в котором реализуются алгоритмы *исправления* ошибок (forward error correction – FEC). Этот подход характерен для однонаправленных или сильно зашумленных каналов и трактов передачи, а также для систем хранения информации [21].

Второй способ основан на применении обратной связи (ОС) для управления потоком данных. При этом в прямом и обратном каналах связи применяются помехоустойчивые коды, *обнаруживающие* ошибки [14].

Передача управляющей и диагностической информации между устройствами РИУС осуществляется по стандартизированным протоколам, имеющим, как правило, *встроенные* средства повышения достоверности, основанные на избыточном кодировании – CRC, VIP, контроль четности, сверточное кодирование, коды Рида-Соломона и их каскадирование и т.д. [20]. Однако при передаче по внутренним магистралям аппаратуры действуют различные совокупности помех, приводящие к значительным искажениям формы передаваемых сигналов. Это существенным образом влияет на достоверность передачи управляющей и диагностической информации [22]. При этом такие искажения должны учитываться и парироваться непосредственно в аппаратурно-программном обеспечении устройств РИУС, имеющих ресурсные ограничения, поскольку они выполнены на ПЛК с ограниченным быстродействием, малым объемом памяти и т.п. Поэтому актуальной и значимой является проблема разработки алгоритмов принятия решения при декодировании сообщений в условиях ограничения ресурсов устройств РИУС [23].

Введем формализованное описание поставленных задач обеспечения заданных эксплуатационно-технических показателей элементов и устройств РИУС. Для этого предлагается использовать следующие характеристики:

- показатели диагностирования D (контроля технического состояния, правильности функционирования) (ГОСТ 20911-89);
- показатели контролепригодности C (ГОСТ 26656-85);
- показатели достоверности передачи P [20].

На основании комплексных показателей надежности (ГОСТ 27.002-89) можно сформулировать обобщенные эксплуатационно-технические показатели Q , которые во многом определяются этими характеристиками, и описать их взаимосвязь:

$$Q = \{ \{D_i\}; \{C_j\}, \{P_k\} \}, \quad (1)$$

где $\{D_i\}$ – достоверность, продолжительность, полнота контроля (диагностирования); глубина поиска мест отказов (неисправностей, дефектов); вероятности ложной браковки, необнаруженного отказа и т.д.; $\{C_j\}$ – усредненные показатели трудоемкости процедур диагностирования, коэффициент безразборного тестирования оборудования и т.д.;

$\{P_k\}$ – вероятность ошибки при приеме символа; вероятность трансформации всего сообщения и т.д. Выражение (1) представляет собой вектор, координатами которого являются частные показатели, и их заданные высокие значения требуется обеспечить.

Выводы: в данной статье представлены следующие основные результаты:

1. Выполнен анализ принципов построения, архитектур и особенностей реализации РИУС технологических процессов и объектов.

2. Введены основные термины и понятия, выделены функциональные подсистемы РИУС, построены и проанализированы их структурные модели.

3. Выполнен анализ способов реализации элементов и устройств РИУС, что позволило сформулировать их задачи, а также определить подходы к реализации требований по обеспечению их качественных и эксплуатационных характеристик.

4. Проанализированы основные качественные и количественные характеристики элементов и устройств РИУС. Показано, что применение аппарата, методов и алгоритмов технической диагностики позволит обеспечить их заданные высокие значения. Обоснован вывод, что высокая достоверность передачи управляющей и диагностической информации между устройствами РИУС дает возможность обеспечить заданные показатели надежности и достоверности принятия решений.

Библиографический список

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. – М.: Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с.

2. Кон Е.Л., Кулагина М.М. Надежность и диагностика компонентов инфокоммуникационных и информационно-управляющих систем. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2011. – 310 с.

3. Lian F.-L., Moyné J., Tilbury D. Network design consideration for distributed control systems // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 2010. – Vol. 10, iss. 2. – P. 297–307.

4. Тюрин С.Ф. Резервированный мажоритарный элемент // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2018. – № 3. – С. 139–152.

5. Фрейман В.И. Модели, методы и средства диагностирования элементов и устройств распределенных информационно-управляющих систем на основе комбинирования логик: дис. ... д-ра техн. наук: 05.13.05. – Пермь, 2018. – 418 с.

6. Aminifar A., Eles P., Peng Z., Cervin A. Control-quality driven design of cyber-physical systems with robustness guarantees // Design, Automation and Test in Europe (DATE). – 2013.

7. Bezukladnikov I.I., Dadenkov S.A., Kon E.L. A survey on methods of timing parameters' probabilistic evaluation in distributed control systems: high-fidelity model of LONWORKS-based network // Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIConRusNW. – 2016. – P. 141–145.

8. Антинекул А.В., Даденков С.А., Кон Е.Л. Базовый алгоритм проектирования инфраструктуры информационной промышленной системы LONWORKS в составе АСУТП // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2016. – № 2. – С. 70–84.

9. Дитрих Д., Лой Д., Швайнцер Г. LON-технология: построение распределенных приложений. – Пермь: Звезда, 1999. – 424 с.

10. Бакланов И.Г. NGN: принципы построения и организации / под ред. Ю.Н. Чернышова. – М.: Эко-Трендз, 2008. – 399 с.

11. Битнер В.И. Сети нового поколения – NGN: учеб. пособие для вузов. – М.: Горячая линия–Телеком, 2011. – 226 с.

12. Фрейман В.И., Южаков А.А. Диагностирование и оценка состояния элементов систем управления распределенными инфраструктурами // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2018. – Т. 19. – № 2. – С. 86–94.

13. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Подходы к тестовому диагностированию цифровых устройств // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2012. – № 6. – С. 231–241.

14. Фрейман В.И., Савиных В.А. Изучение систем передачи с многократным повторением и обратной связью при помощи моделирования в среде MatLab // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2011. – № 5. – С. 271–275.

15. Freyman V., Posyagin A. The soft decoding of control systems elements test diagnostics results // Proceedings of 2017 XX IEEE international

conference on soft computing and measurements (SCM). – 2017. – P. 329–332. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970576

16. Freyman V.I., Bezukladnikov I.I. The application of soft decision making on decoding and assessment of test diagnosing results within control systems elements // Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM). – 2017. – P. 124–128. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970515

17. Фрейман В.И., Пирожков А.П. Исследование эффективного кодирования в системах передачи и хранения информации // Научные исследования и инновации. – 2012. – Т. 6. – № 1–4. – С. 214–222.

18. Дианов В.Н. Диагностика и надежность автоматических систем. – М.: Изд-во МГИУ, 2005. – 160 с.

19. Пархоменко П.П., Согомонян Е.С. Основы технической диагностики. – М.: Энергоиздат, 1981. – 321 с.

20. Кон Е.Л., Фрейман В.И. Теория электрической связи. Помехоустойчивая передача данных в информационно-управляющих и телекоммуникационных системах: модели, алгоритмы, структуры. – Пермь: Изд-во Перм. гос. техн. ун-та, 2007. – 317 с.

21. Freyman V., Bezukladnikov I. Research and Application of Noise Stability Providing Methods at Information and Control Systems // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference ElConRus. – 2017. – P. 831–837. DOI: 10.1109/ElConRus.2017.7910685

22. Freyman V.I. Methods and algorithms of soft decoding for signals within information transmission channels between control systems elements // Radio electronics. Computer science. Control. – 2018. – Vol. 4. – P. 226–235. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-4-22

23. Freyman V.I., Kavalero M.V. Application of fuzzy logic for decoding and evaluation of results within the process of information system components diagnosis // Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus. – 2017. – P. 134–139. DOI: 10.1109/ElConRus.2017.7910512

References

1. Denisenko V.V. Komp'yuternoe upravlenie tekhnologicheskim protsessom, eksperimentom, oborudovaniem [Computer control of technological process, experiment, equipment]. Moscow: Goriachaia liniia-Telekom, 2009. 608 p.

2. Kon E.L., Kulagina M.M. Nadezhnost' i diagnostika komponentov infokommunikatsionnykh i informatsionno-upravliaiushchikh sistem [Reliability and diagnostics of infocommunication and information and control systems components]. Perm: Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2011. 310 p.

3. Lian F.-L., Moyne J., Tilbury D. Network design consideration for distributed control systems. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2010, vol. 10, iss. 2, pp. 297-307.

4. Tiurin S.F. Rezervirovannyi mazhoritarnyi element [Majority vote circuit with redundancy]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2018, no. 3, pp. 139-152.

5. Freiman V.I. Modeli, metody i sredstva diagnostirovaniia elementov i ustroistv raspredelennykh informatsionno-upravliaiushchikh sistem na osnove kombinirovaniia logik [Models, methods and tools for diagnosing elements and devices of distributed information and control systems based on a combination of logic]. Doctor's degree dissertation. Perm, 2018. 418 p.

6. Aminifar A., Eles P., Peng Z., Cervin A. Control-quality driven design of cyber-physical systems with robustness guarantees. *Design, Automation and Test in Europe (DATE)*, 2013.

7. Bezukladnikov I.I., Dadenkov S.A., Kon E.L. A survey on methods of timing parameters' probabilistic evaluation in distributed control systems: high-fidelity model of LONWORKS-based network. *Proceedings of the 2016 IEEE North West Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, EIconRusNW*, 2016, pp. 141-145.

8. Antineskul A.V., Dadenkov S.A., Kon E.L. Bazovyi algoritm proektirovaniia infrastruktury informatsionnoi promyshlennoi sistemy LONWORKS v sostave ASUTP [Basic design algorithm for infrastructure of information industrial system LONWORKS within DCS]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2016, no. 2, pp. 70-84.

9. Ditrikh D., Loi D., Shvaintser G. LON-tekhnologiia: postroenie raspredelennykh prilozhenii [LON-technology: creation of distributed applications]. Perm: Zvezda, 1999. 424 p.

10. Baklanov I.G. NGN: printsiipy postroeniia i organizatsii [NFN: principles of construction and organization]. Ed. Iu.N. Chernyshova. Moscow: Eko-Trendz, 2008. 399 p.

11. Bitner V.I. Seti novogo pokoleniia - NGN [Networks of new generation - NGN]. Moscow: Goriachaia liniia-Telekom, 2011. 226 p.

12. Freiman V.I., A.A. Iuzhakov. Diagnostirovanie i otsenka sostoiianiia elementov sistem upravleniia raspredelennymi infrastrukturami [Diagnosis and assessment of elements condition of control systems for distributed infrastructures]. *Mekhatronika, avtomatizatsiia, upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 2, pp. 86-94.

13. Kon E.L., Freiman V.I. Podkhody k testovomu diagnostirovaniu tsifrovyykh ustroystv [Approaches to test diagnostics of digital devices]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2012, no. 6, pp. 231-241.

14. Freiman V.I., Savinykh V.A. Izuchenie sistem peredachi s mnogokratnym povtoreniem i obratnoi svyaz'iu pri pomoshchi modelirovaniia v srede MatLab [Study of transmission systems with multiple repetition and feedback using simulation in the MatLab]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Elektrotehnika, informatsionnye tekhnologii, sistemy upravleniia*, 2011, no. 5, pp. 271-275.

15. Freyman V., Posyagin A. The soft decoding of control systems elements test diagnostics results. *Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM)*, 2017, pp. 329-332. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970576

16. Freyman V.I., Bezukladnikov I.I. The application of soft decision making on decoding and assessment of test diagnosing results within control systems elements. *Proceedings of 2017 XX IEEE international conference on soft computing and measurements (SCM)*, 2017, pp. 124-128. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970515

17. Freiman V.I., Pirozhkov A.P. Issledovanie effektivnogo kodirovaniia v sistemakh peredachi i khraneniia informatsii [Research of effectively encoding within transmission and storage systems]. *Nauchnye issledovaniia i innovatsii*, 2012, vol. 6, no. 1-4, pp. 214-222.

18. Dianov V.N. Diagnostika i nadezhnost' avtomaticheskikh sistem [Diagnostics and reliability of automation systems]. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi industrial'nyi universitet, 2005. 160 p.

19. Parkhomenko P.P., Sogomonian E.S. *Osnovy tekhnicheskoi diagnostiki* [Basics of technical diagnostics]. Moscow: Energoizdat, 1981. 321 p.

20. Kon E.L., Freiman V.I. *Teoriia elektricheskoi svyazi. Pomekhoustoichivaia peredacha dannykh v informatsionno-upravliaiushchikh i telekommunikatsionnykh sistemakh: modeli, algoritmy, struktury* [Theory of telecommunications. Noise stability data transmission within information and control and telecommunication systems: models, algorithms, structures]. Perm: Permskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2007. 317 p.

21. Freyman V., Bezukladnikov I. Research and Application of Noise Stability Providing Methods at Information and Control Systems. *Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference ElConRus*, 2017, pp. 831-837. DOI: 10.1109/ElConRus.2017.7910685

22. Freyman V.I. Methods and algorithms of soft decoding for signals within information transmission channels between control systems elements. *Radio electronics. Computer science. Control*, 2018, vol. 4, pp. 226-235. DOI: 10.15588/1607-3274-2018-4-22

23. Freyman V.I., Kavalero M.V. Application of fuzzy logic for decoding and evaluation of results within the process of information system components diagnosis. *Proceedings of the 2017 IEEE Russia Section Young Researchers in Electrical and Electronic Engineering Conference, ElConRus*, 2017, pp. 134-139. DOI: 10.1109/ElConRus.2017.7910512

Сведения об авторах

Фрейдман Владимир Исаакович (Пермь, Россия) – доктор технических наук, доцент, профессор, заместитель заведующего кафедрой «Автоматика и телемеханика» Пермского национального исследовательского политехнического университета (614990, Пермь, Комсомольский пр., 29, e-mail: vfrey@mail.ru).

About the authors

Freiman Vladimir Isaakovich (Perm, Russian Federation) is a Doctor of Technical Sciences, Professor Department of Automatization and Telemechanics Perm National Research Polytechnic University (614990, Perm, 29, Komsomolsky pr., e-mail: vfrey@mail.ru).

Получено 15.04.2019