

4) в рамках теории управления разработаны специализированные методы и инструментальные средства анализа и синтеза систем этого класса;
5) выбор класса ЛТИ как основного класса, объяс-

няется и тем, что в рамках линейной теории возможно раздельное рассмотрение и формирование собственных и вынужденных составляющих движений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вавилов А. А. Структурный и параметрический синтез сложных систем: Учеб. пособие / ЛЭТИ. Л., 1979.
2. Вавилов А. А., Имаев Д. Х. Эволюционный синтез систем управления: Учеб. пособие / ЛЭТИ. Л., 1983.
3. Имитационное моделирование производственных систем / А. А. Вавилов, Д. Х. Имаев, В. И. Плескунин и др.; Под ред. А. А. Вавилова. М.: Машиностроение; Берлин: Veb Verlag Technik, 1983.
4. Шестопалов М. Ю. Системный подход к проектированию отказоустойчивых систем управления // Сб. докл. XVI Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям "SCM-2013". СПб.; 23-25 мая 2013 г. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2013. Т. 1. С. 14-19.
5. Теория автоматического управления: Учеб. для вузов / С. Е. Душин, Н. С. Зотов, Д. Х. Имаев и др.: Под ред. В. Б. Яковлева. 3-е изд., стер. М.: Высш. шк., 2009. 567 с.
6. Бусленко Н. П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968.
7. Шестопалов М. Ю. Методика построения систем реконфигурирования техническими объектами // Сб. докл. XVIII Междунар. заочн. науч.-практическая конф. «Технические науки – от теории к практике». Новосибирск: СибАК, 2013. С. 26-30.

M. Yu. Shestopalov

SYSTEMATIC APPROACH TO MATHEMATICAL MODELS CONSTRUCTION OF FAULT TOLERANT CONTROL OBJECTS

In the article as a fault tolerant control objects are observed technological processes control systems which are represented as a set of sub-systems with their functions and purposes for obtaining and processing the information, between which there is a transfer of information on connection-oriented channels.

Fault tolerant control objects, technological processes control

УДК 681.5

Ю. А. Королёв, А. А. Суворов,
В. Е. Герцман, И. В. Зименков

Проблемы реализации дистанционного управления измерительными средствами

Описываются основные принципы и проблемы, связанные с реализацией удаленного управления измерительными средствами наземной системы наблюдения и контроля космических запусков. Представлена архитектура построения программного комплекса дистанционного управления, примеры описания заданий на сеанс измерений.

Дистанционное управление, измерительные средства, режимы управления, сеанс измерений

При проведении запусков космических аппаратов необходимо обеспечить измерения на протяженных трассах полета при расположении измерительных пунктов (ИП) на значительном удалении

как от космодрома, так и от мест с развитой инфраструктурой жизнеобеспечения. Современные средства наблюдения и телеметрического контроля, а также комплексы сбора и передачи измерительной

информации должны функционировать в режиме дистанционного управления, что позволит сократить затраты на эксплуатацию и обслуживание удаленных ИП. Состав измерительных средств (ИС), для которых в первую очередь необходима реализация дистанционного управления, следующий:

- антенные системы и радиотелеметрические приемно-регистрирующие станции;
- оптико-электронные станции наблюдения и измерений;
- аппаратура систем единого времени.

Задача дистанционного управления измерительным средством сводится к классической задаче разработки автоматизированного объекта управления. Автоматизированным объектом управления традиционно называют пару $\langle A, O \rangle$, состоящую из управляющего автомата и объекта управления (ОУ) [1]. Для реализации группового управления несколькими ИС одновременно необходимо разработать автоматизированную систему дистанционного управления, предназначенную для решения следующих задач:

- проведение мониторинга и диагностики технического состояния ИС без участия технического персонала непосредственно на ИП;
- реализация централизованной подготовки и автоматической рассылки целеуказаний и входных заданий;
- контроль в реальном масштабе времени режимов работы измерительных и обеспечивающих систем ИП;
- выполнение программного или директивного изменения режимов работы ИС при подготовке и проведении сеанса измерений.

В соответствии с задачами автоматизации управления ИС, к разрабатываемой автоматизированной системе управления выдвигаются следующие основные требования:

- 1) возможность управления ИС в ручном, автоматическом и автоматизированном режимах;
- 2) информационное взаимодействие с ИС осуществляется по цифровой сети передачи данных, которая предоставляет стандартные услуги связи, но не является предметом разработки системы дистанционного управления;
- 3) автоматизированная система управления должна обеспечивать возможность группового управления несколькими ИС одновременно, а также предоставлять средства формирования и автоматического выполнения сценариев удаленного управления;

4) возможность простого горизонтального масштабирования автоматизированной системы управления другими объектами управления, аналогичными ИС с точки зрения указанных выше основных задач.

Далее в тексте два термина ОУ и ИС будут употребляться как синонимы.

Неотъемлемой частью современных ИС является цифровая вычислительная машина (центральный вычислитель), решающая задачи регистрации и обработки исходных измерений и формирования сигналов управления на исполнительные механизмы ИС с обеспечением заданного качества управления (по точности, устойчивости и быстродействию). На центральных вычислителях ИС установлены консоли управления, которые предоставляют программный интерфейс для отправки набора команд и запроса текущего состояния ИС. В соответствии с предъявляемыми требованиями дистанционное управление предлагается организовать следующим образом. Для подачи по сети передачи данных управляющего воздействия на консоли управления необходимо разработать программный комплекс дистанционного управления (ПК ДУ) и набор компонентов сетевого взаимодействия (по одному для каждого ИС). Такие компоненты необходимо установить на центральные вычислители измерительных средств для сопряжения единого сетевого управляющего интерфейса ПК ДУ с программными интерфейсами консолей управления.

Информационное взаимодействие между ПК ДУ и ОУ. При проектировании механизма информационного взаимодействия между ПК ДУ и ИС, необходимо выбрать:

- транспортный протокол;
- язык описания абстрактного синтаксиса и кодогенератор к нему;
- состав сетевого оборудования.

Поскольку каждое измерительное средство имеет свой уникальный набор управляющих команд, для каждого ИС должен быть разработан собственный прикладной протокол информационного взаимодействия.

На транспортном уровне целесообразно использовать один из наиболее широко используемых протоколов в стеке TCP/IP: TCP или UDP. В связи с тем, что ПК ДУ устанавливается на аппаратных средствах пункта дистанционного управления, соединенного с группой центральных вычислителей ИС, неизбежно пересечение потоков

данных от различных ИС. Вероятность потери UDP-пакетов при такой топологии будет достаточно велика, поэтому в данном случае предпочтительнее использовать в качестве транспортного протокола – протокол TCP, обеспечивающий надежную доставку данных.

Для эффективного кодирования и декодирования сообщений протокола информационного взаимодействия целесообразно использовать язык описания абстрактного синтаксиса данных и кодогенератор к нему [2]. Широко распространены языками описания данных, имеющими кодогенераторы с открытым исходным кодом для различных языков программирования, являются: ASN.1, Google Protocol Buffers, Apache Thrift. Для сравнения возможностей указанных языков использовались следующие критерии: возможности языка, качество генерируемого кода, компактность бинарного представления, количество поддерживаемых языков и качество документации. По результатам сравнения лучшие характеристики по совокупности критериев показал язык описания данных Google Protocol Buffers и его официальный кодогенератор protoc. Универсальность системы автоматизированного управления ИС к

типам доступных цифровых сетей связи (спутниковые, радиорелейные, волоконно-оптические) обеспечивается за счет использования стандартного оконечного оборудования для передачи данных – многопортовых коммутаторов и маршрутизаторов с портами Ethernet.

Режимы управления. Для осуществления дистанционного управления измерительным средством необходимо реализовать 3 режима: ручной, автоматизированный и автоматический. В режиме *ручного* управления доступ к центральным вычислителям измерительных средств осуществляется посредством стандартной системы удаленного доступа к компьютеру. Удаленное администрирование центрального вычислителя ИС (а также сетевых устройств, поддерживающих процесс удаленного управления) необходимо в следующих случаях:

- 1) для проверки функционирования центрального вычислителя и установленного на него программного обеспечения (удаленное администрирование);
- 2) для работы удаленного оператора непосредственно с консолью управления измерительным средством в случае возникновения нештатных ситуаций.

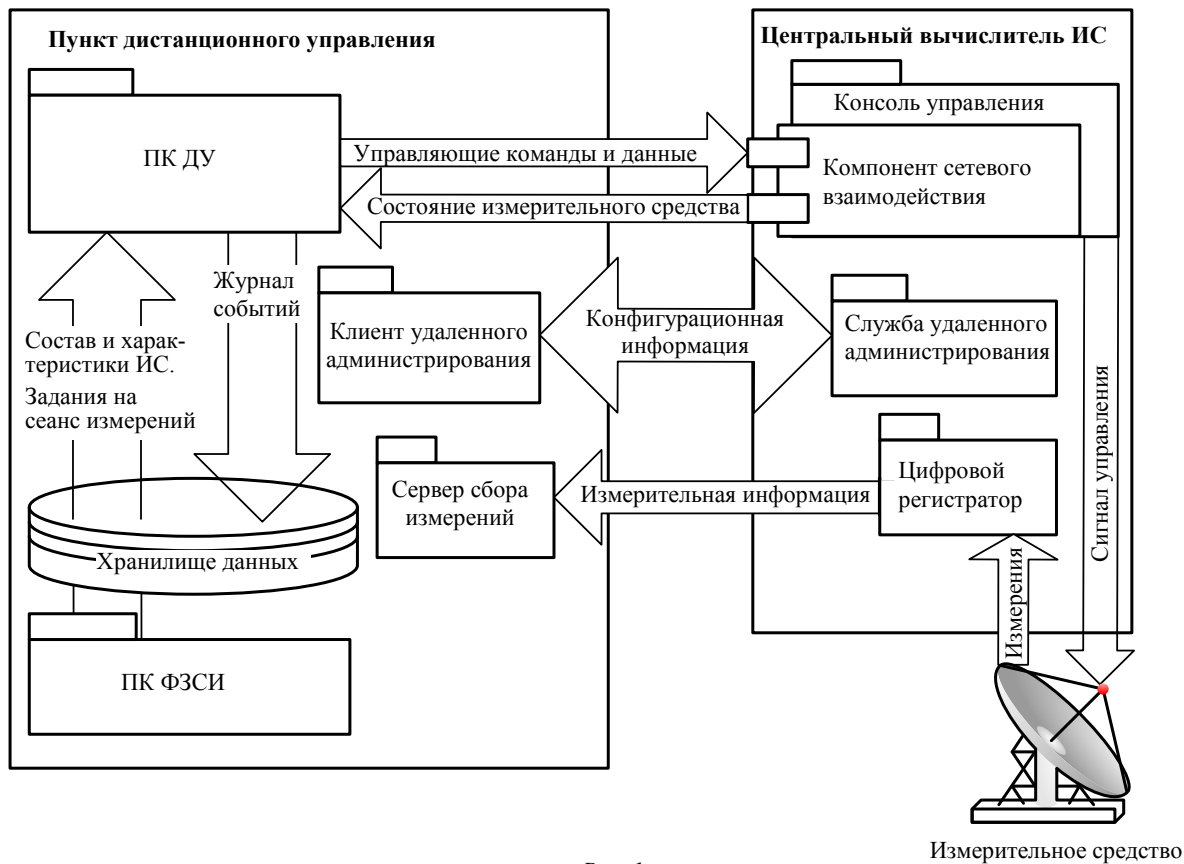


Рис. 1

Удаленное администрирование может быть реализовано с помощью сетевых протоколов удаленного доступа (RDP, VNC, SSH, SNMP) [3]. При этом для повышения скорости взаимодействия возможно применение специализированных аппаратных средств обеспечения удаленного доступа (IP-KVM передатчиков и IP-KVM приемников). В *автоматизированном* режиме оператор должен иметь возможность директивного изменения режимов работы ИС посредством отправки команд управления (уникальных для каждого ИС). В *автоматическом* режиме управление происходит за счет выполнения заранее подготовленного сценария, и участие оператора заключается лишь в запуске данного режима, мониторинге хода выполнения сценария и выполнении каких-либо действий в случае возникновения нештатных ситуаций.

Подход к дистанционному управлению ИС.

Для того чтобы управлять несколькими ИС одновременно в автоматическом режиме, необходим подход, при котором оператор может заранее записать алгоритм управления ИС. Формальное описание такого алгоритма управления измерительным средством будем называть *заданием на сеанс измерений*. ПК ДУ должен автоматически выполнять содержащийся в задании алгоритм одновременно для группы ИС.

Возлагаемые на автоматизированную систему управления задачи могут быть разделены на 2 группы, относящиеся к этапу формирования задания на сеанс измерений и к этапу дистанционного управления. В соответствии с таким разделением, в состав разрабатываемой системы должны входить два программных комплекса: программный комплекс дистанционного управления (ПК ДУ) и программный комплекс формирования заданий на сеанс измерений (ПК ФЗСИ), взаимодействующих друг с другом через разделяемое хранилище данных (рис. 1).

Для дистанционного управления каждым ИС необходимо разработать собственный протокол информационного взаимодействия, который может содержать несколько десятков команд. В самом простом случае алгоритм управления можно записать в терминах таких команд. Однако такое решение имеет ряд очевидных недостатков:

1) для того чтобы реализовать даже простейшую операцию, оператору необходимо будет записать достаточно сложный алгоритм. Например, даже простой поворот антенны в заданные коор-

динаты должен учесть следующие моменты: отpravku команды на поворот, обработку квитанции об успешном принятии команды, обработку квитанции о невозможности выполнения операции, циклический опрос состояния антенны, учет таймаутов. Конечному пользователю системы такие сложности не нужны, ему необходимо только одно – послать команду на поворот и получить результат (успешно или нет);

2) даже при незначительном изменении протокола или логики работы ИС необходимо корректировать задания. В реальности – такие изменения неизбежны на протяжении всего срока эксплуатации автоматизированной системы управления.

В связи с вышеперечисленными недостатками алгоритм управления предлагается формировать в терминах высокоуровневых операций, которые будут выступать в качестве входных данных для управляющих автоматов. Каждая операция реализуется последовательностью команд, выполняемых автоматом на основе содержащегося в нем алгоритма. Жизненный цикл задания на сеанс измерений представлен на рис. 2.

Такое решение нивелирует минусы варианта с использованием команд из протокола информационного взаимодействия и имеет ряд дополнительных преимуществ:

1) пользователь формирует задание только из высокоуровневых операций, которых немного. В результате получается компактное задание, которое легко читать и понимать;

2) набор высокоуровневых операций гораздо стабильнее, чем их реализация с помощью протокола информационного взаимодействия с ИС. Поэтому при модернизации ИС, сохраненные задания, скорее всего, не придется изменять;

3) управляющие автоматы могут поддерживать единый входной формат представления задания, а не композицию структур из протокола информационного взаимодействия для каждого ИС сопровождаемую служебной информацией;

4) при использовании такого единого формата становится возможным унификация форм ввода данных.

Задание на сеанс измерений. Для реализации автоматизированного формирования и разбора задания на сеанс измерений его следует записывать с использованием специального языка разметки. Одним из наиболее широко используемых на сегодняшний день языков логической разметки является язык XML. Его распространение обу-

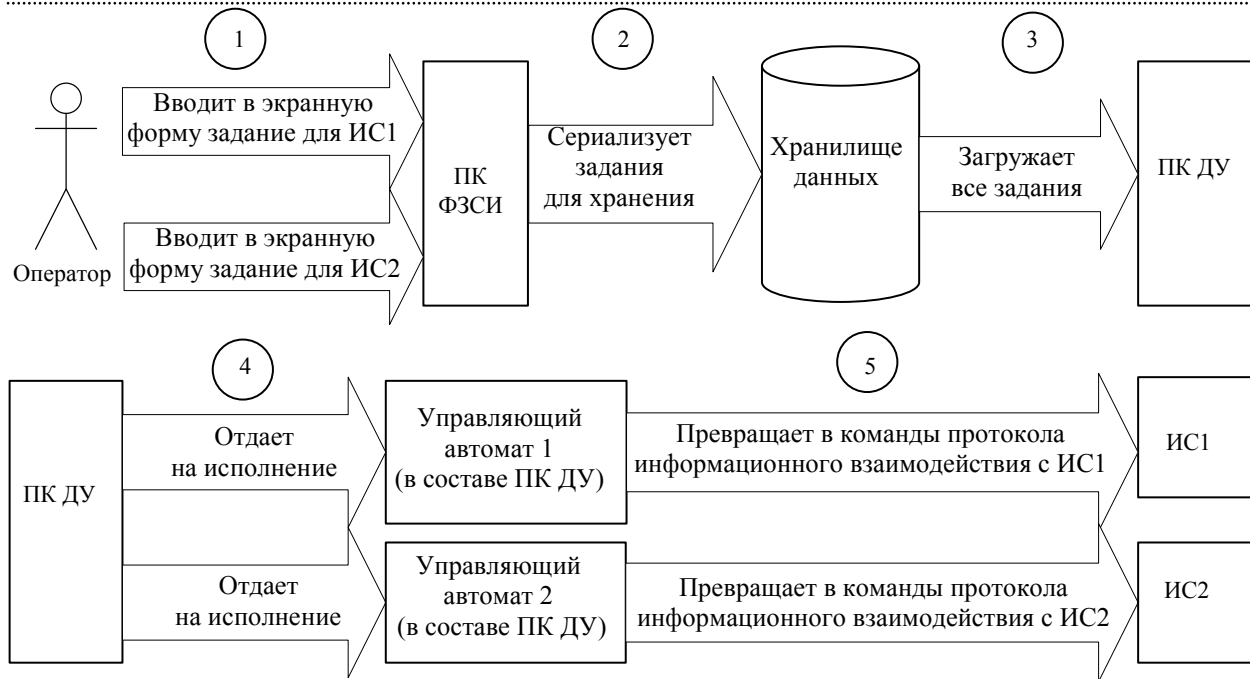


Рис. 2

словлено рядом причин, главными из которых являются: простой формальный синтаксис, удобство создания и обработки документов человеком, наличие большого количества программных библиотек для разбора и создания XML-документов. Таким образом, в качестве языка разметки для представления задания на сеанс измерений был выбран язык XML.

При создании программного обеспечения, осуществляющего обработку документов XML, традиционно используется XML Schema – язык описания структуры XML-документа, определяющий правила, которым должен подчиняться документ.

XML-схему для описания задания на сеанс измерений удобно разделить на 2 файла: файл со словарем операций и их параметров, файл с описанием структуры задания. Такие файлы создаются в отдельности для каждого ИС. Фрагмент словаря, содержащий определение параметра «Азимут» и операции «Съемка опорного ориентира», имеет следующий вид:

```

<xsd:simpleType name="azimuth">
  <xsd:annotation nic:unit="Угловая сек."
    nic:friendlyName="Азимут"/>
  <xsd:restriction base="xsd:integer">
    <xsd:minInclusive
      value="0"/>
    <xsd:maxInclusive
      value="1296000"/>
  </xsd:restriction>

```

```

</xsd:simpleType>
<xsd:complexType
  name="shootingMilestones">
  <xsd:annotation nic:friendlyName="Съемка
    опорного ориентира"/>
  <xsd:attribute type="azimuth"
    name="startingAzimuth"/>
  <xsd:attribute
    type="frequency" name="frequency"/>
</xsd:complexType>

```

Параметр операции представляет собой простой тип, возможно имеющий ограничения на область допустимых значений. Поскольку на основе словаря команд в ПК ФЗСИ будет осуществляться автоматическая генерация форм ввода параметров операций, каждый параметр необходимо снабжать аннотацией, содержащей его имя на русском языке и единицы измерения. Для описания структуры операции используется составной тип, который содержит в качестве атрибутов произвольное число определенных ранее параметров. Указанные выше определения параметров являются универсальными для систем управления антенными комплексами телеметрических измерений и теодолитами различных ОЭС.

Структура задания на сеанс измерений выглядит следующим образом:

```

<xsd:complexType
  name="abstractOperation">
  <xsd:attribute type="xsd:integer"
    name="id"/>

```

```

        <xsd:attribute          type="xsd:integer"          type="shootingMilestones"/>
name="successId"/>                                             </xsd:choice>
        <xsd:attribute          type="xsd:integer"          </xsd:extension>
name="unsuccessId"/>                                         </xsd:complexContent> </xsd:complexType>
        <xsd:attribute          type="xsd:integer"          <xsd:element          name="task">
name="timeoutId"/>                                         <xsd:complexType> <xsd:sequence>
</xsd:complexType>                                         <xsd:element          max-
        <xsd:complexType      name="operation">             Occurs="unbounded"    name="operation"
<xsd:complexContent>                                         type="operation"/>
        <xsd:extension base="abstractOperation">           </xsd:sequence>      </xsd:complexType>
        <xsd:choice minOccurs="1" max-                       </xsd:element>
Occurs="1">
        <xsd:element
name="setWeatherData"
type="setWeatherData"/>
        <xsd:element
name="shootingMilestones"
    
```

Вначале определяется абстрактный тип «операция», содержащий набор атрибутов, с помощью которых можно формировать алгоритм управления с циклами и ветвлениями, а также корректно обрабатывать ошибки сетевого взаимодействия. К таким атрибутам относятся: идентификатор операции, номера следующей операции, если теку-

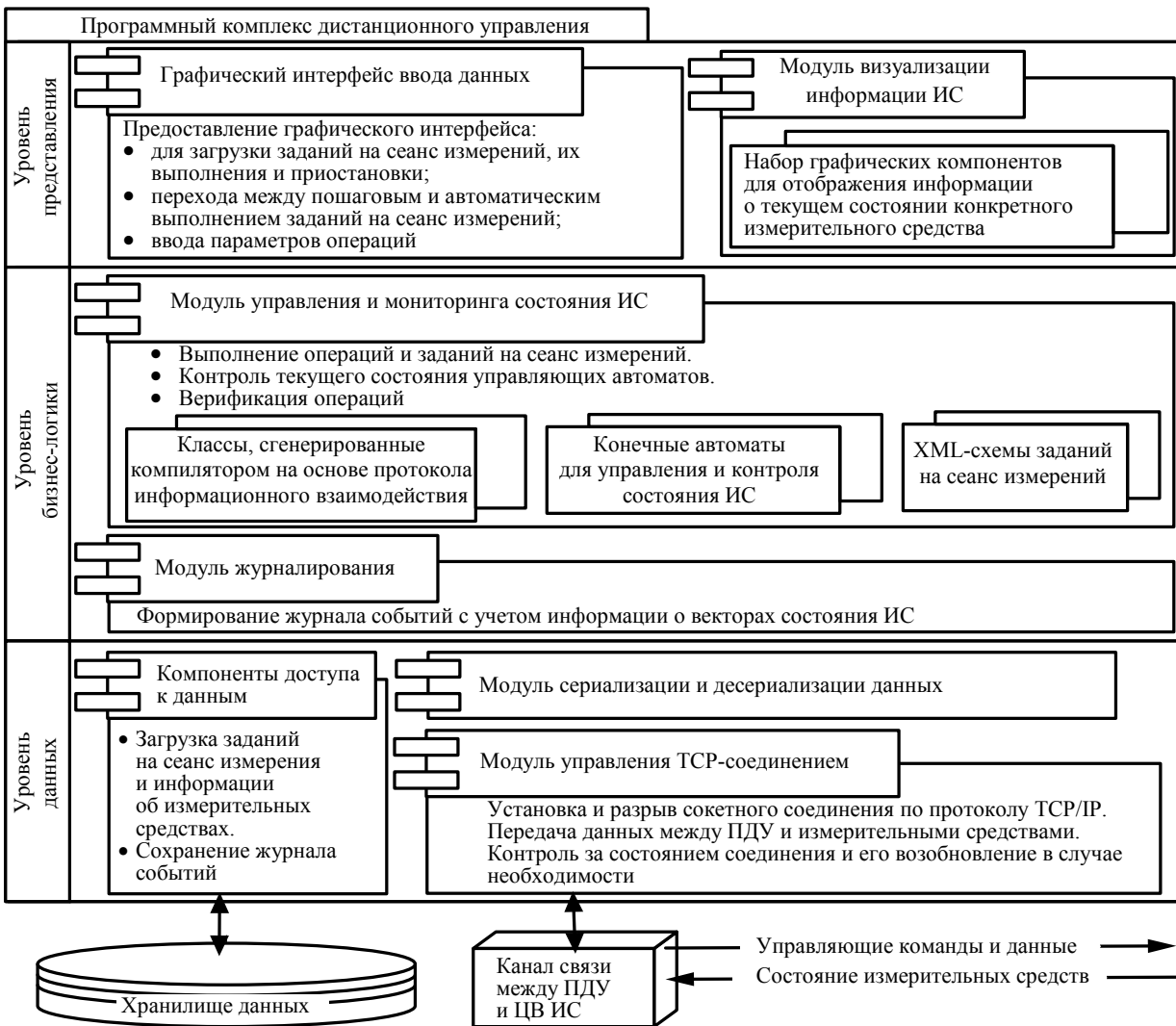


Рис. 3

шая выполнена: успешно / неуспешно / превышен таймаут ожидания. Тип `abstractOperation` наследуется типом `operation`, который представляет собой обертку над всеми возможными операциями конкретного ИС. Элемент `task` включает в себя неограниченную последовательность операций.

Архитектура ПК ДУ. Программный комплекс дистанционного управления имеет многоуровневую архитектуру (рис. 3). Все компоненты программного комплекса традиционно разделены на три логических уровня [4]: уровень данных, уровень бизнес-логики и уровень представления. Функциями *уровня данных* являются хранение и передача данных между различными поставщиками и потребителями информации.

Уровень бизнес-логики предоставляет объектную модель следующему слою и обеспечивает независимость уровня представления от модели хранения данных. *Уровень представления* осуществляет отображение данных и реализует интерфейс взаимодействия с пользователем. Ключевой модуль ПК – модуль управления и мониторинга состояния измерительных средств – получает на вход загруженные из хранилища данных задания на сеанс измерений. После верификации заданий на сеанс измерений на соответствие XML схемам, данный модуль начинает их выполнение, используя набор управляющих автоматов (по одному для каждого ИС). По мере выполнения заданий осуществляется контроль управляющих автоматов и уведомляется модуль отображения информации ИС об изменении значений векторов состояния измерительных средств.

Следует отметить, что программный комплекс дистанционного управления имеет расширяемую компонентную архитектуру. При необходимости дистанционного управления новым измерительным средством, соответствующие программные модули могут быть легко добавлены в ПК ДУ. Для этого программисту требуется реализовать два программных модуля, в которых будет заключена логика работы с конкретным ИС: управляющий автомат и визуализатор состояния ИС. Процесс добавления вышеописанных модулей не затрагивает логику работы других компонентов ПК ДУ, поэтому данное архитектурное решение предотвращает внесение ошибок в существующий программный код при наращивании дополнительной функциональности.

В общем случае технология применения автоматизированной системы управления ИС позволяет отказаться от постоянного использования квалифицированного обслуживающего персонала на удаленных периферийных ИП за исключением аварийных или других нештатных ситуаций. Все наукоёмкие задачи, требующие участия квалифицированных инженеров-испытателей, сосредоточены в вычислительном центре и относятся преимущественно к подготовительной стадии сеанса измерений. После корректно проведенной подготовки, автоматизированная система управления отработает с минимально возможным составом операторов, в большинстве штатных ситуаций – автоматически, без участия человека.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Поликарпова Н. И., Шалыто А. А. Автоматное программирование. 2-е изд. СПб.: Питер, 2011.
2. Fielding R. T. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures. PhD dissertation. University of California, Irvine, 2000.
3. Калужный А. Д., Табунщик Г. В., Онищенко В. Ф. Средства передачи информации в терминальных системах // Системы обработки информации. 2011. № 3. С. 39–47.
4. Архитектура информационных систем / Б. Я. Советов, А. И. Водяхо, В. А. Дубенецкий, В. В. Цехановский. М.: Издательский центр «Академия», 2012.

Yu. A. Korolev, A. A. Suvorov, V. E. Hertzman, I. V. Zimenkov

REMOTE CONTROL IMPLEMENTATION ISSUES FOR MEASUREMENT APPARATUS

The article describes the basic principles and problems associated with the implementation of the remote control for measurement apparatus. Software architecture of remote control system and samples of tasks for a measurement session are presented.

Remote control, measurement apparatus, control modes, measurement session