УДК 004.7:681.518

Элементы методологии мониторинга состояния современных инфокоммуникационных сетей

Elements of the methodology for monitoring the state of modern infocommunication networks

Буренин / Burenin A.
Андрей Николаевич
(direct-2011@mail.ru)
доктор технических наук, доцент.
АО «Научно-исследовательский институт «Рубин»,
ведущий научный сотрудник.
г. Санкт-Петербург

Чуйков / Chujkov V.
Владимир Борисович
(v.b.chujkov@rubin-spb.ru)
кандидат технических наук, доцент.
АО «Научно-исследовательский институт «Рубин»,
первый заместитель генерального директора.
г. Санкт-Петербург

Аванесов / Avanesov M.
Михаил Юрьевич
(avanesov@itain.ru)
кандидат технических наук.
ЗАО «Институт телекоммуникаций»,
научный секретарь.
г. Санкт-Петербург

Ключевые слова: система – system; автоматизированная система управления – automated control system; инфокоммуникационная сеть – infocommunication network; информация – information; потоки информации о состоянии – status information streams; мониторинг – monitoring; текущий мониторинг - routine monitoring.

Рассматриваются методологические аспекты процедур формализации процессов сбора информации о состоянии современных инфокоммуникационных сетей в рамках функционирования центров управления (ЦУ) автоматизированной системы управления сетью при организации процессов обработки управляющей информации.

The methodological aspects of the procedures for formalizing the processes of collecting information on the state of modern information and communication networks within the frame-work of the functioning of control centers (CCR) of the automated network management system in organizing processes for processing control information are considered.

Введение

Реализация повышенных требований к современным системам автоматизированного управления ведомственными или корпоративными инфокоммуникационными сетями (ИКС) – это проблема, которая сегодня особенно актуальна. В рамках этой общей проблемы постоянно требуется решать частные задачи обеспечения непрерывности, оперативности, устойчивости, скрытности и качества управления ИКС, которые в значительной мере определяются не только объектом управления (самой ИКС и различными телекоммуникационными сетями в ее составе [1]), но и степенью, уровнем управленческой деятельности органов управления, повсеместным использованием в процессах управления последних достижений науки и техники, которые невозможно реализовать без обеспечения АСУ ИКС современными центрами управления (ЦУ), эффективность функционирования которых для всех уровней иерархии АСУ определяется и тем, насколько полной и достоверной информацией о состоянии ИКС они обладают [2, 3], т. е. тем, как решены задачи мониторинга. Частным задачам мониторинга состояния сетей посвящено достаточно много работ, однако для качественного решения проблем оценивания состояния необходимо иметь некоторые методологические основы процессов мониторинга, основанных на принципах системного подхода и системного анализа [4–11].

В различных работах [12–29] используется понятие мониторинга сетей связи, телекоммуникационных сетей и т. д., причем в его содержание авторы вкладывают во многом схожие толкования.

Например, в [14, 17, 23, 26] под мониторингом понимают систему сбора/регистрации, хранения и анализа небольшого количества ключевых (явных или косвенных) признаков/параметров описания сети как объекта управления для вынесения суждения о поведении/состоянии его в целом, т.е. для вынесения суждения об объекте управления в целом на основании анализа небольшого количества характеризующих его признаков.

По другому [18–22] мониторинг – это процесс наблюдения и регистрации данных об объекте управления на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых значения данных существенно не изменяются. При этом следует различать мониторинг параметров объекта управления и мониторинг состояния объекта управления (ИКС).

Неоднозначность толкования понятия мониторинга сетей вообще приводит к необходимости введения терминологических основ методологии мониторинга.

Терминологические основы методологии мониторинга ИКС

Под мониторингом параметров ИКС будем понимать наблюдение за какими-либо параметрами объекта управления (ИКС). Результат мониторинга параметров представляет собой совокупность измеренных значений параметров, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых значения параметров существенно не изменяются.

Под мониторингом состояния ИКС будем понимать наблюдение за состоянием ее объектов для определения и предсказания момента перехода в предельное состояние сети. Результат мониторинга состояния ИКС представляет собой совокупность диагнозов составляющих ее элементов, получаемых на неразрывно примыкающих друг к другу интервалах времени, в течение которых состояние сети существенно не изменяется. При этом, принципиальным отличием мониторинга состояния от мониторинга параметров является наличие некоторого интерпретатора измеренных параметров в терминах состояния ИКС – определенной подсистемы поддержки принятия решений об оценке состояния ИКС с целью дальнейшего управления ею.

В этих терминах прослеживается определенная связь с определениями, принятыми в сети Интернет [27] – мониторинг веб-сайтов, под которым понимают процесс проверки работоспособности и тестирования параметров доступности сайта или веб-сервиса в сети Интернет с использованием специальных сервисов мониторинга сайтов, имитирующих функции многих пользователей для анализа возможностей ресурсов.

Следует отметить, что вообще вопросам исследования проблем мониторинга телекоммуникационных сетей посвящено достаточно много публикаций [12–29]. Большинство из них рассматривают вопросы мониторинга локальных сетей, терминального и серверного оборудования и лишь незначительная часть – общесетевые вопросы организации мониторинга. Однако, даже если в названиях некоторых работ встречается термин «инфокоммуникационная сеть», предметом исследования, как правило, является не ИКС в целом, а отдельные ее компоненты: сети FR, сети IP, ЛВС и т. д. Поэтому при решении проблем, связанных с мониторингом ИКС, необходимо рассмотреть системные вопросы организации мониторинга именно в ИКС.

Особенности ИКС, связанные с ее сложностью, неоднородностью состава, защищенностью и «мультисервисностью» требуют корректировки понятий мониторинга в сторону более широкого его толкования, которое целесообразно привести после рассмотрения системных вопросов организации такой функциональной подсистемы автоматизированной системы управления (АСУ) сетью, которая и осуществляет функции ее мониторинга.

При организации управления ИКС необходимо организовать эффективные процедуры, предусматривающие получение достоверных данных в реальном масштабе времени о состоянии сети, состоянии всех компонент ИКС, а также протекающих процессов в ней и во всех элементах сети.

В подавляющем своем большинстве основные параметры, характеризующие состояние ИКС, состояние компонентов и элементов сети (центров коммутации, коммутаторов, мультиплексоров, маршрутизаторов, АТС, интерфейсных модулей и т.д.) будут являться случайными величинами или случайными процессами.

Организация сбора информации о состоянии как самой ИКС, так и различных ее компонентов и элементов имеет схожие моменты, которые реализуются в рамках функциональной подсистемы сбора информации (ПСИ) АСУ ИКС, элементы которой также размещаются на соответствующих узлах сети и соответствующем оборудовании узлов – так называемые агенты подсистемы сбора информации, обеспечивающие первичную обработку запросов (заявок) на получение информации состояния и последующую выдачу данных в требуемые центры сбора и обработки информации ПСИ АСУ ИКС или организующие периодическую автоматическую выдачу данной информации без запроса последней.

Обобщенную целесообразную и непротиворечивую схему сбора информации о состоянии ИКС, состоянии всех компонентов и элементов сети, протекающих в них процессов можно представить следующим образом: рис. 1.

С учетом множества разнородных задач управления как ИКС в целом, так и различными ее компонентами (транспортная сеть ИКС, сети доступа, сети передачи данных, в том числе программно конфигурируемые, наследуемые вторичные сети связи старого парка, сети служб прикладного уровня и т. д.), иерархии построения АСУ ИКС, ПСИ АСУ ИКС также строятся по иерархическому принципу. В рамках подсистемы целесообразно развернуть ряд промежуточных уровневых центров сбора и обработки информации уровня фрагмента ИКС, собирающих, обрабатывающих, обобщающих ИС и выдающих интегрированную информацию в соответствующие центры сбора и обработки информации ПСИ верхнего уровня.

Элементы ПСИ АСУ ИКС, размещенные (распределенные) по компонентам, узлам и элементам сети (агенты ПСИ), передают в соответствующие центры сбора и обработки информации ПСИ информацию о состоянии (ИС) соответствующих контролируемых объектов сети, а получают (в случае необходимости) управляющую информацию (ИУ) из центров либо по запросу требуемой информации, либо при изменении режимов своей работы (изменение периода опроса, времени обработки, смены методов и алгоритмов обработки и т. д.).

Как правило, ИС от элемента ПСИ, поступающая на узловой элемент ПСИ или в соответствующий центр сбора и обработки информации нижнего уровня иерархии ПСИ АСУ ИКС, является уже обработанной (как минимум первоначальная предварительная или статистическая обработка) информацией о состоянии и посылается в центры управления для окончательного формирования информационного массива в подсистеме обработки информации.

Назовем процессы многоуровневого многоэтапного получения, сбора, обработки, обобщения и оценки информации о состоянии ИКС, состоянии всех компонентов ИКС, протекающих в них процессов, всех элементов сети, процессами мониторинга состояния ИКС, осуществляемых в соответствии с обобщенной схемой, приведенной на рис. 1.

Фактически элементы ПСИ АСУ ИКС являются модулями распределенного мониторинга состояния. Самый нижний уровень представлен агентами ПСИ

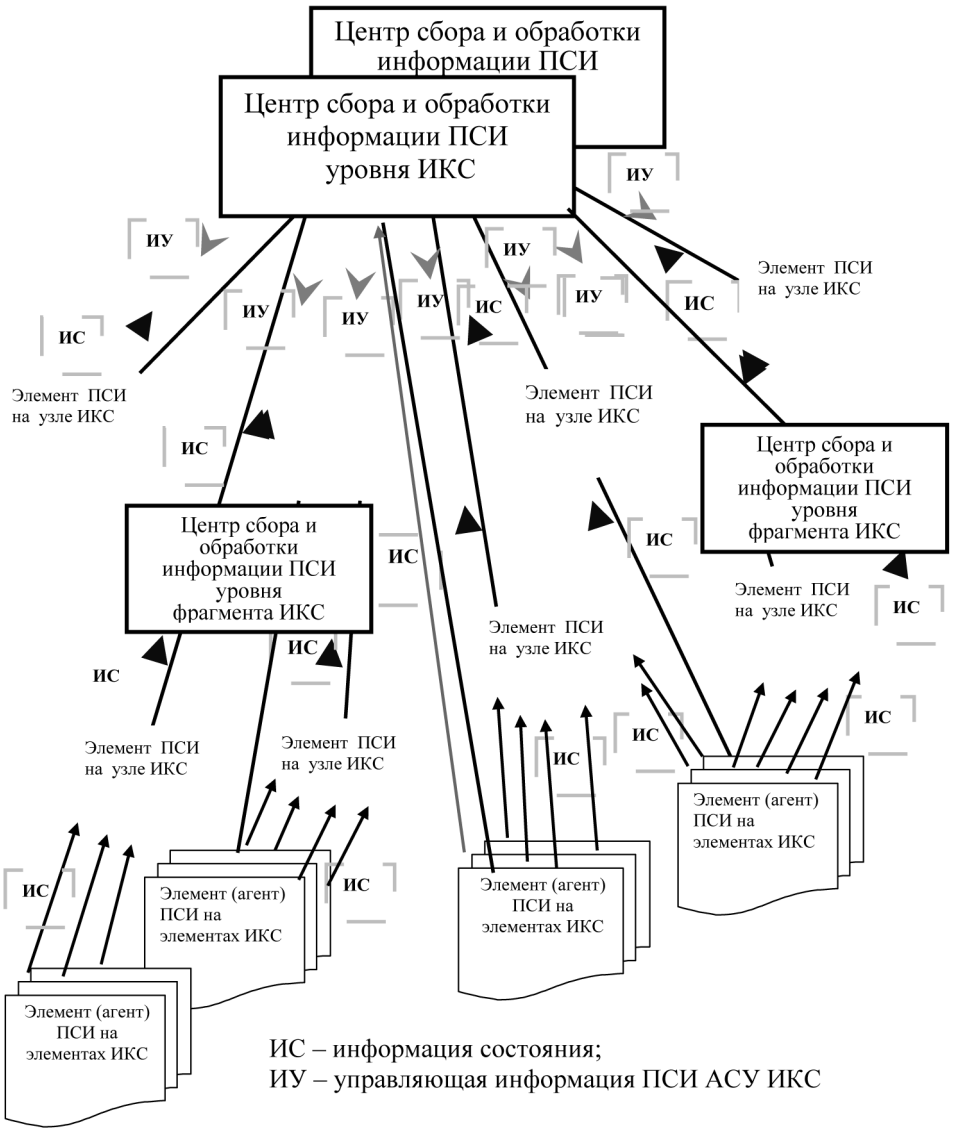

Рис. 1. Организация сбора информации о состоянии ИКС, состоянии всех компонентов ИКС, протекающих в ней процессов и всех элементов сети

уровня элементов ИКС, затем последующие более высокие уровни представлены менеджерами соответствующего уровня, которые, в свою очередь, являются агентами ПСИ для выше расположенных менеджеров ПСИ уровня фрагментов ИКС. Последние одновременно являются фрагментальными агентами ПСИ для менеджеров ПСИ уровня всей ИКС, рис. 2.

Очевидно, что количество блоков мониторинга и, соответственно, источников потоков информации о состоянии вполне определено является конечным числом, и что при такой постановке организации сбора информации о состоянии ИКС, состоянии всех компонентов ИКС, протекающих в ней процессов и всех элементов сети, потоки служебной информации о состоянии сами являются стохастическими потоками отдельно для каждой из трех замкнутых групп мониторинга:

– агенты ПСИ на элементе ИКС являются источниками потока и посылают информацию элементу ПСИ на узле ИКС, который выполняет функции узлового менеджера;

– элементы ПСИ на каждом узле ИКС, или узловые агенты ПСИ, выдают информацию для уровневого центра сбора и обработки информации ПСИ, который выполняет функции фрагментального менеджера ПСИ;

– каждый центр сбора и обработки информации ПСИ на фрагменте сети или каждый фрагментальный агент ПСИ выдает информацию в центр сбора и обработки информации ПСИ уровня всей ИКС, который выполняет функции общесетевого менеджера ПСИ.

Эти потоки в силу стационарности заданной организации ПСИ носят (в вероятностном плане) характер стационарных потоков с ограниченным (конечным) числом источников и могут быть достаточно точно описаны моделью потока Бернулли [19], для которого вероятность поступления ровно n элементов потока за время Δt определяется выражением:

$$P_n(\Delta t) = G_n^r \left(\frac{\Delta\tau}{\Delta t}\right)^n \left(1 - \frac{\Delta\tau}{\Delta t}\right)^{k-n}. \quad (1)$$

Тогда для каждой из трех замкнутых групп мониторинга можно задать модели потоков информации мониторинга, определяемых соответствующими вероятностями числа элементов потока:

– агент ПСИ на элементе ИКС ⇒ элемент ПСИ на узле ИКС (узловой менеджер ПСИ) –

$$P_{k_{el}}^{el}(\Delta t_{el}) = G_{k_{el}}^{r_{el}} \left(\frac{\Delta\tau_{el}}{\Delta t_{el}}\right)^{r_{el}} \left(1 - \frac{\Delta\tau_{el}}{\Delta t_{el}}\right)^{k_{el}-r_{el}};$$

– элемент ПСИ на узле ИКС (узловой агент ПСИ) ⇒ уровневый центр сбора и обработки информации ПСИ (фрагментальный менеджер ПСИ) –

$$P_{k_{UZ}}^{UZ}(\Delta t_{UZ}) = G_{k_{UZ}}^{r_{UZ}} \left(\frac{\Delta\tau_{UZ}}{\Delta t_{UZ}}\right)^{r_{UZ}} \left(1 - \frac{\Delta\tau_{UZ}}{\Delta t_{UZ}}\right)^{k_{UZ}-r_{UZ}};$$

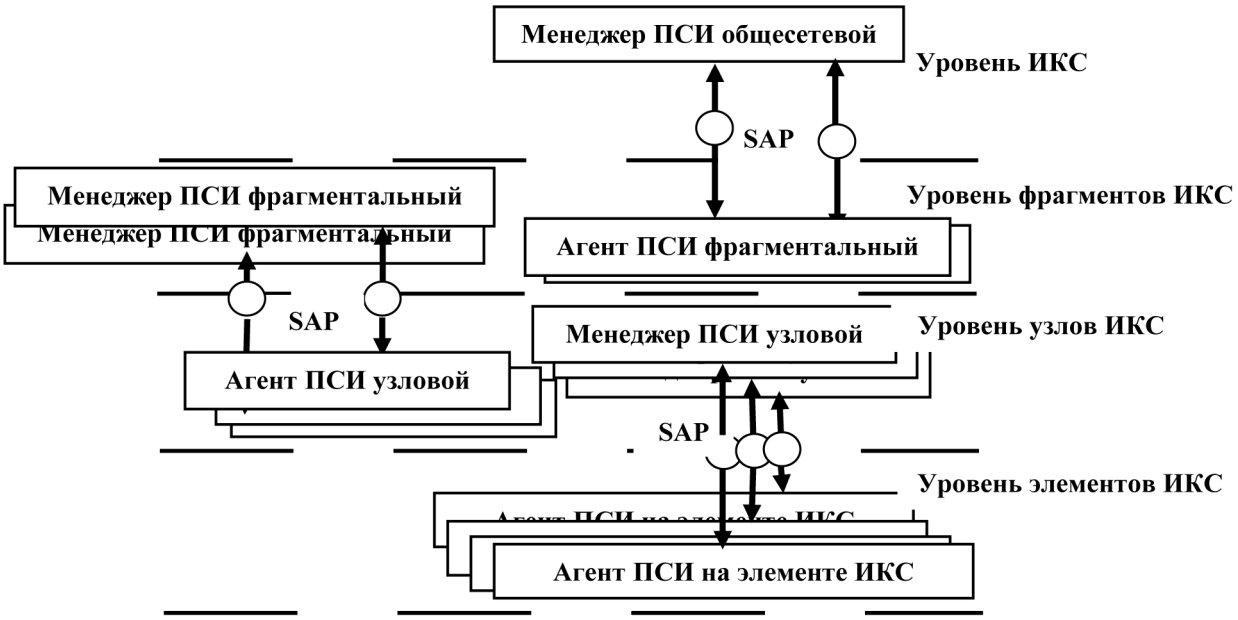

Рис. 2. Декомпозиция функциональности мониторинга состояния ИКС по уровням архитектуры

– центр сбора и обработки информации ПСИ (фрагментальный агент ПСИ) ⇒ центр сбора и обработки информации ПСИ уровня ИКС (общесетевой менеджер ПСИ) –

$$P_{k_{CE}}^{CE}(\Delta t_{CE}) = G_{k_{CE}}^{r_{CE}} \left(\frac{\Delta\tau_{CE}}{\Delta t_{CE}}\right)^{r_{CE}} \left(1 - \frac{\Delta\tau_{CE}}{\Delta t_{CE}}\right)^{k_{CE}-r_{CE}}.$$

Количественные параметры приведенных контуров мониторинга определяются как принятыми математическими моделями параметров (величин и процессов), характеризующими состояние ИКС, так и целесообразными процедурами мониторинга сети, обеспечивающими процессы управления ИКС.

Тут важно отметить взаимосвязь процедур управления и процедур мониторинга: с одной стороны процедуры управления строятся исходя из той информации и тех параметров, которые можно наблюдать и «мониторить», а с другой, сама организация процедур мониторинга должна осуществляться исходя из требований процедур управления (необходимая периодичность опроса данных, необходимая точность оценки параметров и т. д.).

Как отмечалось, чрезвычайная сложность ведомственных ИКС, особенности их построения и многообразие условий функционирования в различной обстановке, что существенно усложняет организацию эффективного управления ИКС, приводит к необходимости более широкого толкования понятия мониторинга. Поэтому примем следующее понятие мониторинга ИКС.

Под мониторингом ИКС понимается организация процессов многоуровневого многоэтапного получения, сбора, обработки, обобщения, оценки и прогнозирования информации о состояния ИКС, состоянии всех компонентов ИКС, протекающих в ней процессов и всех элементов сети, а также организация процессов периодической идентификации ИКС в соответствии с рис. 3.

Основные процессы мониторинга ИКС для обеспечения процессов управления сетью должны включать две группы подпроцессов:

– подпроцессы оперативной оценки и прогнозирования состояния ИКС;

– подпроцессы периодической идентификации ИКС.

В свою очередь подпроцессы оперативной оценки и прогнозирования состояния ИКС должны включать:

– оперативную оценку и прогноз значений случайных величин, используемых при управлении и характеризующих функционирование элементов ИКС;

– оперативную оценку и прогноз параметров случайных процессов, используемых при управлении и характеризующих функционирование ИКС как случайных функций времени;

– оперативную оценку и прогноз показателей, используемых при управлении и характеризующих существенные свойства ИКС, в т. ч. показателей качества обслуживания.

Анализ особенностей построения и функционирования ведомственных ИКС, а также чрезвычайная сложность решаемых задач управления ими, приводят к следующим основным положениям, которые должны учитываться при проведении процедур мониторинга:

– апостериорные данные, необходимые для анализа и использования при управлении, могут быть получены путем измерения характеристик ИКС;

– всякое измерение всегда осуществляется с ошибками;

– процесс измерения имеет смысл, если он позволяет уменьшить априорную неопределенность;

– во многих случаях измерение необходимых характеристик ИКС не может быть произведено непосредственно – процесс измерения в этом случае носит косвенный характер;

– для построения процедуры измерения необходимо знать структуру зависимости наблюдаемого параметра от измеряемой характеристики;

– применение оптимальных методов в подсистеме мониторинга в ряде случаев нерационально по причине значительной сложности их реализации;

– в практике управления ИКС часто целесообразно сложные оптимальные методы мониторинга заменить более простыми субоптимальными;

– сравнение задач оценивания и идентификации показывает, что с принципиальной точки зрения

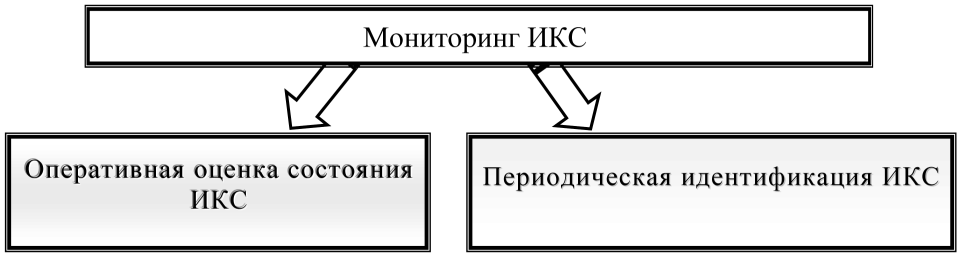

Рис. 3. Основные процессы мониторинга ИКС

синтеза процедур мониторинга они не отличаются друг от друга и для их решения можно использовать одну и ту же теоретическую базу.

Модели мониторинга ИКС

Сложность и чрезвычайно высокая размерность современных ведомственных ИКС определяют многочисленные особенности, характеризующие процедуры мониторинга основных параметров сети, используемых при организации управления.

В независимости от содержания процедур на разных уровнях иерархии подсистемы мониторинга АСУ ИКС целесообразно предложить многоуровневую модель, рис. 4.

В целом, как отмечалось, задачи мониторинга ИКС существенно шире, чем просто оценка основных параметров, характеризующих функционирование многочисленных телекоммуникационных сетей, входящих в ее состав и их оборудования. К задачам мониторинга необходимо также отнести и анализ качества функционирования ИКС, при этом анализ качества функционирования сети с учетом всего множества действующих факторов и условий функционирования может быть проведен только на основе учета апостериорных данных, т.е. данных, получаемых в процессе эксплуатации ИКС.

Сами апостериорные данные, необходимые для анализа и использования при управлении ИКС, могут быть получены путем непосредственного или косвенного измерения характеристик ИКС. Используя наблюдаемые значения величин и реализации процессов в ИКС, можно вычислить показатели качества ее функционирования.

Эти показатели качества будут являться условными величинами, справедливыми только для определенных временных интервалов наблюдения и полученных значений величин и реализаций процессов в ИКС. Поэтому следует считать, что данные условные показатели качества характеризуют свойства ИКС в данных конкретных условиях ее функционирования (при определенных воздействиях окружающей среды и нарушителей).

Получение условных (апостериорных) показателей качества функционирования ИКС позволяет определить влияние разнообразных факторов (в т. ч. воздействий нарушителей) в различных условиях применения ИКС на работу сети, а также организовать управление процессами ее функционирования и эксплуатации, т. к. управление функционированием ИКС заключается в выработке управляющих воздействий на нее, обеспечивающих приемлемые значения показателей качества, которые надо контролировать.

Естественно, всякое измерение величин и параметров процессов в ИКС осуществляется с ошибками. Поэтому определение необходимых для апостериорного анализа характеристик ИКС не может быть проведено абсолютно точно. Влияние воздействий (в т. ч. преднамеренных) и помех на наблюдаемые параметры и ошибки при их измерении приводят к тому, что апостериорные данные необходимо рассматривать как реализации случайных объектов (величин, функций). При этом процесс измерения всегда будет иметь смысл, если он позволяет уменьшить априорную неопределенность.

В силу чрезвычайной сложности, большой размерности ИКС и возможности функционирования ее в чрезвычайно сложных условиях обстановки, измерение необходимых характеристик сети нередко не может быть произведено непосредственно, т. к. наблюдению часто доступны другие параметры, которые связанны тем или иным образом с требуемыми измеряемыми характеристиками. Процесс измерения в этом случае носит косвенный характер, т. е. по наблюдаемым доступным параметрам требуется получить оценки величин, определенным образом связанных с ненаблюдаемым, но нужным для нужд управления ИКС параметром. Отсюда следует, что для построения процедуры измерения необходимо знать структуру зависимости наблюдаемого параметра от измеряемой характеристики, в т ч. корреляционные связи параметров.

Косвенная зависимость наблюдаемого параметра от измеряемой характеристики ИКС и влияние помех и ошибок измерения приводят к необходимости разработки достаточно сложных процедур получения их оценки, т. е. разработки методов и реализующих их алгоритмов обработки информации о наблюдаемых параметрах. Естественно необходимо, чтобы эти методы были в определенном смысле наилучшими, т. е. оптимальными по некоторому показателю.

Однако, реализация оптимальных методов в подсистеме мониторинга в ряде случаев нерациональна по другим показателям, отличным от критерия оптимальности, по которому они обычно синтезируются. Нередко это связано со значительной сложностью реализации методов в рамках многоуровневой подсистемы мониторинга. Кроме того это требует решения сложных научных задач и высокой квалификации разработчиков подсистемы мониторинга АСУ ИКС, существенных временных и материальных затрат.

Поэтому при решении практических задач организации мониторинга и управления ИКС часто оптимальные методы целесообразно заменить субоптимальными (близкими к оптимальным) или квазиоптимальными (почти оптимальными). Но тогда необходимо знать, какие отклонения показателя качества от оптимального значения следует ожидать при замене оптимальных методов субоптимальными или квазиоптимальными. Очевидно, что при этом требуется определять качество оптимальных, субоптимальных и квазиоптимальных методов оценивания.

В связи с этими обстоятельствами целесообразно при создании АСУ ИКС, удовлетворяющей множеству

критериев, ограничиться только отклонением основного показателя качества от его оптимального или потенциального (потенциально достижимого) значения.

Вычисление потенциального значения показателя качества процедур мониторинга важно также с точки зрения принципиальной оценки достаточности эффективности создаваемой подсистемы мониторинга еще на начальном этапе проектирования АСУ ИКС. Если окажется, что потенциальное, предельно достижимое значение показателя качества для создаваемой подсистемы мониторинга не удовлетворяет предъявляемым требованиям, то, очевидно, теряет смысл сам процесс ее разработки. При этом необходимо искать новые пути решения проблем мониторинга на основе использования новых приемов, методов и процедур мониторинга.

Как отмечалось, в задачах мониторинга следует различать задачи оценивания и задачи идентификации. При этом под оцениванием будем понимать процедуру получения оценки измеряемых характеристик ИКС по наблюдению некоторых наблюдаемых параметров, доступных измерению. Совокупность измеряемых характеристик при оценивании представляет собой вектор фазовых координат, характеризующих состояние ИКС. При этом задача состоит в оценивании состояния ИКС.

Под идентификацией ИКС следует понимать процедуры получения или уточнения законов функционирования ИКС, законов изменения величин и процессов, характеризующих функционирование ИКС.

Измеряемые характеристики ИКС в целом могут быть внутренне структурно-детерминированные, но содержат случайные составляющие. В этом случае оценивание заключается в определении оценок случайных параметров, самой измеряемой характеристики или некоторого преобразования от нее. В общем случае требуемая характеристика ИКС есть преобразование наблюдаемого параметра ИКС некоторым оператором наблюдения.

Формализация процессов мониторинга

Сравнение задач оценивания и идентификации ИКС показывает, что с принципиальной точки зрения синтеза процедур мониторинга ИКС они не отличаются друг от друга. Для решения как задач оценивания, так

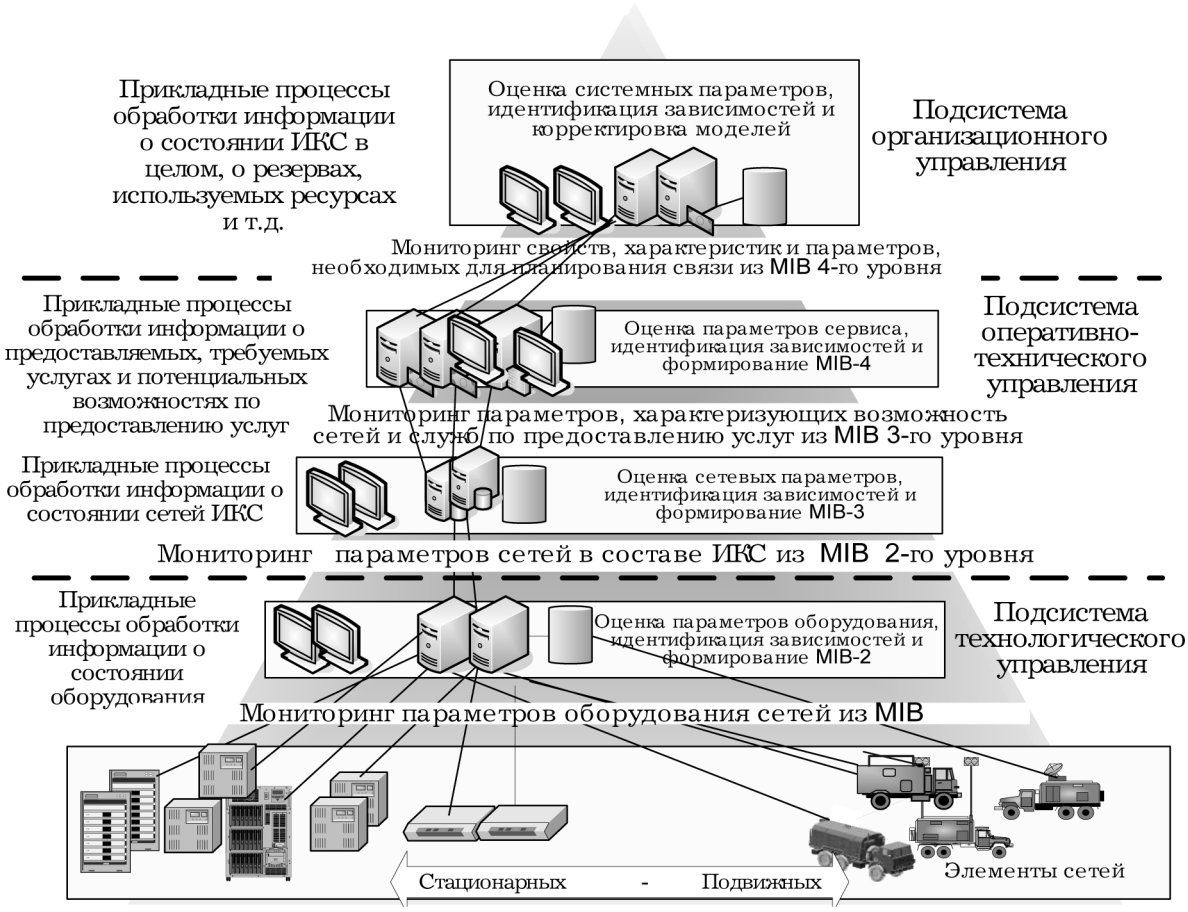

Рис. 4. Многоуровневая иерархическая модель мониторинга ИКС

и задач идентификации величин и процессов в ИКС целесообразно использовать одну и ту же методологию синтеза оптимальных методов обработки информации наблюдения. Поэтому различие задач оценивания и идентификации не принципиальное и заключается в разных параметрах наблюдения и особенностях как измеряемых характеристик ИКС, так и параметров законов их изменения. Это различие приводит к некоторой специфике оптимальных методов обработки, однако способ построения методов обработки информации для обеих задач целесообразно использовать один и тот же. В этом плане рассмотрим постановку задач мониторинга ИКС, рис. 5.

Та или иная реализация подсистемы мониторинга АСУ ИКС позволяет измерять и контролировать множество параметров ИКС, характеризующих ее состояние. Это множество параметров представлено в виде некоторого n-мерного вектора наблюдения $\mathbf{X}_n(t) = [x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]$.

Подсистема мониторинга АСУ ИКС должна по вектору наблюдения $\mathbf{X}_n(t)$ получить оценку $\mathbf{S}_n^*(t)$ вектора состояния ИКС $\mathbf{S}_n(t) = [s_1(t), s_2(t), ..., s_n(t)]$, при этом будем исходить из того факта, что размерности и качественный состав векторов $\mathbf{X}_n(t)$, $\mathbf{S}_n(t)$ и $\mathbf{S}_n^*(t)$ совпадают.

Оценку качества подсистемы мониторинга АСУ ИКС целесообразно осуществлять по апостериорным данным, а его анализ можно рассматривать как процедуру, состоящую из синтеза некоторой подсистемы мониторинга, обеспечивающей построение апостериорного распределения выходных многомерных (n-мерных) параметров, характеризующих оценку состояния ИКС, для идеального $\mathbf{S}_n^T(t)$ и реального $\mathbf{S}_n^R(t)$ контура подсистем мониторинга АСУ ИКС по результатам наблюдения вектора $\mathbf{X}_n(t) = [x_1(t), x_2(t), ..., x_n(t)]$, характеризующего функционирование сети посредством вычисления апостериорного среднего риска:

$$R_{risk}^* = \int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty} l(\mathbf{S}_n^R(t), \mathbf{S}_n^T(t)) f^*(\mathbf{S}_n^R(t), \mathbf{S}_n^T(t) \mid \mathbf{X}_n(t)) dS^R dS^T, \quad (2)$$

где $f^*(\mathbf{S}_n^R(t), \mathbf{S}_n^T(t) \mid \mathbf{X}_n(t))$ – совместная апостериорная плотность вероятности оценки вектора состояния ИКС $\mathbf{S}_n(t)$, выполняемых в идеальном и реальном контурах подсистемы мониторинга при наблюдении вектора $\mathbf{X}_n(t)$;

$l(\mathbf{S}_n^R(t), \mathbf{S}_n^T(t))$ – функция потерь.

Выражение (2) для апостериорного риска можно записать в виде:

$$R_{risk}^* = \mathbf{M}[\int_{-\infty}^{\infty} l(\mathbf{S}_n^R(t), \mathbf{S}_n^T(t)) \mid \mathbf{X}_n(t)]. \quad (3)$$

где M – оператор условного математического ожидания.

Естественно синтез оптимальных контуров в подсистеме мониторинга АСУ ИКС, необходимых для решения задач оценивания и идентификации, целесообразно провести по критерию минимума среднего риска.

Пусть наблюдаемым многомерным параметром является вектор $\mathbf{X}_n(t)$. Этот параметр зависит от оцениваемого вектора состояния $\mathbf{S}_n(t)$ и комплекса помех $\mathbf{\Pi}_\Xi(t)$, вызванных случайными факторами и целенаправленными воздействиями нарушителей (включая различные информационные воздействия). Требуемым выходным многомерным параметром идеального контура в подсистеме мониторинга АСУ ИКС является $\mathbf{S}_n^T(t)$, выходным многомерным параметром реального контура $\mathbf{S}_n^R(t)$, а выходным многомерным параметром оптимального контура $\mathbf{S}_n^{Opt}(t)$.

В наиболее общем случае контуры могут реализовывать определенные случайные механизмы, которые при фиксированном наборе $\mathbf{X}_n(t)$, вырабатывали бы определенные реализации выходных многомерных параметров с условными плотностями вероятности $\mu_t(\mathbf{S}_n^T(t) \mid \mathbf{S}_n(t))$ и $\omega_R(\mathbf{S}_n^R(t) \mid \mathbf{X}_n(t))$ соответственно.

В частном случае с детерминированными правилами решения для идеальных контуров подсистемы мониторинга АСУ ИКС правила решения превращаются в δ-функцию. В этом случае целесообразно рассматривать реальные контуры подсистемы мони-

Рис. 5. Постановка задач мониторинга ИКС

торинга АСУ ИКС с детерминированными правилами решения, которые также превращаются в δ-функцию.

Что же можно использовать и что можно предложить в качестве априорной информации при синтезе контуров подсистемы мониторинга АСУ ИКС? Очевидно, что в качестве такой информации могут быть взяты заданные плотности вероятности и правило решения для идеального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС $\mu_t(\mathbf{S}_n^T(t)\,|\,\mathbf{S}_n(t))$, которое отражает функциональное назначение контура. Тогда необходимо выбрать определенное правило решения из условия выполнения минимума среднего риска.

Таким образом, общим критерием оптимальности контуров подсистемы мониторинга АСУ ИКС является минимум среднего риска по тому или иному правилу решения:

$$R^*_{risk}(\mathbf{X}_n(t)) = \min_{\omega_R} R^*_{risk}(\omega_R)\,. \qquad (4)$$

Чтобы определить правила решения для оптимального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС требуется получить соответствующее ему уравнение. Будем считать, что выполняется условие, когда необходимое преобразование носит детерминированный характер.

Если провести анализ вербального и математического описания ИКС [3], то он покажет, что характер основных параметров, характеризующих состояние сети, таков, что при оценивании и идентификации законов их изменения допустимо считать функцию потерь $l[\mathbf{S}_n^R(t),\mathbf{S}_n^T(\mathbf{S}_n(t))]$ выпуклой и дифференцируемой по всем своим аргументам (множеству параметров ИКС).

В этих условиях существует неслучайное (нерандомизированное) правило решения $\omega_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Det}}$ для реального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС такое, что:

$$R^*_{risk}(\omega_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Det}}) \le R^*_{risk}(\omega_{\mathrm{R}})\,. \qquad (5)$$

Иначе говоря, средний риск $R^*_{risk}(\omega_{\mathrm{R}}^{\mathrm{Det}})$ при неслучайном (нерандомизированном) правиле решения для реального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС не превосходит значения среднего риска $R^*_{risk}(\omega_{\mathrm{R}})$ при любом рандомизированном (случайном) правиле решения для того же реального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС.

Естественно, что для оптимального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС выходной многомерный параметр должен быть таким, чтобы средний риск был минимальным.

При этом можно, выбрав вполне определенную функцию потерь $l[\mathbf{S}_n^{Opt}(t),\mathbf{S}_n^T(\mathbf{S}_n(t))]$, характерную для тех или иных условий функционирования ИКС, получить вполне конкретный вид уравнения для оптимального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС и соответствующего критерия оптимальности.

Таким образом, целесообразна общая байесова процедура оценки многомерного параметра $\mathbf{S}_n(t)$, однако специфика построения и функционирования ИКС, связанная с чрезвычайной ее сложностью, возможностью работать в различных условиях обстановки, а также целевым предназначением ИКС в составе системы связи конкретного ведомства или корпорации, требует внесения определенных корректив в процедуры мониторинга.

Так, эти факторы и обстоятельства определяют вид соответствующей функции потерь, что позволяет в ряде практических случаев построения контуров подсистемы мониторинга АСУ ИКС отыскать конкретные оптимальные методы мониторинга и установить соответствие между различными методами мониторинга, полученными по различным критериям оптимальности.

Так, для ИКС при проведении активных воздействий на нее нарушителей, но у которой динамические свойства средств связи достаточно стабильны, функцию потерь $l[\mathbf{S}_n^{Opt}(t),\mathbf{S}_n^T(\mathbf{S}_n(t))]=l(E_n)$ можно считать четной и дифференцируемой функцией ошибки $E_n=\mathbf{S}_n^{Opt}(t)-\mathbf{S}_n(t)$.

В этом случае условная плотность вероятности $f(\mathbf{S}_n(t)|\mathbf{X}_n(t))$ будет являться четной функцией аргумента, а оптимальная оценка многомерного выходного параметра ИКС $\mathbf{S}_n(t)$ составит:

$$\mathbf{S}_n^{Opt}(t)=\mathbf{G}(\mathbf{X}_n(t))\,. \qquad (6)$$

В условии тех же активных воздействий нарушителей, но для ИКС с динамическими свойствами средств связи достаточно нестабильными, функцию потерь $l[\mathbf{S}_n^{Opt}(t),\mathbf{S}_n^T(\mathbf{S}_n(t))]=l(E_n)$ можно считать четной, неотрицательной, дифференцируемой и возрастающей функцией ошибки $E_n=\mathbf{S}_n^{Opt}(t)-\mathbf{S}_n(t)$ При этом апостериорная плотность вероятности $f(\mathbf{S}_n(t)|\mathbf{X}_n(t))$ имеет один максимум (унимодальная плотность распределения).

В целом оптимальная по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценка оцениваемого многомерного выходного параметра $\mathbf{S}_n^{Opt}(t)$ линейна относительно наблюдаемого многомерного параметра $\mathbf{X}_n(t)$ и эквивалентна таким оценкам по различным критериям оптимальности, получаемым минимизацией среднего риска при различных функциях потерь.

Установив эквивалентность критериев для сформулированных условий, можно упростить процедуру получения оптимальных методов. Так, например, оптимальная оценка многомерного выходного параметра по критерию максимума вероятности попадания ошибки в заданный интервал ($P\left|(\mathbf{S}_n^{Opt}(t)-\mathbf{S}_n(t)\right|<\Delta\mathrm{E}_n$ и при зафиксированных условиях функционирования ИКС) соответствует оптимальной оценке по критерию минимума среднего квадрата ошибки.

Для ИКС, динамические свойства средств связи которой существенно нестабильны, функцию потерь можно считать квадратичной функцией ошибки. В этом случае байесова оценка является минимаксной,

а оценкой распределения оцениваемого многомерного выходного многомерного параметра $\mathbf{S}_n(t)$ будет равномерное распределение.

Вместе с тем условия оптимальности контуров подсистемы мониторинга АСУ ИКС, в принципе, позволяют получить конкретные выражения для оптимальной оценки требуемого выходного многомерного параметра $\mathbf{S}_n(t)$ для различных выбранных критериев оптимальности процедур мониторинга. Однако, на практике, для подавляющего большинства ведомственных ИКС и возможных воздействий нарушителей, в качестве критерия оптимальности достаточным является выбор минимума обобщенного среднего квадрата ошибки. При этом оптимальная оценка выходного многомерного параметра ИКС, соответствующая оптимальному контуру подсистемы мониторинга АСУ ИКС, обеспечивает минимум обобщенного среднего квадрата ошибки.

Таким образом можно утверждать, что оптимальной оценкой выходного многомерного параметра ИКС является апостериорное математическое ожидание требуемого многомерного параметра, а большая размерность ведомственной (корпоративной) сети предполагает четкую декомпозицию общего оператора мониторинга оптимального контура подсистемы мониторинга АСУ ИКС на подоператоры и подконтуры по всем уровням управления, по всем фрагментам, компонентам, узлам и элементам ИКС и достаточно высокие требования к оперативности организации процедур мониторинга, определяемых короткими интервалами циклов управления ИКС в условиях скоротечных информационных воздействий (кибератак) нарушителей.

Поэтому с точки зрения методологии мониторинга целесообразным представляется такой подход к организации процессов мониторинга состояния ИКС, при котором общий вывод о виде оптимальной оценки выходного многомерного параметра ИКС остается как концептуальное требование, которому должны удовлетворять все применяемые методы мониторинга [24], положения которого позволяют задать оптимальные, субоптимальные или квазиоптимальные статистические способы обработки информации (данных мониторинга) о состоянии величин и процессов, характеризующих параметры состояния ИКС как объекта контроля и управления, с целью их оценки и прогнозирования.

Выводы

1. Для качественного решения проблем оценивания состояния ИКС необходимо иметь некоторые методологические основы процессов мониторинга, основанных на принципах системного подхода и системного анализа.

2. Неоднозначность толкования понятия мониторинга в различных публикациях приводит к необходимости введения терминологических основ методологии мониторинга ИКС.

3. Под мониторингом ИКС следует понимать организацию процессов многоуровневого многоэтапного получения, сбора, обработки, обобщения, оценки и прогнозирования информации о состояния сети, состоянии всех ее компонентов, протекающих в ней процессов и всех элементов сети, а также организация процессов периодической идентификации ИКС.

4. Всякое измерение величин и параметров процессов в ИКС осуществляется с ошибками. Поэтому определение необходимых для апостериорного анализа характеристик ИКС не может быть проведено абсолютно точно. Влияние воздействий (в т. ч. преднамеренных) и помех в наблюдаемых параметрах и ошибки при измерении приводят к тому, что апостериорные данные необходимо рассматривать как реализации случайных объектов (величин, функций). При этом процесс измерения всегда будет иметь смысл, если он позволяет уменьшить априорную неопределенность.

5. При решении практических задач организации мониторинга и управления ИКС нередко оптимальные методы целесообразно заменить субоптимальными (близкими к оптимальным) или квазиоптимальными (почти оптимальными). Но тогда необходимо указать отклонения показателя качества от оптимального значения, которые следует ожидать при замене оптимальных методов субоптимальными или квазиоптимальными.

6. Оценку качества подсистемы мониторинга АСУ ИКС целесообразно осуществлять по апостериорным данным, а его анализ следует рассматривать как процедуру, состоящую из синтеза некоторой подсистемы мониторинга, обеспечивающей построение апостериорного распределения выходных многомерных параметров, характеризующих оценку состояния ИКС, для идеального и реального контура по результатам измерения вектора наблюдения, характеризующего функционирование сети посредством вычисления апостериорного среднего риска.

7. Синтез оптимальных контуров в подсистеме мониторинга АСУ ИКС, необходимых для решения задач оценивания и идентификации, целесообразно проводить по критерию минимума среднего риска.

8. Выбор вполне определенной функции потерь, характерной для тех или иных условий функционирования сети, позволяет получить конкретный вид уравнения для оптимального контура подсистемы мониторинга и соответствующего критерия оптимальности.

9. Оптимальная по критерию минимума среднего квадрата ошибки оценка оцениваемого многомерного выходного параметра сети линейна относительно наблюдаемого многомерного параметра и эквивалентна таким оценкам по различным критериям оптимальности, получаемым минимизацией среднего риска при различных функциях потерь.

10. Выводу о виде оптимальной оценки выходного многомерного параметра ИКС должны удовлетворять все известные методы мониторинга, что позволит задать оптимальные, субоптимальные или квазиоптимальные способы обработки данных мониторинга.

Литература

1. О связи : Федеральный закон от 18.06.2003 № 319–ФЗ // Российская газета. – 2003. – № 0 (3249).

2. Буренин, А. Н. Теоретические основы управления современными телекоммуникационными сетями / А.Н. Буренин, В.И. Курносов. – Москва : Наука, 2011. – 463 с

3. Буренин, А. Н. Современные инфокоммуникационные системы и сети специального назначения. Основы построения и управления / А.Н. Буренин, К.Е. Легков. – Москва : Медиа Паблишер, 2015. – 348 с.

4. Рузавин, Г. И. Методология научного исследования / Г.И. Рузавин. – Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 1999. – 317 с.

5. Волкова, В. Н. Теория систем и системный анализ / В.Н. Волкова, А.А. Денисов. – Москва : Университеты России, 2010 – 679 с.

6. Оптнер, С. Системный анализ / С. Оптнер. – Москва : Советское радио, 1969. – 69 с.

7. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – Москва : URSS, 2011. – 487 с.

8. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – Москва : Высшая школа, 1989. – 368 с.

9. Сурмин, Ю. П. Теория систем и системный анализ / Ю.П. Сурмин. – Санкт-Петербург : СПбГИЭУ, 2002. – 255с.

10. Буренин, А. Н. Некоторые подходы к системному анализу процессов управления современными мультисервисными сетями связи / А.Н. Буренин, К.Е. Легков, А.И. Мясникова // H&ES: Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2012. – Т. 4, № 1. – С. 42–46.

11. Буренин, А. Н. Элементы системного анализа процессов управления современными инфокоммуникационными сетями / А.Н. Буренин, М.Ю. Аванесов // Информация и Космос. – 2021. – № 1. – С. 55–64.

12. Буренин, А. Н. Архитектура подсистем мониторинга систем управления мультисервисными сетями / А.Н. Буренин // Вопросы радиоэлектроники. – 2014. – Т. 3, № 1. – С. 31–35.

13. Буренин, А. Н. Модели мониторинга параметров управления инфокоммуникационных сетей специального назначения / А.Н. Буренин, К.Е. Легков, Д.В. Негодин // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. – 2015. – № 1. – С. 71–74.

14. Буренин, А. Н. К вопросу моделирования процессов мониторинга при обеспечении оперативного контроля эксплуатации инфокоммуникационных сетей специального назначения / А.Н. Буренин, К.Е. Легков, О.Е. Нестеренко // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2014. – № 3. – С. 9–15.

15. Легков, К. Е. Проведение экспериментов по сбору трафика и моделированию методики оценки изменения качества информационного обмена в инфокоммуникационной системе специального назначения / К.Е. Легков // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2014. – Т. 8, № 5. – С. 36–44.

16. Легков, К. Е. Модели и методы оперативного мониторинга информационных подсистем перспективных автоматизированных систем управления / К.Е. Легков, А.Н. Буренин // Информация и Космос. – 2016. – № 4. – С. 46–60.

17. Терентьев, А. М. Сетевой мониторинг. Автоизоляция некорректных объектов сети. Т. 3 : монография / А.М. Терентьев. – Чебоксары : ИД «Среда», 2021. – 104 с.

18. Терентьев, А. М. Сетевой мониторинг. Методы и средства. Т. 1 : монография / А. М. Терентьев. – Чебоксары : ИД «Среда», 2019. – 116 с.

19. Аверченков, В. И. Мониторинг и системный анализ информации в сети Интернет / В.И. Аверченков, С.М. Рощин. – Москва : Изд. Флинта, 2011. – 160 с.

20. Кравец, О. Я. Стохастическая модель оптимизации мониторинга телекоммуникационных сетей / О.Я. Кравец, Н.Н. Севрюков // Успехи современного естествознания. – 2004. – № 10. – С. 67–69.

21. Сидоров, И. А. Обзор современных средств для комплексного мониторинга высокопроизводительных вычислительных систем / И.А. Сидоров, В.Р. Кузьмин // Фундаментальные исследования. – 2016. – № 9-1. – С. 62–67.