Элементы системного анализа процессов управления современными инфокоммуникационными сетями

Elements of a system analysis of processes for controlling 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

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

Ключевые слова: система – system; инфокоммуникационная сеть – infocommunication network; управление – management; многомерный случайный процесс – multivariate casual process; оптимизация – optimization.

Рассматриваются вопросы проведения системного анализа процессов управления современными инфокоммуникационными сетями многофункциональных сложных организационно-технических систем. Показано, что при организации управления необходимо разрешить ряд проблем, что невозможно сделать без реализации процедур системного анализа процессов управления. Предлагается новая объектно-ориентированная методология проведения системного анализа, предусматривающая ряд последовательно выполняемых процедур частного анализа: анализ характеристик процессов управления, анализ логической структуры процессов управления, анализ технологий управления, анализ временной структуры формирования процессов управления.

The article deals with the issues of conducting a system analysis of the management processes of modern infocommunication networks of multifunctional complex organizational-technical systems. It is shown that when organizing management, it is necessary to resolve a number of problems, which cannot be done without implementing the procedures for system analysis of management processes. A new object-oriented methodology for carrying out system analysis is proposed, which provides for a number of sequentially performed private analysis procedures: analysis of the characteristics of management processes, analysis of the logical structure of management processes, analysis of management technologies, analysis of the temporal structure of the formation of management processes

Введение

В настоящее время как в Российской Федерации, так и в других развитых странах мира осуществляется создание многофункциональных сложных организационно-технических систем (МСОТС) различного предназначения, процессы функционирования которых поддерживаются комплексами развитых систем связи и управления [1], в основе которых лежат системы, развившиеся на спонтанных процессах конвергенции информационных и телекоммуникационных компонентов с конвергенцией информационных и телекоммуникационных технологий – инфокоммуникационные сети (ИКС) [2]. ИКС обеспечивают многочисленных пользователей МСОТС всеми необходимыми телекоммуникационными и информационными услугами в условиях широкого спектра воздействий нарушителей.

ИКС МСОТС функционируют в условиях многократно повторяемых преднамеренных возмущений нарушителей (компьютерные и сетевые атаки, разрушающие их структуру воздействия и т. д.), что приводит к тому, что процессы их функционирования носят неопределенный характер. Для реагирования на возмущения и смещение функционирования сети в сторону случайности, требуется постоянно управлять ИКС МСОТС [3–6].

При организации управления ИКС МСОТС необходимо разрешить ряд проблем. Это невозможно сделать без реализации процедур системного анализа процессов управления ИКС МСОТС.

Общие подходы к системному анализу процессов управления

Любое исследование сложных процессов (в том числе процессов управления) проводится на базе известных или вновь разработанных методов, методик и методологий [7]. Наиболее общим понятием, которое обозначает все возможные проявления ИКС МСОТС как объекта управления, является «системность», которую будем рассматривать в трех аспектах [8]:

1-2021.indd 55 23.03.2021 14:15:40

– предметно ориентированная системная теория, дающая научное знание о ИКС МСОТС и описывающая ее организацию, функционирование и развитие;

– системный подход, основоположниками которого являются Л. Фон Берталанфи, А. А. Богданов, Г. Саймон, П. Друкер, А. Чандлер;

– системный анализ.

Известно [8–12], что системный анализ является научным методом, содержащим последовательность действий по установлению структурных связей между компонентами, элементами и переменными исследуемой системы. Успешность применения этого научного метода определяется современными возможностями информационных технологий. Так, академик Н. Н. Моисеев приводит, по его выражению, довольно узкое определение системного анализа [10]: «Системный анализ – это совокупность методов, основанных на использовании ЭВМ и ориентированных на исследование сложных систем – технических, экономических, экологических и т. д.». Результатом таких системных исследований является выбор плана решения проблем, параметров и способов их решения и т. д. Поэтому истоки системного анализа, его методические концепции лежат в тех дисциплинах, которые занимаются проблемами принятия решений: исследование операций и общая теория управления, а суть системного анализа состоит в применении системного подхода.

Согласно общей классификации проблем [10–12], все частные проблемы при решении задач управления ИКС МСОТС целесообразно разделить на три класса:

– хорошо структурированные или количественно сформулированные частные проблемы, в которых существенные зависимости между параметрами и переменными ИКС МСОТС, параметрами и переменными процессов управления ею выяснены достаточно хорошо;

– неструктурированные или качественно выраженные частные проблемы, содержащие лишь описание важнейших ресурсов, признаков и характеристик ИКС МСОТС;

– слабо структурированные или смешанные частные проблемы.

Для решения хорошо структурированных количественно выражаемых частных проблем используют известную методологию исследования операций, которая состоит в построении математической модели ИКС МСОТС и применении известных методов для отыскания оптимальной стратегии управления.

Для решения слабо структурированных и некоторых неструктурированных частных проблем используют методологию системного анализа, применение подсистем поддержки принятия решений, например на основе имитационного моделирования ИКС МСОТС.

В настоящее время методологии системного анализа еще не получили достаточно убедительной классификации [8–12], которая была бы принята единогласно всеми специалистами. Анализ следует из работ Квейда, Оптнера и Голубкова, в которых больше внимания уделяется разработке и исследованию альтернатив принятия решений, работ Черняка, в которых основное внимание уделяется вопросам агрегирования и структуризации целей, а также в работах Янга, в которых внимание уделено процессу реализации принятого решения. Вместе с тем все они не в полной мере учитывают специфику задач управления современными

Рис. 1. Новый подход к методологии системного анализа процессов управления ИКС МСОТС

1-2021.indd 56 23.03.2021 14:15:42

инфокоммуникациями, для которых требуется новый подход и новый вариант методологии. Элементы такого подхода и предложены в данной статье. Он иллюстрируется рис. 1.

В соответствии с предлагаемым вариантом методологии системного анализа процессов управления ИКС МСОТС, его необходимо начать с анализа характеристик процессов управления, т. к. ИКС как сложный объект управления целесообразно характеризовать некоторыми формальными признаками или характеристиками управляемых процессов, которые необходимо учитывать при организации процессов управления.

Анализ характеристик процессов управления ИКС МСОТС

Учитывая особенности построения и функционирования ИКС МСОТС, следует признать следующее: практическая невозможность строгого ее математического описания, стохастичность ее поведения, ее нетерпимость к управлению и нестационарность. Все эти обстоятельства приводят к тому, что цели управления ИКС МСОТС в полной мере никогда не достигаются. При этом под управлением ИКС МСОТС понимают процесс организации целенаправленного воздействия на нее, в результате которого сеть переходит в требуемое (целевое) состояние.

Пусть $\mathbf{Z}_c(t)$ вектор, характеризующий комплекс воздействий на ИКС МСОТС внешней среды: требования пользователей $\mathbf{Z}_{cuser}(t) \in \mathbf{Z}_c(t)$, естественные помехи, природные и техногенные воздействия $\mathbf{Z}_{crand}(t) \in \mathbf{Z}_c(t)$, предумышленные воздействия злоумышленников, как разрушающие, так и информационные, в т. ч. кибератаки $\mathbf{Z}_{cfins}(t) \in \mathbf{Z}_c(t)$, принадлежащий множеству возможных воздействий $\mathbf{Z} = \{\mathbf{Z}_c(t), \Im_c(t)\}$, в т. ч. неконтролируемых $\Im_c(t)$, а $\mathbf{S}_c(t)$ – вектор характеризующий состояние ИКС МСОТС (ее выход), принадлежащий множеству возможных состояний $\mathbf{S} = \{\mathbf{S}_c(t)\}$ и определяемый выражением $\mathbf{S}_c(t) = \mathbf{F}(t, \mathbf{Z}_c(t))$.

Каждая координата $c_1(t),...,c_p(t)$ определяет целевые функции

$$c_i(t) = a_i(t)\ \forall\ i = 1,...,p;$$
$$c_j(t) \geq (\leq) b_j(t)\ \forall\ j = 1,...,p;$$
$$c_l(t) \to \min\ (\max)\ \forall\ l = 1,...,p.$$

В целом состояние ИКС МСОТС зависит от состояния внешней среды $\mathbf{Z}_c(t)$ и управления $\mathbf{U}_c(t)$, т. е. $\mathbf{S}_c(t) = \mathbf{F}[t, \mathbf{U}_c(t), \mathbf{Z}_c(t)]$. Управление задается многокомпонентным вектором управления $\mathbf{U}_c(t)$.

Считаем ИКС МСОТС абсолютно управляемой, если цели управления всегда достигаются, т. е.

$$\begin{aligned} &\forall\ \mathbf{Z}_c(t) \in \mathbf{Z}(t);\ \forall\ \Im_c(t) \in \mathbf{Z}(t);\ \forall\ \mathbf{C}_c(t) \in \mathbf{C}; \\ &\exists\ \mathbf{U}_c^*(t) \in \mathbf{U};\quad \mathbf{C}(\mathbf{Z}_c(t), \mathbf{U}_c^*(t), \Im_c(t)) = \mathbf{C}^* \end{aligned}. \qquad (1)$$

Абсолютная управляемость реальной ИКС МСОТС во всех ситуациях не может быть обеспечена. Поэтому введем понятие частичной или относительной управляемости.

Если неуправляемость ИКС МСОТС связана с особенностями внешней среды и вызвана спецификой множества $\mathbf{Z}(t)$, то назовем ее **Z**-неуправляемость:

$$\begin{aligned} &\overline{S}_{ur}(t, \overline{Z}) : (\exists\ \mathbf{Z}_c(t) \in \mathbf{Z}(t) : \forall\ \Im_c(t) \in \mathbf{Z}(t), \forall \mathbf{C}_c(t) \in \mathbf{C}, \\ &\overline{\exists}\ \mathbf{U}_c(t) \in \mathbf{U} : \mathbf{C}(\mathbf{Z}_c(t), \mathbf{U}_c(t), \Im_c(t)) = \mathbf{C}^* \end{aligned}. \qquad (2)$$

Если неуправляемость ИКС МСОТС связана с целями, то назовем ее **C**-неуправляемость. Она характеризуется наличием таких целей, принадлежащих множеству допустимых целей, которые не могут быть достигнуты:

$$\begin{aligned} &\overline{\overline{S}}_{ur}(t, \overline{C}) : (\exists\ \mathbf{C}_c(t) \in \mathbf{C} : \forall\ \mathbf{Z}_c(t) \in \mathbf{Z}(t), \forall \Im_c(t) \in \mathbf{Z}(t) \\ &\overline{\exists}\ \mathbf{U}_c(t) \in \mathbf{U} : \mathbf{C}(\mathbf{Z}_c(t), \mathbf{U}_c(t), \Im_c(t)) = \mathbf{C}^* \end{aligned}. \qquad (3)$$

Приведенные выше типы неуправляемостей ИКС МСОТС необходимы при решении задачи синтеза управления, для решения которой необходимо иметь модель ИКС $\mathbf{S}_c(t) = \mathbf{F}(t, \mathbf{U}_c(t), \mathbf{Z}_c(t))$, информацию о состоянии среды $\mathbf{Z}_c(t) \in \mathbf{Z}(t)$ и цели управления $\mathbf{C}_c(t) = [c_1(t),...,c_p(t)]$.

Ситуация, которая складывается при управлении ИКС МСОТС, характеризуется тройкой $\mathbf{S}_u(t) = \{\mathbf{Z}_c(t), \Im_c(t), \mathbf{C}_c(t)\}$, в которой с помощью управления можно изменять лишь состояние $\mathbf{S}_c(t)$.

Достижение целей управления ИКС МСОТС можно только соответствующим изменением состояния $\mathbf{S}_c(t) = \mathbf{F}(t, \mathbf{U}_c(t)\ \mathbf{Z}_c(t))$ при выборе определенного управления $\mathbf{U}_c(t) = \mathbf{W}(\mathbf{I}_c(t), \mathbf{C}_c(t))$, зависящего от ситуации $\mathbf{I}_c(t)$. Выбор осуществляют из решения экстремальной задачи $\mathbf{Q}(\mathbf{Z}_c(t), \mathbf{S}_c(t)) \to \min\limits_{\mathbf{U}_c(t) \in \Xi}\ (\max\limits_{\mathbf{U}_c(t) \in \Xi})$. При этом решение – некоторое управление $\mathbf{U}_c^{opt}(t)$, являющееся оптимальным управлением ИКС МСОТС. В решении использована модель ИКС и учтен ресурс, выделяемый на управление Ξ.

Задачи такого класса относятся к задачам математического программирования. Они отличаются тем, что искомое управление представляет собой набор параметров $u_1,...,u_q$, а **Q** является векторной функцией управления $\mathbf{U}_c(t)$.

Таким образом, результатом анализа характеристик процессов управления ИКС МСОТС является то, что решение любой задачи синтеза управления сети в различных условиях функционирования может быть сведено к решению задачи математического программирования, что существенно облегчает сами процедуры организации оптимальных процессов управления и формирование стратегий управления ИКС МСОТС.

1-2021.indd 57 29.03.2021 14:15:43

Анализ логической структуры процессов управления ИКС МСОТС

Логическая структура процессов управления ИКС МСОТС определяет состав, последовательность и логическую взаимосвязь составляющих подпроцессов управления частных задач общей задачи управления.

Логическая структура процессов управления ИКС МСОТС в значительной степени определяется обоснованными и выбранными показателями эффективности функционирования и управления [3, 13–15]. Выполнение целей, поставленных перед АСУ ИКС МСОТС, в конечном итоге должно гарантировать ее функционирование с требуемой эффективностью. При этом процессы управления ИКС МСОТС будем считать эффективными, если они обеспечивают требуемую эффективность ее функционирования в условиях воздействия на нее и АСУ сети всего спектра естественных и преднамеренных воздействий, возмущений и помех (в т. ч. кибератак).

Введем сетевые параметры $L_э$ (множество аргументов, от которых зависит сам процесс функционирования), множество системных параметров L_c (параметры, определяющие сеть в целом), множество параметров, характеризующих входящие информационные потоки L_n, множество параметров внешней среды L_{cp}, множество состояний ИКС S_{co}, отображение $\Re_{co}$ этого множества само в себя, множество вероятностей состояний $P_{co} = \{P_{coi}\}$. Тогда процесс функционирования ИКС задается графом $G\left(S_{co}, \Re_{co}\right)$, в котором возможные переходы из одного состояния в другое происходят под действием причин из множества D_{pco}. Существует отображение Γ_{codp} множества D_{pco} во множество $P_{co} = \{P_{coi}\}$.

Можно построить отображение множества причин D_{pco} во множество параметров $L_{MN} = L_э \cup L_c \cup L_п \cup L_{ср}$. Это означает, что существует отображение множества параметров L_{MN} во множество $P_{co} = \{P_{coi}\}$, а элементы его служат характеристиками качества функционирования ИКС.

Из всей совокупности показателей эффективности ИКС МСОТС выделим основной показатель эффективности функционирования (ОПЭФ). Целесообразно под ОПЭФ понимать вероятность того, что ИКС МСОТС полностью выполнит все поставленные перед ней задачи на заданном отрезке времени, с требуемым уровнем выполнения этих задач. При этом следует установить степень влияния различных параметров из множества $L_{MN} = L_э \cup L_c \cup L_п \cup L_{ср}$ на ОПЭФ.

Решение сформулированной задачи предполагает наличие математического описания процесса функционирования ИКС, полнота которого зависит от того, сколько и каких параметров из множеств $L_э$, L_c, $L_п$ и $L_{ср}$ включено во множество L_{MN}, а результатом – явиться численные значения показателей эффективности $K_{rco} = K\left(t, L_э,\ L_c,\ L_п,\ L_{ср}\right)$.

Степень влияния параметров из $L_э$, L_c, $L_п$ и $L_{ср}$ на эффективность функционирования ИКС можно оценить по приращению показателей эффективности ее функционирования.

С учетом стохастического характера процесса функционирования ИКС МСОТС, в качестве показателя устойчивости ее функционирования может быть принята вероятность выполнения ею целевых задач. При этом процесс функционирования ИКС МСОТС считается устойчивым, если вероятность выполнения целевых задач с заданной эффективностью на заданном интервале времени будет не менее требуемой, т. е.

$$P\{Q\left[t, \mathbf{V}(t), \mathbf{Z}_{cv}(t), \mathbf{U}_T^{CY}(t)\right] \in \pi, t \in T_{ef} \in \sigma\} \geq P_T\ , \qquad (4)$$

где $Q\left[t, \mathbf{V}(t), \mathbf{Z}_{cv}(t), \mathbf{U}_T^{CY}(t)\right]$ – случайная функция времени, описывающая состояние процесса функционирования ИКС МСОТС;

$\mathbf{V}(t)$ – вектор фиксированных (невозмущенных) параметров (характеристик) ИКС МСОТС, определенный на множестве допустимых значений Ω_v;

$\mathbf{Z}_{cv}(t)$ – вектор возмущающих параметров, принадлежащих допустимому множеству Ω_z;

π – множество допустимых значений функционала, определяющее необходимое качество предоставляемых услуг;

σ – интервал функционирования ИКС МСОТС, $\sigma = (t_0, t_н)$;

$\mathbf{U}_T^{CY}(t)$ – вектор управления для фиксированного цикла управления с учетом возможных перекрестных неуправляемостей по $\left[\mathbf{Z}_c, \Im_c, \mathbf{C}_c\right]$ и возможной размытостью границ между $\mathbf{Z}_{cv}(t)$ и $\Im_{cv}(t)$;

T_{ef} – интервал времени, на котором ИКС МСОТС должна выполнить поставленные задачи с требуемой эффективностью.

Факт выполнения ИКС МСОТС всех целевых задач на выделенном интервале времени означает, что она отвечает заданным требованиям по эффективности. Вектор $\overline{\mathbf{S}}_n(t)$, определяя состояние ИКС МСОТС в текущий момент времени t, в последующие моменты времени $\theta > t$ зависит только от $\overline{\mathbf{S}}_n(t)$ и управляющих воздействий. Естественно, ИКС МСОТС считаем наблюдаемой, т.е. существует возможность достаточно точной оценки вектора ее состояния $\overline{\mathbf{S}}_n(t)$ по наблюдаемому на достаточно малом интервале времени от t до $\theta = t + \Delta t$ вектору наблюдения $\overline{\mathbf{X}}_r(t)$. В любой произвольный момент времени t n-мерный вектор состояния ИКС МСОТС $\mathbf{S}_n(t) = [s_1(t), \cdots,\ s_i(t), \cdots,\ s_n(t)]$ отображает ее структуру и протекающие в ней процессы с учетом воздействующих помех и возмущений.

Процесс управления ИКС МСОТС состоит в том, что каждому вектору $\overline{\mathbf{S}}_n^*(t)$ должен соответствовать определенный вектор управления $\mathbf{U}_\chi(t)\ \forall\chi \leq n$ и соответствующий ему вектор $\mathbf{Y}_k(t) = [y_1(t), \cdots,\ y_k(t)]$ – вектор управляющих воздействий. Как вектор управления $\mathbf{U}_\chi(t)\ \forall\chi \leq n$, так и вектор $\mathbf{Y}_k(t) = [y_1(t), \cdots,\ y_k(t)]$, однозначно соответствующий $\mathbf{U}_\chi(t)\ \forall\chi \leq n$, должны

1-2021.indd 58 23.03.2021 14:15:47

быть выработаны либо по соответствующей процедуре управления (управление с обратной связью) и оператор управления $\mathbf{W}_u$ как мера соответствия $\mathbf{Y}_k(t)$ вектору $\mathbf{S}_n(t)$)или сформированы заранее для каждого возможного значения вектора $\overline{\mathbf{S}}^*_n(t)$ или группы значений $\overline{\mathbf{S}}^*_{n\Omega}(t)=\{\overline{\mathbf{S}}^*_{ni}(t)\}$(программное или ситуационное управление).

И один и другой вариант формирования $\mathbf{U}_\chi(t)$ и выработки $\mathbf{Y}_k(t)$ предусматривает ту или иную оптимизацию процессов управления ИКС МСОТС, т. е. обеспечение экстремума показателя эффективности (или обеспечение выбранного критерия эффективности):

$$\Phi_{fc}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_u\right]\to \min_{\mathbf{W}_u}(\max_{\mathbf{W}_u}), \tag{5}$$

где $\Phi_{fc}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_u\right]$– функционал, задающий выбранный показатель эффективности при управлении ИКС МСОТС с обратной связью (feedback control).

$$\Phi_{pr}\left[t,\ \overline{\{\mathbf{S}}^*_{n\Omega}(t)\}\right]\to \min_{\mathbf{U}_{pr}}(\max_{\mathbf{U}_{pr}}), \tag{6}$$

где $\Phi_{pr}\left[t,\ \overline{\{\mathbf{S}}^*_{n\Omega}(t)\}\right]$– функционал, задающий выбранный показатель эффективности при программном управлении ИКС МСОТС;

$\mathbf{U}_{pr}$ – вариант управления.

Оператор управления $\mathbf{W}_u$, в функциональном плане, представляет собой совокупность подоператоров планирования $\mathbf{V}_\Pi$ и оперативного управления $\mathbf{U}_o$, т.е. $\mathbf{W}_u=\mathbf{W}\{\mathbf{V}_\Pi,\mathbf{U}_o\}$.

Оптимизация управления осуществляется как по всем подоператорам оператора $\mathbf{W}_u$, так и по каждому из них в отдельности:

$$\begin{aligned}
&\Phi\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_u\{\mathbf{V}_\Pi,\mathbf{U}_o\}\right]\to \min_{\mathbf{V}_\Pi,\mathbf{U}_o}(\max_{\mathbf{V}_\Pi,\mathbf{U}_o});\\
&\Phi\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}\{\mathbf{V}_\Pi,\mathbf{U}_o\}\right]\to \min_{\mathbf{V}_\Pi}(\max_{\mathbf{V}_\Pi});\ .\\
&\Phi\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}\{\mathbf{V}_\Pi,\mathbf{U}_o\}\right]\to \min_{\mathbf{U}_o}(\max_{\mathbf{U}_o})
\end{aligned} \tag{7}$$

В соответствии с архитектурой систем сетевого управления, стандартизированных в концепции TMN (Telecommunication management network), оператор управления $\mathbf{W}_u$ может быть декомпозирован по уровням архитектуры и состоять из подоператоров: планирования развития и применения ИКС МСОТС $\mathbf{W}_{\text{пс}}$;управления услугами, предоставляемыми ИКС МСОТС $\mathbf{W}_{\text{serv}}$; управления сетями (телекоммуникационными и сервисными) в составе ИКС МСОТС $\mathbf{W}_{\text{netw}}$;управления оборудованием (элементами) ИКС МСОТС $\mathbf{W}_{\text{пе}}$, т. е.

$$\mathbf{W}_u=\{\mathbf{W}_{\text{пс}},\mathbf{W}_{\text{serv}},\mathbf{W}_{\text{netw}},\mathbf{W}_{\text{пе}}\}. \tag{8}$$

Ясно, что каждый из подоператоров (8) представляется состоящим из подоператоров планирования и оперативного управления.

Кроме того, каждый из подоператоров (8) в соответствии со стандартом ISO 7498-4 и рекомендацией МСЭ-Т X.700, предполагающих реализацию пяти основных функций управления, осуществляемых прикладными процессами КСА АСУ ИКС, включает пять подоператоров управления соответственно качеством функционирования, структурой, устранением ошибок, использованием ресурсов, системной и информационной безопасностью:

$$\begin{aligned}
&\mathbf{W}^{\text{э}}=\{\mathbf{W}^{\text{э}}_{\text{пс}},\mathbf{W}^{\text{э}}_{\text{serv}},\mathbf{W}^{\text{э}}_{\text{netw}},\mathbf{W}^{\text{э}}_{\text{пе}}\};\ \mathbf{W}^{\text{ки}}=\{\mathbf{W}^{\text{ки}}_{\text{пс}},\mathbf{W}^{\text{ки}}_{\text{serv}},\mathbf{W}^{\text{ки}}_{\text{netw}},\mathbf{W}^{\text{ки}}_{\text{пе}}\};\\
&\mathbf{W}^{\text{отк}}=\{\mathbf{W}^{\text{отк}}_{\text{пс}},\mathbf{W}^{\text{отк}}_{\text{serv}},\mathbf{W}^{\text{отк}}_{\text{netw}},\mathbf{W}^{\text{отк}}_{\text{пе}}\};\ \mathbf{W}^{\text{р}}=\{\mathbf{W}^{\text{р}}_{\text{пс}},\mathbf{W}^{\text{р}}_{\text{serv}},\mathbf{W}^{\text{р}}_{\text{netw}},\mathbf{W}^{\text{р}}_{\text{пе}}\};.\\
&\mathbf{W}^{\text{sec}}=\{\mathbf{W}^{\text{sec}}_{\text{пс}},\mathbf{W}^{\text{sec}}_{\text{serv}},\mathbf{W}^{\text{sec}}_{\text{netw}},\mathbf{W}^{\text{sec}}_{\text{пе}}\}
\end{aligned} \tag{9}$$

Наряду с архитектурной уровневой декомпозицией $\mathbf{W}_u$ целесообразно провести его декомпозицию с учетом организационной и функциональной структур системы управления, т.е. соответственно для подсистем организационного управления, управления услугами, управления сетями ИКС МСОТС и управления оборудованием имеем:

$$\begin{aligned}
&\mathbf{W}_{\text{пс}}=\Big\{\{\mathbf{V}^{\text{э}}_{\text{пс}},\mathbf{U}^{\text{э}}_{\text{пс}}\},\{\mathbf{V}^{\text{ки}}_{\text{пс}},\mathbf{U}^{\text{ки}}_{\text{пс}}\},\{\mathbf{V}^{\text{отк}}_{\text{пс}},\mathbf{U}^{\text{отк}}_{\text{пс}}\},\\
&\{\mathbf{V}^{\text{р}}_{\text{пс}},\mathbf{U}^{\text{р}}_{\text{пс}}\},\{\mathbf{V}^{\text{sec}}_{\text{пс}},\mathbf{U}^{\text{sec}}_{\text{пс}}\}\Big\};\\
&\mathbf{W}_{\text{serv}}=\Big\{\{\mathbf{V}^{\text{э}}_{\text{serv}},\mathbf{U}^{\text{э}}_{\text{serv}}\},\{\mathbf{V}^{\text{ки}}_{\text{serv}},\mathbf{U}^{\text{ки}}_{\text{serv}}\},\{\mathbf{V}^{\text{отк}}_{\text{serv}},\mathbf{U}^{\text{отк}}_{\text{serv}}\},\\
&\{\mathbf{V}^{\text{р}}_{\text{serv}},\mathbf{U}^{\text{р}}_{\text{serv}}\},\{\mathbf{V}^{\text{sec}}_{\text{serv}},\mathbf{U}^{\text{sec}}_{\text{serv}}\}\Big\};\\
&\mathbf{W}_{\text{netw}}=\Big\{\{\mathbf{V}^{\text{э}}_{\text{netw}},\mathbf{U}^{\text{э}}_{\text{netw}}\},\{\mathbf{V}^{\text{ки}}_{\text{netw}},\mathbf{U}^{\text{ки}}_{\text{netw}}\},\{\mathbf{V}^{\text{отк}}_{\text{netw}},\mathbf{U}^{\text{отк}}_{\text{netw}}\},\\
&\{\mathbf{V}^{\text{р}}_{\text{netw}},\mathbf{U}^{\text{р}}_{\text{netw}}\},\{\mathbf{V}^{\text{sec}}_{\text{netw}},\mathbf{U}^{\text{sec}}_{\text{netw}}\}\Big\};\\
&\mathbf{W}_{\text{пе}}=\Big\{\{\mathbf{V}^{\text{э}}_{\text{пе}},\mathbf{U}^{\text{э}}_{\text{пе}}\},\{\mathbf{V}^{\text{ки}}_{\text{пе}},\mathbf{U}^{\text{ки}}_{\text{пе}}\},\{\mathbf{V}^{\text{отк}}_{\text{пе}},\mathbf{U}^{\text{отк}}_{\text{пе}}\},\\
&\{\mathbf{V}^{\text{р}}_{\text{пе}},\mathbf{U}^{\text{р}}_{\text{пе}}\},\{\mathbf{V}^{\text{sec}}_{\text{пе}},\mathbf{U}^{\text{sec}}_{\text{пе}}\}\Big\}\ .
\end{aligned} \tag{10}$$

В соответствии с (10) осуществляют оптимизацию процессов управления:

$$\begin{aligned}
&\Phi^*\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_{n_{\text{пс}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_{\text{пс}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}},\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}\}\right]\to \min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}},\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}}(\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}},\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}});\\
&\Phi^*\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_{n_{\text{пс}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_{\text{пс}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}},\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}\}\right]\to \min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}}}(\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}}});\ .\\
&\Phi^*\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_{n_{\text{пс}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_{\text{пс}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{пс}}},\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}\}\right]\to \min_{\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}}(\max_{\mathbf{U}_{o_{\text{пс}}}})
\end{aligned} \tag{11}$$

$$\begin{aligned}
&\Phi^{**}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_{n_{\text{serv}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_{\text{serv}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}},\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}\}\right]\to \min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}},\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}}(\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}},\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}});\\
&\Phi^{**}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_{n_{\text{serv}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_{\text{serv}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}},\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}\}\right]\to \min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}}}(\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}}});\ .\\
&\Phi^{**}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^*_{n_{\text{serv}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^*_n(t),\ \mathbf{W}_{\text{serv}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{serv}}},\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}\}\right]\to \min_{\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}}(\max_{\mathbf{U}_{o_{\text{serv}}}})
\end{aligned} \tag{12}$$

1-2021.indd 59 23.03.2021 14:15:51

$$\Phi^{***}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^{*}_{n_{\text{netv}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^{*}_{n}(t),\ \mathbf{W}_{\text{netv}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}\}\right]\to\min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}}\ (\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}});$$

$$\Phi^{***}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^{*}_{n_{\text{netv}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^{*}_{n}(t),\ \mathbf{W}_{\text{netv}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}\}\right]\to\min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}}}\ (\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}}});$$

$$\Phi^{***}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^{*}_{n_{\text{netv}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^{*}_{n}(t),\ \mathbf{W}_{\text{netv}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{netv}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}\}\right]\to\min_{\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}}\ (\max_{\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{netv}}}}) \quad (13)$$

$$\Phi^{****}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^{*}_{n_{\text{ne}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^{*}_{n}(t),\ \mathbf{W}_{\text{ne}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}\}\right]\to\min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}}\ (\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}});$$

$$\Phi^{****}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^{*}_{n_{\text{ne}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^{*}_{n}(t),\ \mathbf{W}_{\text{ne}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}\}\right]\to\min_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}}}\ (\max_{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}}});$$

$$\Phi^{****}\left[t,\ \overline{\mathbf{S}}^{*}_{n_{\text{ne}}}(t)\in\overline{\mathbf{S}}^{*}_{n}(t),\ \mathbf{W}_{\text{ne}}\{\mathbf{V}_{\Pi_{\text{ne}}},\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}\}\right]\to\min_{\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}}\ (\max_{\mathbf{U}_{\text{o}_{\text{ne}}}}) \quad (14)$$

Следует отметить, что управление планированием развития и применения осуществляется только в рамках всей ИКС МСОТС и не декомпозируется на каждую из составляющих подсетей, т.е. в рамках управления каждой из сетей, входящих в состав ИКС, реализуются только операторы управления услугами, телекоммуникационными и сервисными сетями, оборудованием (элементами) этих сетей.

Задачи управления оборудованием ИКС МСОТС, в основном сводятся к поддержанию каждого изделия в работоспособном состоянии с качеством работы не ниже требуемого. Поэтому основное внимание при этом должно уделяться организации эффективного мониторинга параметров оборудования, выявлению взаимовлияния параметров друг на друга и возможному прогнозированию предаварийных и аварийных состояний, их предотвращению за счет своевременного резервирования, ремонта и настройки.

Реализация процессов управления осуществляется средствами иерархической АСУ ИКС МСОТС. Варианты системного анализа АСУ как сложной иерархической системы рассмотрены в работе [16]. Однако анализ логической структуры процессов управления ИКС требует рассмотрения АСУ в другой плоскости. Для этого всему множеству пунктов управления i-го уровня АСУ [3, 14] ставится в соответствие некоторое множество чисел натурального ряда, которое соответствует множеству индексов i-го уровня иерархии системы управления: $I_i=\{1,2,.....,M_i\}$, где M_i – число одноуровневых пунктов управления ИКС МСОТС на i-м уровне иерархии.

Подчинение пункта управления i-го уровня соответствующим пунктам управления (i+1)-го уровня иерархии порождает разбиение множества I_i на совокупность подмножеств $I_i^j\ \forall\ j\in I_{i+1}$ с числом пунктов управления m_{ij}, удовлетворяющих следующим условиям:

$$I_i^j\in I_i;$$
$$I_iI_i^j\cap I_i^k=0,\ \ j\neq k;$$
$$\cup I_i^j=I_i^j;$$

$$M_i=\sum_j m_{ij}. \quad (15)$$

Каждый l-й пункт управления i-го уровня АСУ ИКС МСОТС характеризуется множеством векторов состояния $\mathbf{X}_{il}=\{\mathbf{x}_{il}^h\}$ размерности h_{il}, множеством векторов локальных выходных переменных $\mathbf{B}_{il}^{loc}(t)=\{\mathbf{b}_{il}^{loc}(t)\}$ размерности a_{il}, по которым производится управление, множеством векторов обобщенных выходных переменных $\mathbf{B}_{il}^{o}(t)=\{\mathbf{b}_{il}^{b}(t)\}$ размерности b, выдаваемых на j-й пункт управления (i+1)-го уровня, множеством векторов обобщенных выходных переменных $\mathbf{B}_{i-1,l}^{o}(t)=\{\mathbf{b}_{i-1,l}^{\varsigma}(t)\}$, поступающих в l-й пункт управления от подчиненных ему пунктов управления (i-1)-го уровня иерархии, множеством векторов самоуправления $\mathbf{U}_{il}^{l}(t)=\{\mathbf{u}_{il}^{q}(t)\}$ размерности q, множеством векторов управления $\mathbf{U}_{il}^{j}(t)=\{\mathbf{u}_{il}^{r}(t)\}$ размерности r, с помощью которого j-й пункт управления (i+1)-го уровня иерархии АСУ осуществляет управление l-м пунктом управления i-го уровня, множеством векторов управления $\mathbf{U}_{i-1,l}(t)=\{\mathbf{u}_{i-1,l}^{x}(t)\}$, с помощью которого l-й пункт управления i-го уровня иерархии АСУ осуществляет управление подчиненными пунктами управления (i-1)-го уровня, множеством векторов внешних возмущений $\mathbf{\Psi}_{il}(t)=\mathbf{Z}_{il}(t)\cup\Im_{il}(t)$, множеством векторов одноуровневого взаимодействия $\mathbf{S}_{il}^{v}=\{\mathbf{s}_{il}^{v}\}$ l-го пункта управления с v-м пунктом управления i-го уровня.

Организация информационных связей между пунктами управления различных уровней и внутри уровня обеспечивается обменом управляющей информацией (информационные потоки управляющей информации).

Каждый l-й пункт управления i-го уровня АСУ ИКС МСОТС задается рядом отображений:

$$\begin{aligned}
&X_{il}^{*}:\mathbf{B}_{il}^{o}(t)\to\mathbf{X}_{il}(t);\\
&\text{B}_{il}^{loc^{*}}:\mathbf{X}_{il}^{*}(t)\cdot\mathbf{U}_{il}^{l}(t)\cdot\mathbf{F}_{il}(t)\to\mathbf{B}_{il}^{loc}(t);\\
&\text{B}_{il}^{o^{*}}:\mathbf{B}_{il}^{loc}(t)\to\mathbf{B}_{il}^{o}(t);\\
&\Pi_{il}^{*}:\mathbf{B}_{il}^{loc}(t)\to\mathbf{S}_{il}^{v}(t);\\
&\Phi_{il}^{*}:\mathbf{U}_{il}^{l}(t)\cdot\mathbf{B}_{il}^{loc}(t)\cdot\mathbf{U}_{i+1,l}^{l}(t)\cdot\mathbf{S}_{il}(t)\to V_{il}^{l};\\
&F_{il}^{*}:\mathbf{U}_{il}(t)\cdot\mathbf{U}_{il}^{l}(t)\cdot\mathbf{B}_{il}^{o}(t)\to V_{il}
\end{aligned}, \quad (16)$$

где V_{il}^{l} – множество значений критерия $\mathbf{\Phi}_{il}^{*}$;

V_{il} – множество значений критерия F_{il}^{*}.

Выбор управляющих воздействий между уровнями иерархии АСУ ИКС МСОТС осуществляется путем последовательного решения оптимальных задач по критериям, приведенным выше, в каждом пункте управления, начиная с главного пункта управления, то есть при решении задач оптимизации по всему дереву целей.

Взаимодействие между пунктами управления может осуществляться различными способами и в АСУ ИКС МСОТС целесообразно рассматривать следующие виды

1-2021.indd 60 23.03.2021 14:15:53

координируемости: координируемость относительно задач, решаемых в рамках всей АСУ ИКС МСОТС; координируемость относительно задач, решаемых в главном (главных) пунктах управления; координируемость относительно задач, решаемых в пункте управления зоной предоставления инфокоммуникационных услуг; координируемость относительно задач, решаемых в каждом пункте управления; координируемость относительно задач, решаемых в пунктах управления всех узлов ИКС, узлов телекоммуникационных и сервисных сетей в составе ИКС МСОТС; координируемость относительно задач, решаемых в пунктах управления транспортной сети, сетей доступа, сервисных сетей; координируемость относительно компромиссного значения целевых функций подсистем АСУ.

Анализ технологий управления ИКС МСОТС

Еще одним важным элементом методологии системного анализа процессов управления ИКС МСОТС является анализ технологий управления. Известны базовые стандартизованные технологии управления современными сетями связи как построенных на основе концепции OSI, так и Интернет-ориентированных. Однако схемы применения технологий управления для ИКС МСОТС также требует существенной корректировки с учетом специфики самой сети, особенностей процессов управления ею и сложной организации АСУ.

Первый момент, на который следует обратить внимание при проведении анализа технологий управления, связан с тем, что многоуровневое и многозадачное управление такой сложной системой, какой является ИКС МСОТС, осуществляется иерархической АСУ, в которой часть функций управления должно осуществляться автоматически в реальном масштабе времени с возможностью вмешательства должных лиц пунктов управления (ДЛ ПУ) только при корректировке режимов выполнения этих функций, часть функций осуществляется в автоматизированном режиме с участием ДЛ ПУ как звеньев управления замкнутых контуров управления, часть функций управления осуществляется непосредственно ДЛ ПУ в полуавтоматизированном режиме при использовании специального программного обеспечения поддержки принятия решений программно-аппаратных комплексов средств управления АСУ, а часть функций – непосредственно ДЛ ПУ в ручном режиме при поддержке телекоммуникационных служб документального обмена, служебной связи, командно-оперативной связи и т.д.

Очевидно, что реализация перечисленных вариантов решения задач управления обеспечивается организацией различных программно-аппаратных средств и автоматизированных рабочих мест (АРМ) ДЛ ПУ и соответствующей поддержкой протоколов

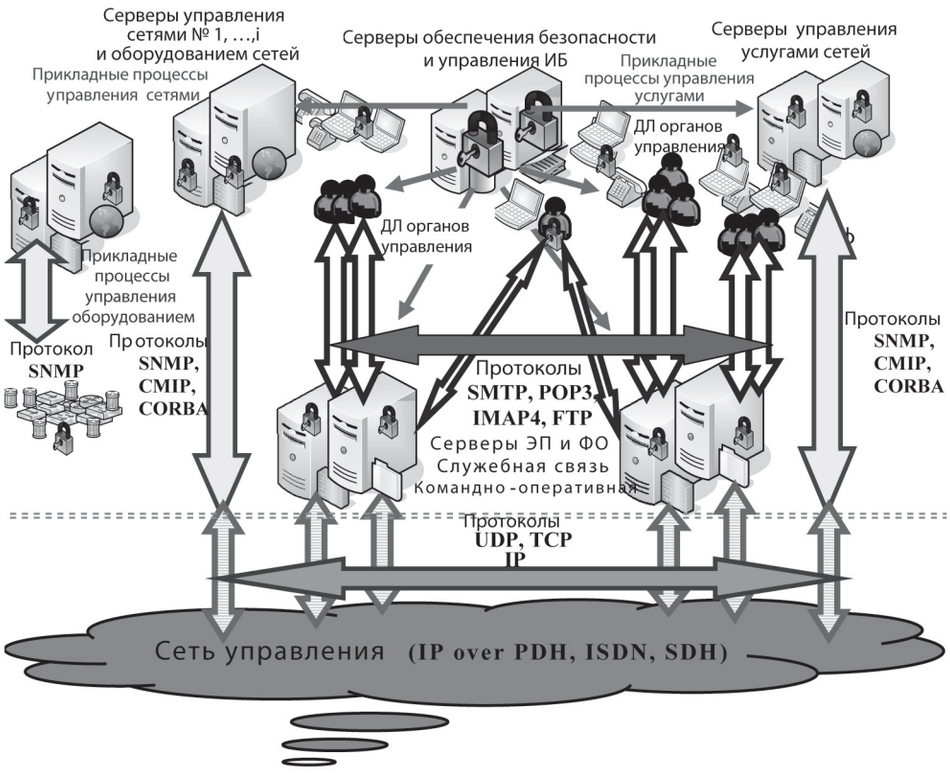

Рис. 2. Архитектура протоколов АСУ ИКС МСОТС

1-2021.indd 61 29.03.2021 14:15:54

управления и протоколов телекоммуникационной поддержки, рис. 2.

При решении задач управления сетями и услугами, а также управления планированием развития и применением ИКС МСОТС целесообразны для применения более функционально полные и защищенные протоколы, рекомендованные в рек. МСЭ-Т серии X.700 и стандартах ISO 7498-4 , 9595 и 9596, а именно протоколы CMIP. Для целей системного анализа процессов управления важны предложения по порядку применения этих протоколов на уровнях управления ИКС МСОТС и их комплексирование с применением протоколов SNMP на уровне управления оборудованием сетей. Перспективный вариант комплексного применения протоколов CMIP и SNMP приведен на рис. 3. При этом, наряду с функциональными задачами каждого уровня управления (начиная с уровня управления элементами (оборудованием сетей ИКС), должна присутствовать функция формирования соответствующих баз управляющей информации, сформированы агенты управления, поддерживающий протокол CMIP.

Системный анализ технологий управления ИКС МСОТС не может быть полным без анализа базовой архитектуры АСУ. Поэтому для системы управления ИКС МСОТС, т. к. она содержит множество различных сетей в своем составе, система управления каждой из которых может быть представлена в виде отдельной TMN, архитектура может быть представлена в виде совокупности нескольких соподчиненных TMN, рис. 4.

Определенное влияние на варианты построения АСУ ИКС МСОТС оказывает мировая тенденция эволюции различных систем управления, заключающаяся в переходе к системам с функциональностью класса Operation Support System (OSS) и Business Support System (BSS).

Как известно [3], системы управления класса OSS – это системы, отличающиеся существенно большей функциональностью с точки зрения сферы решаемых прикладных задач управления и их соотнесения с различными аспектами и этапами жизненного цикла МСОТС.

Применительно к АСУ ИКС МСОТС при развитии ее до класса OSS, характерно следующее (хотя в настоящее время общепринятая терминология в этой области практически отсутствует):

– объединение подсистем управления услугами, сетями в составе ИКС МСОТС и оборудованием в

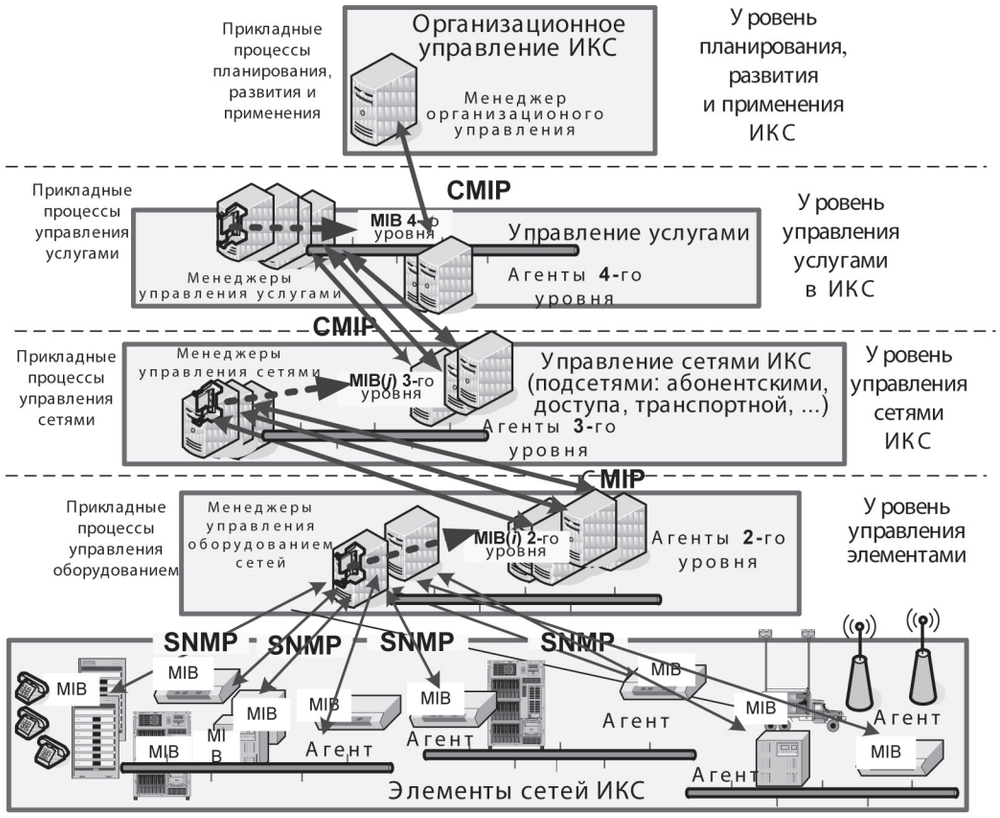

Рис. 3. Комплексное использование технологий сетевого многоуровневого управления при управлении ИКС МСОТС

1-2021.indd 62 29.03.2021 14:15:55

единую подсистему оперативного управления или в подсистему управления функционированием;

– развитие подсистемы организационного управления в подсистему управления планированием развития и применением ИКС МСОТС;

– выделение самостоятельных подсистем управления:

– развитием (проектными и строительно-монтажными работами и т. д.);

– обслуживанием;

– технической эксплуатацией (вводом в эксплуатацию, ремонтными работами и т.д.);

– безопасностью ИКС МСОТС.

Вопрос развития АСУ ИКС МСОТС до систем управления класса BSS на наш взгляд остается дискуссионным и такое развитие в этом направлении следует признать нежелательным, т.к. задачи по управлению такими аспектами системы связи как персонал, экономика, финансы и т. д. должны решаться органами управления связью соответствующих организаций, а не системой управления ИКС, основная цель которой состоит в обеспечении эффективного функционирования ИКС МСОТС в различных условиях.

Анализ временной структуры формирования процессов управления ИКС МСОТС

Анализ основных этапов и фаз формирования процессов управления ИКС МСОТС является заключительной фазой системного анализа.

Состав и содержание ее определяется проблемами формирования процессов управления ИКС МСОТС и базируется на результатах предыдущих фаз. Временная структура формирования процессов управления ИКС МСОТС, как элемент системного анализа содержит ряд последовательно выполняемых временных этапов анализа. Структура содержит начальный (предварительный) этап системного анализа процессов управления ИКС МСОТС, на котором осуществляется получение исходных данных, необходимых для организации процессов управления. Затем осуществляется анализ исходных данных и формирование из них требуемых массивов информации, которые необходимы для анализа моделей ИКС МСОТС, создаваемых в процессе анализа ИКС.

Создание модели ИКС начинается с построения ее логической модели, логических моделей всех телекоммуникационных и сервисных сетей, составляющих ИКС МСОТС. Логические модели сетей ИКС МСОТС служат основой для формирования математического описания как самой ИКС, так и задач управления ею.

На следующем этапе формируются описания задач мониторинга состояния ИКС МСОТС и задач управления ею. На основе описания задач обосновываются и формируются модели, методы и процедуры мониторинга параметров и состояния ИКС. Выбираются классы методов управления, которые характеризуются требуемым уровнем эффективности (выполняются критерии эффективности) и обеспечивают необходимый уровень информационной безопасности.

На базе выбранных классов методов управления обосновывают применение конкретных методов, на основе которых формируются объектно-ориентированные процессы управления с рассчитанными вероятностно-временными характеристиками. Эти процессы служат основой для формирования процессов пара-

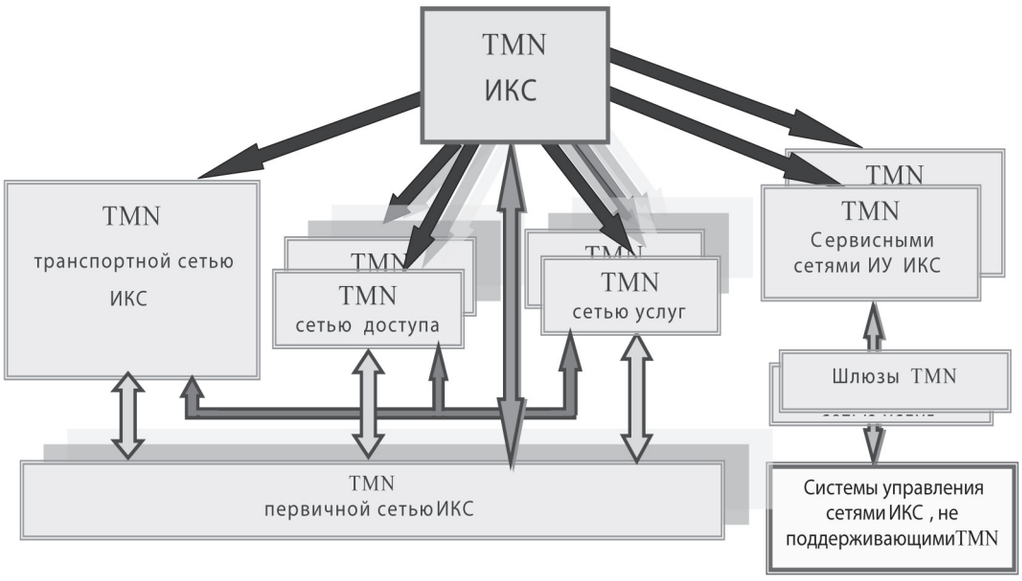

Рис. 4. Обобщенная TMN-ориентированная архитектура АСУ ИКС МСОТС

1-2021.indd 63 29.03.2021 14:15:55

метрического управления ИКС МСОТС. При этом осуществляют обоснование и выбор для применяемых классов методов по типам задач управления, частных показателей и критериев эффективности, исходя из основных показателей эффективности функционирования ИКС МСОТС. Выделяют фрагменты (зоны управления), характеризующиеся однотипными показателями эффективности управления.

Заключение

Анализ известных методологий системного анализа показывает, что все они не в полной мере учитывают специфику задач управления ИКС МСОТС, их сложность и неоднозначность в различных условиях функционирования. Поэтому в статье предлагаются элементы усовершенствованного объектно-ориентированного варианта методологии системного анализа процессов управления ИКС МСОТС, направленного на решение вопросов управления, учитывающего специфику ее построения и функционирования, возможные стратегии управления ими, стандарты и технологии сетевого управления.

Литература

1. Российская Федерация. Законы. О связи: федеральный закон: [принят Государственной Думой 18 июня 2003; одобр. Советом Федерации 25 июня 2003 г.] // Российская газета. – 2003. – № 0 (3249).

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

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

4. Легков, К. Е. Организация оперативного управления инфокоммуникационными сетями специального назначения в условиях интенсивных воздействий / К.Е. Легков, А.Н. Буренин // Электросвязь. – 2015. – № 7. – С. 29–33.

5. Буренин, А. Н. Метод повышения эффективности функционирования на основе процедур оперативного управления структурой информационных подсистем / А.Н. Буренин, К.Е. Легков // T-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2017. – Т. 11, № 9. – С. 48–57.

6. 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. – № 1. – С. 42–46.

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

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

9. Оптнер, С. Системный анализ для решения деловых и промышленных проблем / С. Оптнер. – М.: Сов. Радио, 1969. – 69 с.

10. Моисеев, Н. Н. Математические задачи системного анализа / Н.Н. Моисеев. – М.: URSS, 2011. – 487 с.

11. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ / Ф.И. Перегудов, Ф.П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.

12. Сурмин, Ю. П. Теория систем и системный анализ / Ю.П. Сурмин. – СПб.: СПбГИЭУ, 2002. – 255 с.

13. Буренин, А. Н. Модели стохастического управления современными инфокоммуникационными сетями / А.Н. Буренин, К.Е. Легков // Наукоемкие технологии в космических исследованиях Земли. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 26–31.

14. Буренин, А. Н. Системно-архитектурные вопросы построения автоматизированных систем управления связью / А.Н. Буренин // Телекоммуникационные технологии. – 1996. – Вып. 1. – С. 97–112.

15. Буренин, А. Н. Основные элементы системного анализа процессов управления современными мультисервисными сетями связи / А.Н. Буренин // Вопросы радиоэлектроники. – 2012. – Т. 3, № 2. – С. 22–29.

1-2021.indd – 64 29.03.2021 – 14:15:55