

УДК 681.327.8

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ (Часть 1)

В. Д. Нестеренко,

канд. техн. наук, начальник отдела новых технологий
ОАО «Северо-Западный Телеком»

Предложена архитектура инфокоммуникационной сети как объекта управления, основанная на модели мультисреды, охватывающей среды взаимодействия, генерации, распространения инфокоммуникационных сетей и позволяющая провести структуризацию моделей и алгоритмов их адаптивного управления.

The paper proposes an architecture for the infocommunication network as an object of control which is based on a model of composed media including the media of interaction, generation and interaction of infocommunication systems that allows the structuring of both the models and the algorithms of their adaptive control.

Необходимым условием формирования информационной инфраструктуры современного общества является создание инфокоммуникационных сетей (ИКС), которые образуются за счет конвергенции информационных и телекоммуникационных технологий на базе достижений в области микроэлектроники, фотоники и радиотехники [1–3]. Внедрение ИКС позволит создать инструментальную платформу для построения глобального информационного пространства, изменить не только способ производства продуктов и услуг, но и формы организации досуга, воспитания и образования, окажет решающее воздействие на социальную структуру общества, экономику, политику, развитие общественных институтов.

В отличие от сетей предыдущего поколения, ИКС должна обеспечивать не только передачу информации между пользователями, но и доступ пользователей к информационным услугам и контенту, что меняет концепцию сетевого управления. Соответствующие процессы реализуют сетевые мультисервисные центры обработки информации и управления нового типа, которые представляют собой систему взаимосвязанных во времени и пространстве протокольных, вычислительных, алгоритмических и коммутационных средств и являются необходимым элементом ИКС независимо от сетевой архитектуры и принципа интеллектуализации сети.

Невозможно для освещения проблемы не сказать несколько слов об истории создания мульти-

сервисной сети ОАО «Северо-Западный Телеком» (ОАО «СЗТ»).

1997 г. — построение сети передачи данных X25/FR/ATM филиала Петербургской телефонной сети (ПТС);

2001 г. — СПД ОАО ПТС становится системообразующим ядром для реализации проекта мультисервисной сети связи (МСС) на базе ATM-оборудования и системы управления фирмы Alcatel;

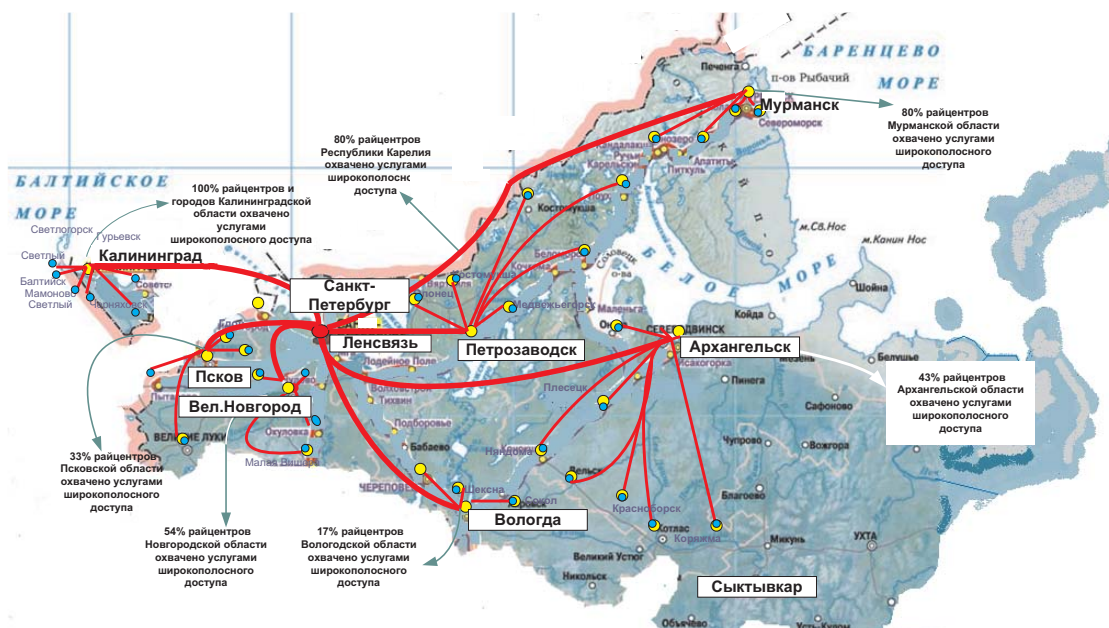
2003 г. — реализовано ядро МСС «СЗТ» и установлены региональные узлы магистрального уровня;

2004–2006 гг. — развитие региональных сетей передачи данных, построение ATM/IP MPLS сети ОАО «СЗТ».

Перспективы развития ИКС показаны на рис. 1.

Общесистемными требованиями к развитию ИКС являются:

- соответствие всего оборудования требованиям, предъявляемым к оборудованию операторского класса;
- обеспечение гарантированного качества для различных видов услуг (передача голоса, данных, видео);
- гарантированное обеспечение информационной безопасности пользовательских каналов;
- наличие развитых механизмов контроля выполнения соглашения о пользовательском трафике;
- универсальность базовой технологии переноса и коммутации любых информационных потоков;



■ Рис. 1. Перспективы развития ИКС

- возможность эффективно консолидировать существующие разнородные сети (X.25, Frame-Relay, выделенные каналы, IP и т. п.).

Как видно из истории и тенденций развития ИКС ОАО «Северо-Западный Телеком», наиболее характерной особенностью является усложнение самой сети и, естественно, усложнение ее формального описания для возможности прогнозирования развития и создания наиболее эффективных вариантов сети, способных адаптироваться при решении задач управления к стохастическим потокам пользователей. Это делает актуальным проработку концепции построения архитектуры моделей процессов управления ИКС, которая даст возможность увязать модели (аналитические, имитационные), полученные в различных предметных областях (вычислительной технике, технике связи, помехоустойчивом кодировании, информационной безопасности и др.), которые на данном этапе пересеклись при описании ИКС и требуют создания своего рода «математического интерфейса» по аналогии с реальными интерфейсами, принятыми в эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) [1].

Проведем формальное описание архитектуры ИКС как объекта управления, рассматривая взаимодействие внешней среды и элементов сети между собой и обработку цифровой информации каждым из элементов этой сети в соответствии с принципами ЭМВОС в виде внешней среды E (от англ. environment — среда) и сетевой среды N (от англ. net — сеть). Каждую из них представим в виде двух сред: среды генерации, или $GEN(E)$ -среды (от англ. generation — генерация), среды распространения, или $WID(E)$ -среды (от англ. widespread —

распространение), среды взаимодействия, или $INT(N)$ -среды — (от англ. interaction — взаимодействие) и среды обработки, или $PRO(N)$ -среды (от англ. processing — обработка) (рис. 2).

Выделение $GEN(E)$ -среды должно позволить описать воздействие пользователей на сеть, т. е. потоков их запросов на ресурсы ИКС; $WID(E)$ -среда должна позволить отразить воздействие внешних мешающих факторов (помех в канале связи (КСв), сбоев и т. п.) на распространение физических сигналов (электрических, оптических и т. д.); $INT(N)$ -среда даст возможность описать сеть в целом как единую систему, взаимодействующую с внешней средой на системном уровне ($GEN(E)$ - $INT(N)$ -уровне); $PRO(N)$ -среда даст возможность описать основные структурные элементы сети, обрабатывающие цифровую информацию: узлы коммутации, концентраторы, абонентские пункты, тракты передачи и т. п. — с учетом взаимодействия с внешней средой на реализационном (аппаратно-программном) уровне ($WID(E)$ - $PRO(N)$ -уровне).

Основное внимание в статье будет уделено управлению ядром ИКС, т. е. магистральной ее частью. Соответствующие процессы реализуют сетевые мультисервисные центры обработки информации и управления (ЦОУ) нового типа, которые представляют собой систему взаимосвязанных во времени и пространстве протокольных, вычислительных, алгоритмических и коммутационных средств и являются необходимым элементом ИКС независимо от сетевой архитектуры и принципа интеллектуализации сети [1].

Рассмотрение особенностей формализации выделенных сред начнем с $INT(N)$ -среды, так как она является связующей основой для остальных сред,

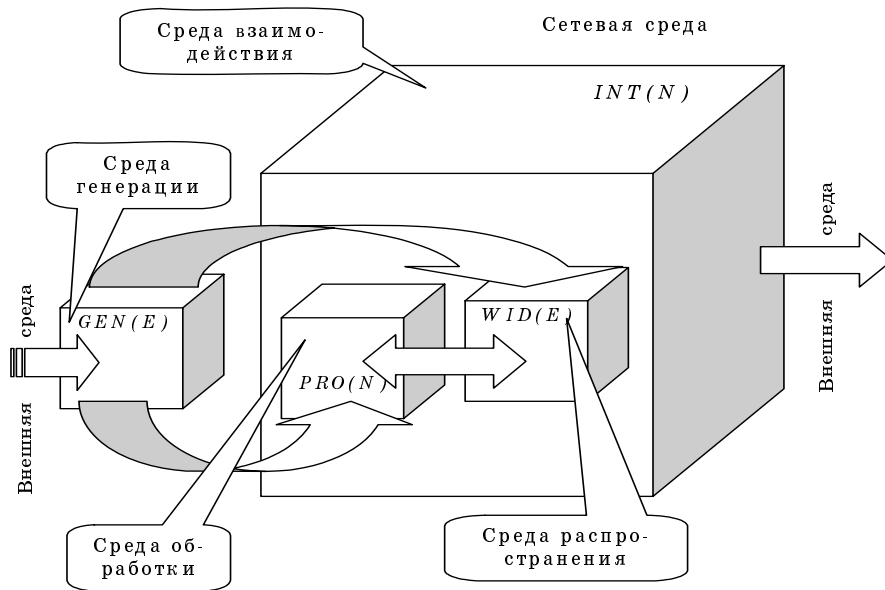


Рис. 2. Условно предлагаемая архитектура взаимодействия сред ИКС

с каждой из которых она взаимодействует. Представим $INT(N)$ -среду как некоторую однородную или регулярную информационно-вычислительную среду [1], состоящую из ЦОУ, формализуемых в виде многополюсников μ_i^n с тремя типами входов и выходов $\mu_{ki}^n, \mu_{ii}^n, \mu_{ij}^n$, у которых число входов соответствует числу выходов, так как, согласно ЭМВОС, все соединения между открытыми системами являются дуплексными. $INT(N)$ -среда имеет сложную структуру, позволяющую изображать иерархию в ИКС, т. е. выделять особенности взаимодействия ЦОУ внутри данного уровня иерархии и между соседними уровнями. При этом

$$\mu_i^n = \{\mu_{1i}^n, \mu_{2i}^n, \dots, \mu_{i(i-1)}^n, \mu_{ii}^n, \mu_{i(i+1)}^n, \dots, \mu_{in}^n\},$$

где i — номер уровня данного многополюсника: $i = 1, I_n, I_n$ — число уровней иерархии; n — номер ЦОУ в множестве узлов i -го уровня M_i ; $n = 1, N_i, N_i$ — число узлов i -го уровня иерархии. Иногда удобно рассматривать только связи между соседними уровнями

$$M_i^n = \{M_{i(i-1)}^n, M_{ii}^n, M_{i(i+1)}^n\},$$

а связи с не соседними уровнями изображать с помощью фиктивных узлов

$$M_j^n = \{M_{i(j-1)}^n, 0, M_{i(j+1)}^n\}.$$

Если M_i^n — множество всех входов и выходов n -го узла уровня i $INT(N)$ -среды, то $M_{ki}^n \in M_i^n$ является подмножеством входов и выходов n -го узла j -го уровня, соединенных с узлами следующего нижнего уровня, а $M_{ij}^n \in M_i^n$ — подмножество входов и выходов этого узла, связанных с узлами следующего верхнего j -го уровня. Каждое

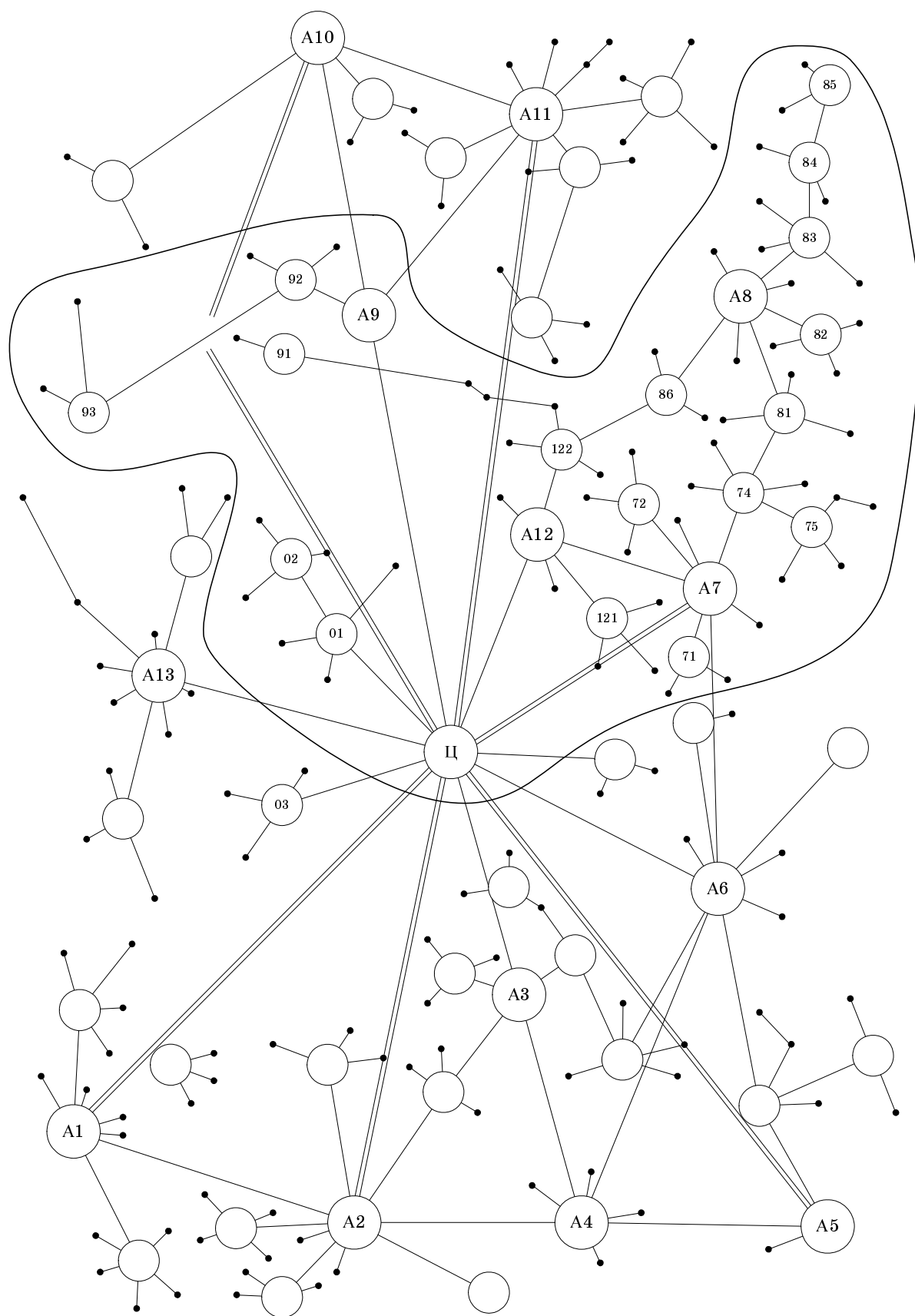
такое подмножество состоит из элементов M_{nk} : $M_{ki}^n = \{M_{n1}, \dots, M_{nNk}\}$.

Элементы, т. е. ЦОУ, имеют переменную структуру, а именно: при $M_i^n = \text{const}$ $M_{(i-1)i}^n = \text{var}$, $M_{ii}^n = \text{var}$, $M_{i(i+1)}^n = \text{var}$ и при этом $M_i^n = M_{(i-1)i}^n \cup M_{ii}^n \cup M_{i(i+1)}^n$ (в общем случае $M_i^n = \bigcup_{k=1}^{i-1} M_i^n \cup \bigcup_{j=i+1}^{I_n} M_{ij}^n$, каждый M_{jk} может принимать значение от 0 до M_i^n ; M_i^n тоже может быть переменным).

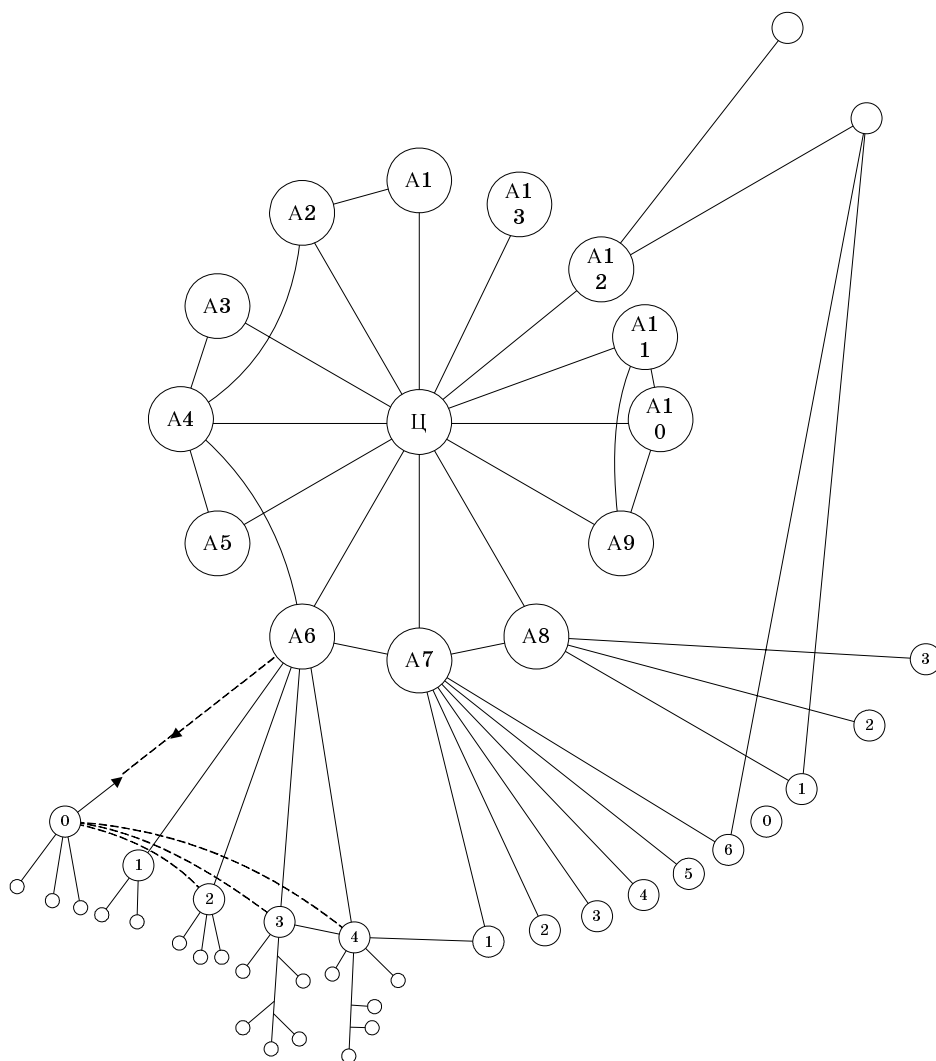
В терминах ЭМВОС рассматриваемые узлы $INT(N)$ -среды являются совокупностями открытых систем, которые подчиняются следующим правилам:

- связь между объектами одного и того же уровня двух или более открытых систем в рамках узла $INT(N)$ -среды может осуществляться через объекты смежных уровней, исключая физический;
- объекты открытых систем, находящиеся в разных узлах $INT(N)$ -среды, соединяются между собой обязательно через физические уровни этих систем.

Для описания и анализа особенностей $INT(N)$ -среды предлагается аппарат так называемых иерархических матриц связности (МС), которые будем называть H -схемами (от англ. hierarchical matrix connection). Структура любой сети может быть задана с помощью простой квадратной МС, размерность которой определяется числом узлов в сети N_y . В случае ИКС такая МС будет иметь большую размерность, к тому же применительно к каждому узлу она содержит много избыточной информации, но в явном виде в ней нельзя отразить факт наличия и особенности нескольких вторичных сетей (см. рис. 1).



■ Рис. 3. Пример произвольной радиально-кольцевой четырехуровневой ИКС: — — новая магистраль



■ Рис. 4. Фрагмент структуры ИКС

Эти недостатки можно устранить, если ввести понятие *H*-схем, представляющих собой совокупность квадратных и прямоугольных МС. Определим понятие *H*-схемы на примере произвольной радиально-кольцевой четырехуровневой ИКС (рис. 3.), на основе которой строится сеть для передачи интегральной информации с различными приоритетами. Характер доставляемых потоков информации, их направленность и приоритеты обуславливают упорядочивание ЦОУ, т. е. выделение среди множества региональных ЦОУ $\{A_x\}$ главного ЦОУ *Ц*, для которого требуется обеспечить прямую связь со всеми региональными узлами, что осуществляется путем выделения на существующих магистралях специального некоммутируемого канала или внедрения новой магистрали.

На рис. 3 условно изображены четыре категории ЦОУ, соответствующие четырем уровням

иерархии. Для удобства дальнейшего рассмотрения фрагмент структуры (см. рис. 3) представлен без учета реальных расстояний и с выделением уровней иерархии в виде концентрических кругов около центрального узла *Ц* (рис. 4). Данное представление дает возможность увидеть, что на базе первичной сети без каких-либо дополнительных работ по созданию КСв можно построить сеть передачи информации с ярко выраженной радиальной структурой. Новые физические линии обозначены сплошными линиями, а организованные с целью создания кольцевой структуры виртуальные каналы — штриховыми линиями, т. е. пунктиром обозначены сквозные каналы не на существующих физических линиях, а на базе логических каналов через замыкающий узел верхнего уровня.

Узел 0 служит для обозначения устройства, находящегося в узле высшего уровня, через кото-

рый подключаются абоненты прямо к узлу, а не через узел нижнего уровня. Такое условное обозначение вводится для сохранения единства представления, что существенно при разработке протоколов обмена. Конфигурация узлов задается в матричной форме с использованием квадратных МС узлов данного уровня размерностью $N_i \times N_i$, где N_i — число узлов соответствующего i -го уровня, и прямоугольных матриц связности узлов смежных уровней размерностью $N_i \times N_{i-1}$, где N_{i-1} — число узлов нижнего уровня. Матрицы имеют вид

$$\|M_{ii}\| = \begin{bmatrix} m_{ii}^{11} & m_{ii}^{12} & \dots & m_{ii}^{1N_i} \\ m_{ii}^{21} & m_{ii}^{22} & \dots & m_{ii}^{2N_i} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{ii}^{N_i 1} & m_{ii}^{N_i 2} & \dots & m_{ii}^{N_i N_i} \end{bmatrix}.$$

Очевидно, в МС могут стоять численные значения некоторых параметров, характеризующих соответствующие связи. Матрица $\|M_{ii}\|$ симметрична относительно главной диагонали, и ее элементами могут быть числа, которые обозначают число каналов в магистральной, прямо соединяющей узлы k и l . Если матрица относится к организации вторичных сетей, то ее можно представить в виде суммы матриц вторичных сетей, т. е.

$$\|M_{ii}\| = \|M_{ii}^I\| + \|M_{ii}^{II}\| + \dots + \|M_{ii}^{\bar{B}}\|,$$

где I, II, \dots, \bar{B} — индексы, обозначающие принадлежность к соответствующей вторичной сети. Матрицы $\|M_{ii}^I\|, \dots, \|M_{ii}^{\bar{B}}\|$ будем называть вторичными.

Для отображения связей между узлами соседних уровней составляются прямоугольные МС вида

$$\|M_{i,i+1}\| = \begin{bmatrix} m_{i,i+1}^{11} & m_{i,i+1}^{12} & \dots & m_{i,i+1}^{N_i 1} \\ m_{i,i+1}^{12} & m_{i,i+1}^{22} & \dots & m_{i,i+1}^{N_i 2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{i,i+1}^{1N_i+1} & m_{i,i+1}^{2N_i+1} & \dots & m_{i,i+1}^{N_i N_i+1} \end{bmatrix}.$$

Такие межуровневые МС могут быть первичными, отображающими физические соединения между узлами, и вторичными. В некоторых случаях МС можно рассматривать как булевы матрицы и применять к ним аппарат булевой алгебры. Также может быть применен аппарат преобразований булевых матриц к булевым определителям. Покажем, как МС формируется с помощью образующих векторов, содержащих упорядоченные символьные обозначения узлов, находящихся на одном и том же уровне, например: $\mathbf{J} = (n_1, n_2, \dots, n_{N_i})$, т. е. на уровне i имеется N_i узлов.

Определим вектор связности узла n_k :

$$\mathbf{J}_{n_k} = \left(\underbrace{m_{i,i+1}^{k1}, m_{i,i+1}^{k2}, \dots, m_{i,i+1}^{kN_{i+1}}}_{\text{столбец } \|M_{i,i+1}\|}, \underbrace{m_{ii}^{k1}, \dots, m_{ii}^{kN_i}}_{\text{строка } \|M_{ii}\|}, \underbrace{m_{i-1,i}^{1k}, m_{i-1,i}^{2k}, \dots, m_{i-1,i}^{N_{i-1}k}}_{\text{столбец } \|M_{i-1,i}\|} \right),$$

где $i-1, i$ и $i+1$ — соседние уровни иерархии сети.

На определенных таким образом МС, пользуясь некоторыми дополнительными средствами и понятиями, например понятиями ранга узла, ранга пути, сечения сети и ранга сечения сети, достаточно просто можно организовать поиск оптимального пути соединения двух абонентов, а также проводить оптимизацию структуры ИКС.

Для получения количественных оценок характеристик ИКС (и отдельных ее элементов) каждому узлу или связи между узлами приписывается вес — параметр, описывающий соответствующее свойство узла или связи, с указанием размерности. Для каждого параметра может быть составлена матрица, вхождения которой относятся либо к связям, либо к узлам (на главной диагонали). Прежде всего введем матрицы, характеризующие связи, которые еще называют матрицами морфологических характеристик (параметров): матрицы смежности, длин связей, пропускных способностей каналов, прямых каналов, надежности, кратчайших путей, пропускных способностей кратчайших путей, стоимости кратчайших путей, числа транзитов кратчайших путей и т. п.

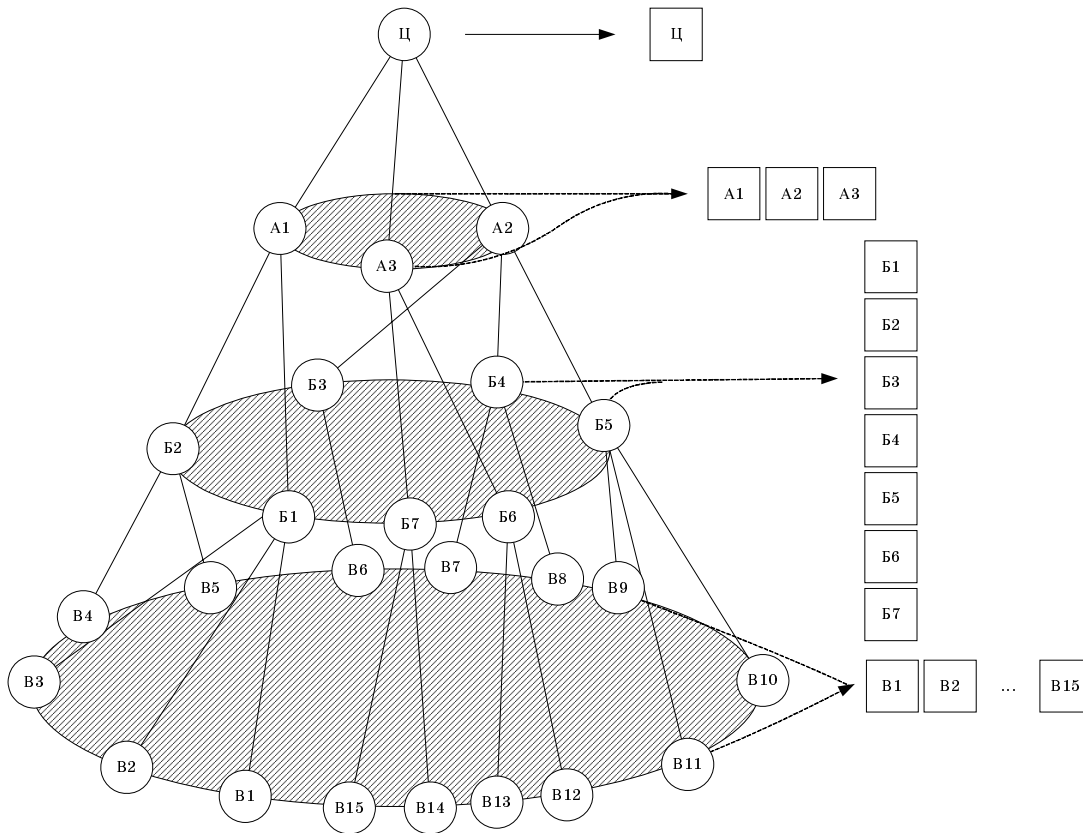
Механизм формирования МС, т. е. формализацию процесса, иллюстрируют рис. 5, 6.

Целесообразно задавать топологию сети таблицей представительности, на основании которой легко можно строить МС, а затем составлять МС первичной сети. Связность всех узлов уровня i задается тремя основными МС: $\|M_{i,i+1}\|, \|M_{ii}\|, \|M_{i-1,i}\|$, а также добавочными МС (если таковые имеются). Добавочные МС отображают связи узлов данного уровня с узлами не соседних уровней $\|M_{i+1+j,i}\|$ и $\|M_{i-1-j,i}\|, j = 1, (I_n - i - 1)$, где I_n — число уровней иерархии сети.

Элементы МС первичной сети соответствуют определенным элементам простой МС, в которой перечислены все узлы сети и связи между ними. Сокращение числа элементов при переходе к H -схемам происходит за счет уменьшения числа нулевых элементов простой МС. Если обозначить через E_1^0 число элементов простой МС, а через E_2^0 — число элементов H -схемы, то

$$E_1^0 = N^2 = (n_1 + n_2 + \dots + n_{I_n})^2, \quad n_1 \geq n_2 \geq \dots \geq n_{I_n},$$

где n_i — количество узлов на i -м уровне;



■ Рис. 5. Радиально-кольцевая структура ИКС

$$E_2^3 = \sum_{i=2}^{I_n} n_i^2 + \sum_{i=1}^{I_n-1} n_i n_{i+1}$$

при условии, что отсутствуют прямые соединения между абонентами;

$$E_2^{31} = \sum_{i=1}^{I_n} n_i^2 + \sum_{i=1}^{I_n-1} n_i n_{i+1}$$

в общем случае.

Очевидно, $E_1^3 > E_2^{31} > E_2^3$ для всех $I_n > 1$, причем разница между E_1^3 и E_2^3 увеличивается с ростом I_n за счет увеличения вероятности получения нулевых добавочных МС, которые в E_2^3 не присутствуют.

Полные МС образуются присоединением к основному МС добавочных МС следующим образом. На уровнях, через которые проходит прямое соединение без коммутации, создаются фиктивные узлы со связностью $v = 2$ (см. рис. 4). Под связностью узла v понимаем число узлов, с которыми данный узел имеет прямое физическое соединение. Затем производятся операции добавления этих фиктивных узлов к соответствующим основным МС. Операция добавления определяется ниже.

С помощью H -схем можно описывать также организацию и взаимодействие между вторичными (виртуальными) сетями, созданными на базе

одной первичной сети. Отметим, что ИКС для пользователей является вторичной сетью.

Каждой виртуальной сети, организованной на базе определенной первичной сети, заданной вышеуказанными МС, сопоставляют МС виртуальной сети — виртуальные МС (ВМС). Виртуальные сети могут охватывать только определенную часть (регион) первичной сети. Для получения ВМС над полными МС первичной сети предлагается производить следующие операции.

1. Исключение узла k из уровня i \tilde{E}_x^{ik} :

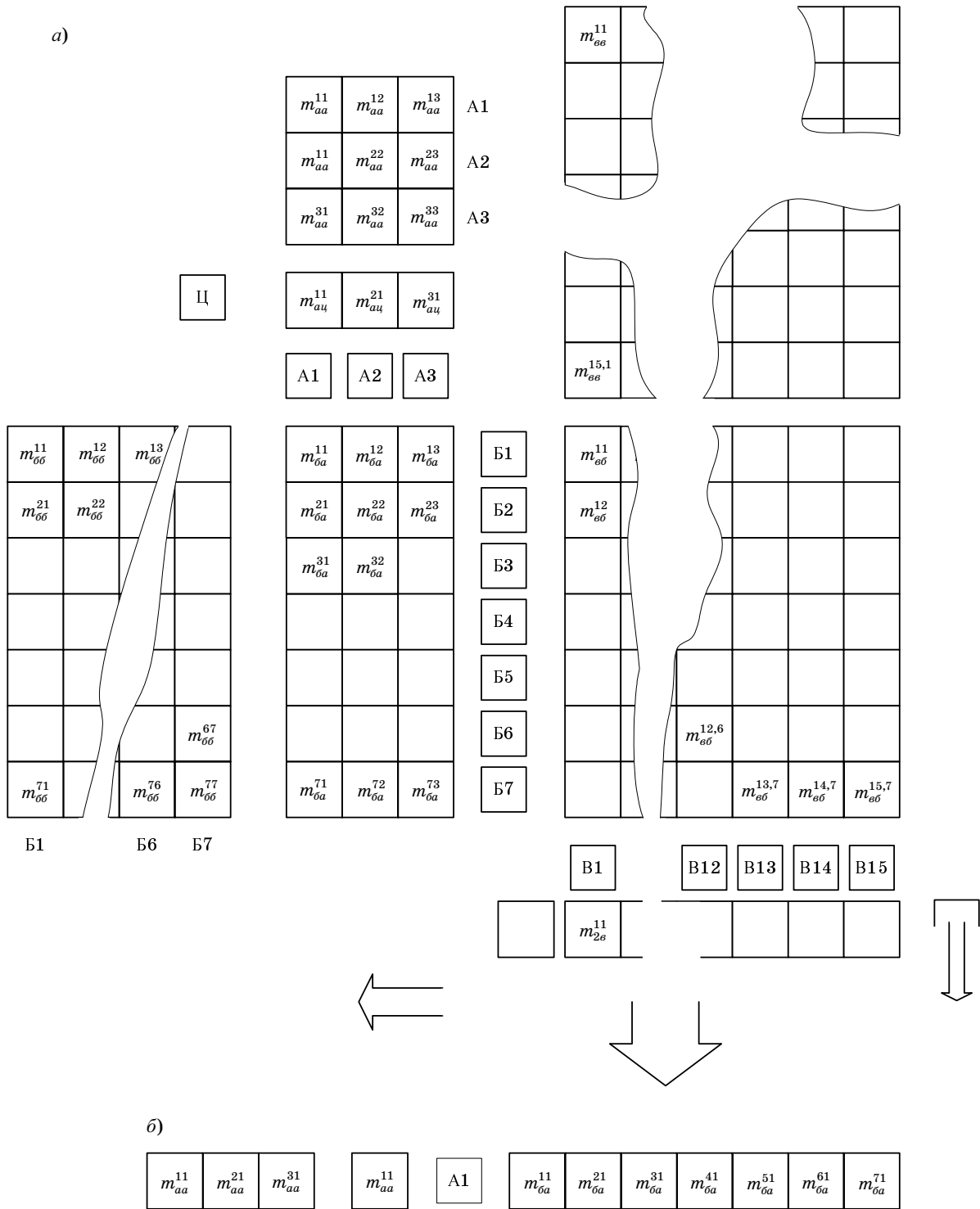
$\|M'_i\| = \tilde{E}_x^{ik} \|M_i\|$, $N'_i = N_i - 1$, $i = \overline{1, I_n}$, $I_n = \text{const}$, которое заключается в вычеркивании всех строк и столбцов МС, для которых узел k является образующим.

2. Добавление узла k к уровню i \tilde{A}_d^{ik} :

$\|M'_i\| = \tilde{A}_d^{ik} \|M_i\|$, $N'_i = N_i + 1$, $i = \overline{1, I_n}$, $I_n = \text{const}$, которое заключается в добавлении новых строк и столбцов, организованных узлом k .

3. Понижение уровня k -го узла уровня i \tilde{D}_n^{ik} :

$$\|M'_i\| = \tilde{D}_n^{ik} \|M_i\|, N'_i = N_i, N'_{i-1} = N_{i-1} + 1, i = \overline{1, I_n}, I_n = \text{var},$$



■ Рис. 6. Матрицы связности радиально-кольцевой структуры ИКС: а — исходная МС; б — вектор связности

когда узел верхнего уровня переводят на нижний уровень.

4. Повышение уровня k -го узла уровня i \tilde{U}_p^{ik} :

$$\|M'_i\| = \tilde{U}_p^{ik} \|M_i\|, N'_i = N_i, N'_{i+1} = N_{i+1} + 1,$$

$$i = \overline{1, I_n}, I_n = \text{var},$$

когда узел с нижнего уровня переводится на высший уровень.

Одноместные операции исключения и добавления узла будем называть операциями модификации H -схем, а одноместные операции понижения и повышения уровня узла — операциями рекон-

фигурации H -схем. На H -схемах можно определить также и двухместные операции реорганизации, наложения и расслоения. В простейшем случае операции реорганизации сводятся к сложению и вычитанию матриц.

Учитывая ограниченный объем статьи, лишь кратко отметим возможности формализации остальных сред архитектуры ИКС.

Дадим формальное представление отдельных структурных элементов $PRO(N)$ -среды, т. е. объектов открытых систем, из которых формируются ЦОУ сети. Эта задача достаточно сложна из-за многочисленности и разнообразия функциональных и структурных связей между объектами открытых систем, что не дает возможности воспользоваться предложением о построении однородной $PRO(N)$ -среды на базе простых элементов.

Для управления использованием ресурсов ИКС в ЦОУ в соответствии с требуемыми направлениями доставки цифровой информации применяются маршрутные таблицы (МТ), сформированные на основе вектора связности ЦОУ и соответствующих ВМС, описывающих $PRO(N)$ -среду. Столбцы этой таблицы заполняются на базе соответствующих

значений вектора связности, строки же соответствуют трем категориям ЦОУ, с которыми данный ЦОУ связывается, — верхнего, данного и нижнего уровня иерархии. Элементами МТ являются матрицы, строки которых относятся к ЦОУ соответствующего уровня, а столбцы — к КСв, ведущим к этим уровням.

Матрицы $\|M_{11}\|$ и $\|M_{12}\|$ формируются на базе строки (столбца) H -схемы $\|M_{i,i+1}\|$. Матрицы $\|M_{21}\|$, $\|M_{22}\|$ и $\|M_{23}\|$ формируются на базе столбца (строки) H -схемы $\|M_{i,i}\|$, а матрицы $\|M_{32}\|$ и $\|M_{33}\|$ — на базе столбцов (строк) H -схемы $\|M_{i-1,i}\|$.

Рассмотренный подход применительно к N -среде, т. е. среде взаимодействия, позволит на этой основе комплексно рассмотреть взаимодействие и остальных сред, т. е. среды генерации, или $GEN(E)$ -среды, среды распространения, или $WID(E)$ -среды, и среды обработки, или $PRO(N)$ -среды.

Таким образом, предложенный подход, базирующийся на представлении архитектуры процессов в ИКС в виде взаимосвязанных сред и математических схем их описания, позволит строить обобщенные модели ИКС как объекта управления.

Литература

1. Колбанёв М. О., Яковлев С. А. Модели и методы оценки характеристик обработки информации в интеллектуальных сетях связи. СПб.: СПбГУ, 2002. 230 с.

2. Концептуальные положения по построению мультисервисных сетей на ВСС России. <http://www.minsvyaz.ru/img/uploaded/2002020610512757.pdf>.

3. Крупнов А. Е. Современные телекоммуникационные технологии и услуги в России на рубеже XXI века // CONNECT. 1997. № 3.