

УДК 681.327.8

## КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ АРХИТЕКТУРЫ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ ИНФОКОММУНИКАЦИОННЫМИ СЕТЯМИ (Часть 2)

**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.*

Информационно-вычислительную среду ЦОУ, т. е. **PRO(N)**-среду, представим в виде чередующихся слоев двух типов: слои первого типа являются децентрализованными структурами из однотипных элементов, которые будем называть **A**-схемами (от англ. abstract node — абстрактный узел); слои второго типа являются коммутационными системами. Понятие «абстрактный узел» было впервые предложено для формального описания протоколов в сетях передачи данных и вычислительных сетях в рамках концепции, названной «теорией разговоров». Эта концепция была затем использована для реализации протоколов по Рекомендации МККТТ X.25 на сетевом и канальном уровнях. В исходном виде «теория разговоров» характеризуется прежде всего тем, что она строится на формулировке связей и правил обмена между соседними узлами сети. При этом более сложные структуры создаются путем последовательного наращивания, т. е. на одном уровне. Но подобного рода структуры трудно реализуются при наличии нескольких одновременных «разговоров» из-за ограничений по производительности современных средств вычислительной техники. Поэтому для реализации ЦОУ с необходимой для ИКС достаточно высокой производительностью эта концепция в исходной форме представляется неприемлемой.

Основной структурный элемент первого слоя **PRO(N)**-среды, т. е. **A**-схема, обладает по сравне-

нию с абстрактными узлами «теории разговоров» рядом преимуществ, среди которых можно выделить следующие: структурную и логическую законченность, формально-логическое описание процессов обработки информации и функционирования его составляющих блоков, возможность организации внутреннего процесса вычисления и обработки информации по принципу MIMD (Multiple Instruction Stream, Multiple Data Stream), асинхронизм по отношению ко входам и выходам, единую структуру входящих и выходящих информационных единиц, возможность создания на основе **A**-схем однородных (в плоскости, т. е. в рамках одного уровня) и регулярных вычислительных сред.

Абстрактный узел сети, представляемый в виде **A**-схемы, включает в себя буфера, входной и выходной блоки, процессор.

Буфера  $t$ ,  $\tau$ ,  $\eta$  и  $c$  обеспечивают асинхронизм входов и выходов; если входные команды  $\eta$  и внутренние состояния закодированы в двоичной форме, то  $\eta$ -буфер может рассматриваться как часть буфера состояний, содержащий переменные внутреннего состояния процессорного блока.

Входной блок принимает входное сообщение  $\mu$ , проверяет его, делит его на две составляющие (текст и заголовок) и направляет текст, если он имеется, к  $t$ -буферу, а заголовок — к процессору; заголовок может быть закодирован каким-то образом во входном блоке.

Выходной блок получает выходной заголовок из процессора, берет, если необходимо, из  $\tau$ -буфера текст, вырабатывает выходное сообщение и отправляет его к выходу  $m$ .

Процессор получает заголовок из входного блока и вырабатывает заголовки для выходных сообщений в зависимости от входного заголовка и собственного внутреннего состояния, а также от состояния выходных команд; в наиболее простом случае — это конечный автомат с двумя входами и двумя выходами.

Когда на вход  $A$ -схемы поступает сообщение  $\mu$ , процессор срабатывает и вырабатывает новое внутреннее состояние, сообщение к выходу  $m$  и команду к выходу  $c$ . В некоторых случаях выходные сообщения могут и не вырабатываться. Если входное сообщение содержит текст, он переправляется к выходу  $t$ ; если выходное сообщение содержит текст, он берется из входа  $\tau$ .

Процессор  $A$ -схемы состоит из трех частей:

1) входного процессора, который обрабатывает параметры входящих заголовков и команд и выдает заголовки  $\mu_c$  команды  $\eta_c$  ЦОУ;

2) ЦОУ, которое вырабатывает выходной код операции (КОП) для  $\mu_c$  и  $\eta_c$ , прибывающих из входного процессора;

3) выходного процессора, который добавляет параметры к КОП, прибывающих из ЦОУ.

Словарем входа  $D_i$  называется список всех входящих заголовков, а словарем выхода  $D_0$  — список заголовков, которые может выработать  $A$ -схема.

Разговором между двумя  $A$ -схемами называется осуществление связи между ними таким образом, чтобы выходные сообщения из одной являлись входными для другой и наоборот.

Разговор состоит из сеансов — конечных периодов времени, за которые связанные между собой  $A$ -схемы обмениваются сообщениями. Процедура называется множество правил, по которым  $A$ -схема производит выходные сообщения в разговоре в зависимости от входной команды, входного сообщения и внутреннего состояния. Протокол между  $A$ -схемами определяется как множество процедур разговора между ними.

Формальное описание функционирования  $A$ -схемы можно провести с помощью логических матриц. Определим внутреннее состояние процессора с помощью двух множеств переменных состояния.

Предложенная модель позволяет реализовать ЦОУ как конечный автомат; для входного и выходного процессоров представление в виде конечного автомата затруднительно из-за проблемы размерности. Рассмотрим работу ЦОУ.

При получении команды  $\eta_c$  ЦОУ вырабатывает:

а) КОП выходного сообщения  $m' = \|Q(\sigma, s, z)\| \eta_c$ ;

б) КОП выходной команды  $c' = \|H(\sigma, s, z)\| \eta_c$ ;

в) переход состояния  $\sigma = h(\sigma, s, z, h_c, o_\mu)$ ;

г) текст  $t = f_1(\sigma, s, z, \eta_c) \mu$ .

При получении заголовка  $\mu_c$  ЦОУ вырабатывает:

а) КОП выходного сообщения  $m' = \|P(\sigma, s, z)\| \eta_c$ ;

б) КОП выходной команды  $c' = \|G(\sigma, s, z)\| \mu_c$ ;

в) переход состояния  $\sigma = h(\sigma, s, z, o_\eta, \mu_c)$ ,  $s = g(\sigma, s, z, \mu_c)$ ;

г) текст  $t = f_2(\sigma, s, z, \mu_c) \mu$ ,

где  $\|Q\|$ ,  $\|H\|$ ,  $\|P\|$  и  $\|G\|$  — матрицы логических функций;  $h$  и  $g$  — векторы логических функций;  $f_1$  и  $f_2$  — логические функции;  $m'$ ,  $\mu_c$ ,  $\eta_c$  и  $c'$  — векторы, имеющие только один элемент, отличный от нуля;  $o_\mu$  и  $o_\eta$  — нулевые векторы подходящей размерности.

При соблюдении сформулированных правил соединения можно компоновать любые структуры, отвечающие требованиям ЭМВОС. Границы между открытыми системами являются логическими границами, т. е. им не ставятся в соответствие реальные устройства или другие объекты. Границы между отдельными слоями являются реальными коммутационными устройствами, которые формально изображаются в виде слоев второго типа.

Под протоколом в дальнейшем в терминах  $A$ -схем будем понимать правила обмена между  $A$ -схемами одного уровня, а под интерфейсом — правила обмена между  $A$ -схемами одной системы. В протоколах подразумевается семантическая связь между обмениваемыми данными. Интерфейсы же представляют собой только синтаксические правила. Протокол реализуется в виде конечного автомата или  $A$ -схемы.

Если входной алфавит  $D_i$  совпадает с выходным алфавитом  $D_0$ , то могут иметь место два случая: 1) протокольная  $A$ -схема и 2) интерфейсная  $A$ -схема. При удалении какого-либо входа или выхода  $A$ -схемы могут вырождаться. Вырожденные  $A$ -схемы могут быть правильными, когда их функционирование не приводит к нарушению принципов ЭМВОС и принятых соглашений протоколов и интерфейсов, и неправильными, функционирование которых приводит к нарушению принципов ЭМВОС, к тупиковым ситуациям, к неопределенным ситуациям.

Дадим формальное описание процессов генерации, отражающих воздействие пользователей на ИКС. Причем, если  $INT(N)$ -среда описывает статическую структуру сети и является детерминированной, то  $GEN(E)$ -среда должна отразить динамику запросов пользователей на ресурсы ИКС и их стохастичность. С точки зрения специалистов, занимающихся исследованием и проектированием системы управления ИКС, любая модель взаимодействия с внешней средой должна рассматриваться как математическая основа, позволяющая создать приемлемые для практики методы идентификации и анализа вероятностно-временных характеристик процесса функционирования ИКС.

Рассмотрение передачи различных видов сообщений пользователей в ИКС в виде потоков коммутируемых информационных единиц (сообщений, пакетов, ячеек, вызовов и т. п.) дает возмож-

ность перейти к формальному описанию  $GEN(E)$ -среды, сводимому к описанию воздействия  $GEN(E)$ -потоков на сеть.

Вид и значения параметров входящих потоков сообщений пользователей могут изменяться для каждой конкретной ИКС в зависимости от времени года, квартала, месяца, суток, часов и т. д. Из часовых колебаний информационной загрузки наибольшее значение для дальнейших исследований ИКС имеет величина входящего потока сообщений пользователей в час наибольшей нагрузки. Наблюдение в течение продолжительного времени за суточными изменениями периодами наибольшей загрузки позволяет установить интенсивность входящих потоков сообщений пользователей в час наибольшей нагрузки для ИКС от различных пользователей. Необходимо также учитывать, что в большинстве случаев основные параметры входящих потоков сообщений пользователей являются величинами, которые известны всегда лишь с определенной точностью, что является следствием недостаточной статистики о таких новых объектах как ИКС. Эта точность исходных данных определяет случайные ошибки в основных вероятностно-временных характеристиках процесса функционирования ИКС и должна сопоставляться с методической ошибкой аналитических выражений и результатов, полученных методом имитационного моделирования.

Анализ структуры и свойств потоков сообщений пользователей в различных метасистемах, предшествующий разработке ИКС и заключающийся в рассмотрении характера этих потоков и параметров сообщений пользователей с учетом общего объема информации, календарной статистики информационных потоков в ИКС, характера возникновения потоков сообщений пользователей, интенсивности поступления сообщений пользователей, длины сообщений пользователей, разбиения сообщений пользователей по категориям приоритетности, позволяет приступить к построению на этой основе модели  $GEN(E)$ -потоков.

Кроме того, необходимо определить границу взаимодействия этих потоков. Нас будет интересовать последовательность событий, когда коммутируемая информационная единица поступает в  $GEN(E)$ -среду. Событие «поступление коммутируемой информационной единицы» должно при этом означать, что порвана связь с породившим его потоком внешних сообщений, т. е.  $GEN(E)$ -потоком. Это предположение может быть сделано для исследуемых ИКС, так как, согласно ЭМВОС, функции приема сообщений пользователей полностью отделены от функций их дальнейших преобразований. Как уже отмечалось, в общем случае пользовательское сообщение, поступающее во внешний узел ИКС, не соответствует коммутируемой информационной единице, передаваемой этим узлом далее. Поэтому рационально рассмотреть

некоторый промежуточный процесс, который по своей сути является процессом формирования коммутируемых информационных единиц для данного внешнего узла ИКС. Например, в качестве процесса формирования коммутируемой информационной единицы может быть рассмотрен процесс ее сборки из ряда сообщений пользователей или процесс разбиения сообщений пользователей на несколько коммутируемых информационных единиц данного узла.

Такая интерпретация процесса взаимодействия узла с внешней средой позволяет в качестве моментов поступления коммутируемых информационных единиц рассматривать моменты их записи в накопитель ЦОУ. Это физически означает, что коммутируемая информационная единица переписывается в накопитель из устройства формирования. В дальнейшем будем предполагать, что операция записи в накопитель происходит мгновенно, а время считывания коммутируемой информационной единицы из накопителя нулевое, т. е. имеем дело с безынерционным накопителем.

Очевидно, что формат сообщений пользователей сети зависит от типа оборудования, которым укомплектованы взаимодействующие с ИКС пользовательские системы. Все структуры форматов сообщений пользователей могут быть разбиты на две категории — постоянной и случайной длины. Наиболее рациональным является получение параметров входящих информационных потоков аналитическим методом, который заключается в применении некоторых основных теорем теории вероятностей к информационному потоку, поступающему в ИКС. При этом поступление сообщений пользователей в ИКС от абонента  $a_i$  интерпретируется как свершение событий, которые происходят случайным образом с постоянной (не зависящей от времени) средней интенсивностью. На основании большого количества работ, выполненных советскими и зарубежными учеными, можно считать, что большинство внешних информационных потоков, поступающих в ИКС, являются случайными, причем в общем случае моменты между появлением отдельных внешних сообщений распределены по экспоненциальному закону.

Одной из основных характеристик коммутируемой информационной единицы является ее длина, которая измеряется количеством двоичных элементов, т. е. бит. Поток сообщений пользователей, помимо распределения времени между моментами их поступления, должен характеризоваться длиной, т. е. количеством коммутируемых информационных единиц, содержащихся в сообщениях пользователей. Для возможности полного описания всех разновидностей входящих потоков сообщений пользователей введем понятие аппарата  $F$ -схем (от англ. flow — поток), являющегося средством описания потоков неоднородных событий в такой предметной области как ИКС. Рассмотрим следующие модификации  $F$ -схем:

1) простой поток сообщений пользователей, когда количество элементов, содержащихся в информационной части коммутируемой информационной единицы и сообщений пользователей, равны, т. е.  $m_i = m_c$  и  $\xi = m_i/m_c = 1$ ;

2) сложный входящий поток сообщений пользователей, когда количество элементов, содержащихся в информационной части коммутируемой информационной единицы, меньше количества элементов, содержащихся в сообщении пользователей:  $m_i < m_c$  и  $\xi < 1$ ;

3) прореженный входящий поток сообщений пользователей, когда количество элементов, содержащихся в информационной части коммутируемой информационной единицы, больше количества элементов, содержащихся в сообщении пользователей:  $m_i > m_c$  и  $\xi > 1$ , где  $\xi$  — целое число.

Будем называть число  $\xi$  параметром  $F$ -схемы для описания  $GEN(E)$ -потока.

Исследуем ИКС с детерминированным режимом использования КСв, когда начало передачи каждой коммутируемой информационной единицы возможно только в фиксированные моменты времени, кратные  $v_1 = n/C$ , где  $n$  — количество элементов кодовой комбинации коммутируемой информационной единицы;  $C$  — скорость манипуляции в КСв в бодах. Таким образом, временная ось  $0 < t < \infty$  разбита на кванты длиной  $v_1$  временных единиц. Без потери общности можно считать, что квант времени  $v_1$  равен одной временной единице.

Рассмотрим математические модели  $GEN(E)$ -потоков ИКС для каждой из рассмотренных модификаций  $F$ -схем. Обозначим через  $X_e$  число коммутируемых информационных единиц, поступающих в течение единичного кванта  $v_1$ . Тогда для экспоненциального распределения интервалов между моментами поступления сообщений пользователей

$$\Pr\{X_e = i\} = \frac{\lambda_c^i}{i!} e^{-\lambda_c}, \quad i = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $\lambda_c$  — интенсивность поступления сообщений пользователей. Будем характеризовать соотношение величин  $m_e$  и  $m_c$  в  $F$ -схемах процессом  $Y$ . В результате взаимодействия процессов  $X_e$  и  $Y_e$  получим процесс поступления коммутируемых информационных единиц в ИКС  $U_e$ .

Для случая, когда параметр  $F$ -схемы  $\xi = 1$ , имеем  $Y_e = 1$ , т. е.  $U_e^1 = X_e$ , и распределение числа поступающих коммутируемых информационных единиц определится выражением

$$\Pr\{U_e^1 = i\} = \frac{\lambda_c^i}{i!} e^{-\lambda_c}, \quad i = 0, 1, 2, \dots$$

Математическое ожидание и дисперсия определяются как  $M[U_e^1] = D[U_e^1] = \lambda_c$ .

Для случая параметра  $\xi < 1$  в  $F$ -схеме необходимо задать законом распределения  $\xi$ . Из статистики распределения длин сообщений пользователей, поступающих в ИКС, можно предположить,

что  $Y_e$  определяется (с учетом дискретности процесса передачи) из геометрического распределения

$$\Pr\{Y_i = j\} = \xi(1 - \xi)^{j-1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots,$$

где  $\xi^{-1}$  — средняя длина сообщений пользователей.

Тогда общее число коммутируемых информационных единиц, поступающих в ИКС за время передачи коммутируемой информационной единицы, является случайной величиной и определяется по формуле

$$U_i\{X_i\} = \sum_{i=0}^{X_i} Y_{ei},$$

где  $Y_{ei}$  — случайная переменная величина, которая является числом коммутируемых информационных единиц, содержащихся в  $i$ -м сообщении пользователей.

Характеристические функции  $U_e$  и  $Y_e$  имеют вид

$$\varphi_U(S) = e^{-[\lambda_c + \lambda_c \varphi_Y(S)]}; \quad \varphi_Y(S) = \frac{\xi e^{js}}{1 - (1 - \xi)e^{js}},$$

где  $j = \sqrt{-1}$  — мнимая единица. Подставив выражения одно в другое, получим

$$\varphi_U(S) = e^{-\lambda_c} + \frac{\lambda_c \xi e^{js}}{1 - (1 - \xi)e^{js}}.$$

Отсюда получаем вероятность того, что  $i$  коммутируемых информационных единиц поступает в течение кванта  $v_1$

$$\Pr\{U_i^2 = i\} = \left\{ \begin{array}{l} e^{-\lambda_c}, \quad i = 0 \\ e^{-\lambda_c} \sum_{k=1}^i C_{i-1}^{k-1} \frac{(\lambda_c \xi)^k (1 - \xi)^{i-k}}{k!}, \quad i = 1, 2, \dots \end{array} \right\}.$$

Математическое ожидание и дисперсия в этом случае соответственно равны  $M[U_c^2] = \lambda_c/\xi$ ,  $D[U_c^2] = \lambda_c(2 - \xi)/\xi^2$ .

И, наконец, рассмотрим третий случай входящего потока сообщений пользователей, когда в  $F$ -схеме параметр  $\xi > 1$ , т. е. формирование коммутируемой информационной единицы из определенного числа сообщений пользователей  $\xi$ , моменты поступления которых распределены по экспоненциальному закону. В этом случае имеем дело с процессом  $Y_e$ , который является процессом «разрежения» входящего пуассоновского потока  $X_e$ . Поток коммутируемых информационных единиц, полученный в результате этой операции над потоком сообщений пользователей, будет эрланговским потоком  $\xi$ -го порядка, характеристическая функция которого

$$\varphi_U(S) = (\lambda_c/\lambda_c - is)^\xi.$$

Плотность распределения вероятностей имеет вид

$$f_\beta(t) = \frac{\lambda_c (\lambda_c t)^{\xi-1}}{(\xi-1)!} e^{-\lambda_c t}.$$

Математическое ожидание и дисперсия числа коммутируемых информационных единиц, посту-

пивших за время  $v_1$ , будут иметь вид  $M[U_e^3] = \lambda_c/\xi$ ,  $D[U_e^3] = \lambda_c/\xi^2$ . Одной из разновидностей входящего потока сообщений пользователей в этом случае следует считать регулярный поток, который может быть рассмотрен как частный случай эрланговского потока с параметром  $\xi \rightarrow \infty$ .

Таким образом, ввиду невозможности описания всего множества различных классов входящих потоков сообщений пользователей в ИКС каким-либо одним известным распределением, предложено свести эти входящие потоки для задания  $GEN(E)$ -среды к трем случаям  $F$ -схем, основой для которых является пуассоновский поток сообщений пользователей. Кроме того, при исследовании характеристик процесса функционирования ИКС аналитическим методом возникают значительные трудности при предположении произвольного распределения моментов поступления сообщений пользователей и учета их длины, что связано с невозможностью получения в явном виде характеристик при аппроксимации классическими моделями теории массового обслуживания. Поэтому, исследуя каждую конкретную ИКС, целесообразно проводить анализ в предположении наличия одной из трех модификаций  $F$ -схем для входящего потока сообщений пользователей. При этом любой входящий поток сообщений пользователей будем характеризовать количеством коммутируемых информационных единиц, поступающих в течение кванта времени  $v_1$ :  $Pr\{U_e = i\} = v_i$ .

Введем производящую функцию для этих величин  $N(z) = \sum_{i=0}^{\infty} v_i z^i$  и назовем среднее число коммутируемых информационных единиц, поступающих в единицу времени, интенсивностью входящего потока ( $F$ -потока)  $v_g = M[v_i] = N^1(1)$ . Тогда интенсивности простого, сложного и прореженного  $F$ -потоков  $v_g = \lambda_c/\xi$ , где  $\xi = 1$ ,  $\xi < 1$  и  $\xi > 1$  — параметры  $F$ -схем для простого, сложного и прореженного потоков соответственно.

Если при аппроксимации реальной статистики входящих потоков сообщений пользователей не удастся свести их непосредственно к трем рассмотренным выше модификациям  $GEN(E)$ -потоков, то можно использовать суперпозицию входящих потоков. Например, если имеется источник информации, выдающий как явно выраженные независимые одиночные сообщения пользователей, так и пачки сообщений пользователей, длины которых распределены по геометрическому закону, то для описания такого входящего потока сообщений пользователей следует использовать суперпозицию потоков. Тогда можно показать, что вероятность  $Pr\{U_e = i\}$  является сверткой соответствующих вероятностей и равна

$$Pr\{U_i = i\} = \left\{ \begin{array}{l} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)}, i = 0 \\ \frac{\lambda_1}{i!} e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)} + \sum_{k=1}^i \frac{\lambda_1^{i-k} \lambda_2^{-k}}{(i-k)!} + \sum_{j=1}^k C_{k-1}^{j-1} \frac{(\lambda_2 \xi)^j (1-\xi)^{i-j}}{j!}, i = 1, 2, \dots \end{array} \right\}.$$

Интенсивность поступления коммутируемых информационных единиц составит  $v_g = \lambda_1 + \lambda_2/\xi$ .

Таким образом, результаты, полученные путем экспериментального исследования входящих информационных потоков сообщений пользователей, могут быть аппроксимированы на основе трех рассмотренных модификаций  $F$ -схем для  $GEN(E)$ -потоков, обеспечивая тем самым основу для проведения дальнейших исследований аналитическим методом и (или) методом имитационного моделирования.

Формальное описание  $GEN(E)$ -среды позволит описать взаимодействие ИКС с внешней средой на системном  $GEN(E)$ - $INT(N)$ -уровне, что особенно важно как для дальнейшей стратегической идентификации ИКС как объекта управления, так и для построения обучающихся моделей в контуре адаптивного управления ИКС. Принятый для формализации математический аппарат для  $GEN(E)$ -среды ( $F$ -схемы, т. е. потоки) и для  $INT(N)$ -среды ( $H$ -схемы, т. е. матрицы и графы) позволяет решать задачи взаимодействия на системном  $GEN(E)$ - $INT(N)$ -уровне.

Как уже отмечалось, выделение  $WID(E)$ -среды должно отразить наличие стохастических мешающих воздействий внешней среды на распространение цифровой информации в ИКС, что соответствует уровням 1 и 2 ЭМВОС. Достаточно высокие требования к верности и скорости передачи цифровой информации, предъявляемые со стороны пользователей к ИКС, приводят к необходимости применения специальных мер по борьбе с ошибками. Для разработки ИКС, наиболее эффективных в конкретных условиях эксплуатации, необходимо на стадии проектирования провести детальное исследование различных способов реализации алгоритмов защиты от ошибок в дискретных КСв. При исследовании вероятностно-временных характеристик процесса передачи коммутируемых информационных единиц необходимо иметь статистические данные об ошибках в реальных КСв, используемых в ИКС.

Недостатком многих известных работ по статистике ошибок является графическое представление конечных результатов исследования, что затрудняет их использование при необходимости сравнительной оценки вероятностно-временных характеристик процесса передачи коммутируемых информационных единиц в ИКС. Эти требования делают актуальной разработку математических моделей для описания процесса возникновения ошибок в реальных КСв, что не только упрощает процесс исследования ИКС, но и обеспечивает универсальность этих исследований.

Наиболее простой из математических моделей для описания  $WID(E)$ -среды является модель независимых ошибок, которая исходит из предположения, что ошибки в дискретном КСв возникают независимо друг от друга, т. е. между ними отсутствует корреляция. Модель независимых оши-

бок может быть использована для описания потока ошибок в собственных кабельных и оптических линиях связи, которые часто используются в абонентской части ИКС. Экспериментальные работы в области исследования телефонных каналов связи не подтвердили гипотезы о независимости ошибок для этой группы каналов, используемых в ИКС, а выявили тенденцию к их группированию (пакетированию).

Известно много математических моделей дискретных КСв, в которых различным образом отражается экспериментально установленный факт группирования ошибок. Существующие модели по способу описания параметров потоков ошибок можно условно разделить на две большие группы. Модели первой группы отражают чисто математический подход к вопросу описания потока ошибок, но при этом, как правило, игнорируется физическая сторона процессов, происходящих в КСв, и механизм группирования ошибок не задается в явном виде. В моделях второй группы делаются попытки в какой-то степени учесть физические явления, которые приводят к появлению ошибок. В моделях этой группы используется понятие пакета ошибок, механизм образования которых задается в явном виде.

Представляется наиболее рациональным строить математическую модель  $WID(E)$ -среды, оперируя понятиями, близкими к физическим явлениям, происходящим в КСв, т. е. на уровне 1 ЭМВОС. Действительно, практика показывает, что пакеты ошибок возникают под действием множества источников возмущений, порождаемых причинами, которые характеризуются случайным началом, длительностью и степенью воздействия на передаваемый сигнал. Все последствия этих причин суммируются, что позволяет, исходя из физических предпосылок, рассматривать функцию распределения интервалов между ошибками как сумму экспонент, каждая из которых характеризует распределение интервалов между ошибками одной группы причин. Это дает возможность аппроксимировать экспериментальную функцию распределения интервалов между ошибками распределением  $K$ -го порядка вида

$$\Phi_s(u) = \sum_{i=1}^K A_i e^{-\varphi_i u}.$$

Такое распределение практически позволяет описать все имеющиеся статистики ошибок для стационарных КСв.

Однако проведение исследования вероятностно-временных характеристик процесса передачи сообщений в дискретных каналах связи ИКС аналитическим методом с использованием этой трехпараметрической модели представляет определенные трудности. Их можно преодолеть, перейдя от этой исходной экспериментальной модели к математической модели канала с памятью.

Формальное представление процессов и явлений в дискретных каналах связи ИКС на базе  $WID(E)$ -потоков, математически описываемых с помощью  $C$ -схем (комбинаторных схем), позволяет в дальнейшем задачи стратегической идентификации процесса передачи и связанных с ним процессов коммутации и обмена информацией, использовать аппарат  $C$ -схем для реализации задач управления как на канальном, так и на более высоких уровнях.

Для разработки методов и алгоритмов управления ИКС необходимо рассмотреть взаимодействие процессов на  $WID(E)$ - $PRO(N)$ -уровне. Отметим, что соответствующий математический аппарат, используемый для формализации  $PRO(N)$ -среды ( $A$ -схемы, т. е. информационные автоматы) и  $WID(E)$ -потоков ( $C$ -схемы, т. е. комбинаторные схемы), позволяет это успешно сделать.

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. С. 5–9.