

ОСНОВЫ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ЗАЩИЩЕННЫМИ МУЛЬТИСЕРВИСНЫМИ СЕТЯМИ

И. Б. Саенко, С. А. Агеев

*Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации
Российской академии наук (СПИИРАН)
Санкт-Петербург, Россия
ibsaen@mail.ru*

В статье представлена многоуровневая концептуальная модель управления защищенными мультисервисными сетями (ЗМС). Обсуждаются функциональные задачи на разных уровнях концептуальной модели управления ЗМС. Излагаются основы математического моделирования задач управления ЗМС, определяющие совокупность взаимосвязанных постановок задач оптимизации.

Ключевые слова: защищенная мультисервисная сеть, телематические сетевые услуги, автоматизация управления, модель TMN.

Защищенные мультисервисные сети (ЗМС) являются территориально распределенными гетерогенными телекоммуникационными системами, предоставляющими пользователям наборы телематических услуг с заданными уровнями качества. К основным телематическим услугам относятся: файловый обмен, электронная почта, IP-телефония, мультимедийные конференции, передача управляющей информации с заданными вероятностно-временными характеристиками, а также обеспечение защиты циркулирующей в сети информации. ЗМС должны обеспечивать реализацию следующих требований: высокую оперативность предоставления услуг; доступность к услугам; безопасность информации; надежность, устойчивость и живучесть функционирования; масштабируемость; мобильность; минимизацию затрат.

Существенными особенностями ЗМС как объектов управления являются их гетерогенная архитектура, территориальная рассредоточенность элементов, наличие информационных ресурсов различной степени доступности и различного уровня конфиденциальности, а также наличие удаленных пользователей, использующих открытые каналы сетей передачи данных общего пользования для доступа к информационным ресурсам.

Функциональная архитектура ЗМС представляет собой единое сетевое пространство, сформированное на единых системно-технических принципах. Применяе-

мые телекоммуникационные технологии и организационные решения по построению ЗМС должны обеспечить интеграцию различных видов трафика в сети, совместную работу перспективных и имеющихся комплексов средств связи.

Системная архитектура ЗМС содержит следующие компоненты: магистральную транспортную сеть и/или региональные сети; сети доступа; аппаратно-программные средства и комплексы предоставления услуг пользователям; автоматизированную систему управления (АСУ).

В качестве системообразующей основы построения АСУ ЗМС целесообразно принять концепцию *TMN (Telecommunication Management Network)* [1]. Архитектура *TMN* отражает иерархию ответственности за выполнение административных задач по управлению ЗМС и предусматривает пять уровней управления:

- бизнес-управления (*Business Management Layer, BML*);
- управления услугами (*Service Management Layer, SML*);
- управления сетью (*Network Management Layer, NML*);
- управления элементами (*Element Management Layer, EML*);
- сетевых элементов (*Network Element Layer, NEL*).

Уровень *BML* рассматривает сеть связи с позиций общих бизнес-целей компании-оператора. В АСУ ЗМС этому уровню соответствует уровень *оперативного управления (ОУ)*. На этом уровне формируются планы связи и требования к состоянию сети в целом, производится анализ выполнения плана, а также производятся оценка фактического состояния сети и прогнозирование ее возможного состояния на директивный период.

Уровень *SML* охватывает те аспекты функционирования сети, с которыми непосредственно сталкиваются пользователи (абоненты или другие сервис-провайдеры). К функциям этого уровня относятся: выполнение требований по предоставлению услуг связи; рациональное распределение общего телекоммуникационного ресурса; контроль за *QoS, CoS*; управление регистрационными записями и другие.

Уровень *NML* формирует представление сети в целом, базируясь на данных об отдельных сетевых элементах, которые передаются системами поддержки операций предыдущего уровня и не привязаны к особенностям продукции той или иной фирмы. На этом уровне осуществляется контроль над взаимодействием сетевых элементов, формируются маршруты передачи данных между оконечным оборудованием для достижения требуемого качества сервиса, корректируются таблицы маршрутизации, отслеживается степень утилизации пропускной способности отдельных каналов, оптимизируется производительность сети и выявляется наличие сбоев в ее работе.

Для ЗМУ представляется целесообразным объединить уровни *SML* и *NML* в один уровень – *оперативно-технического управления (ОТУ)*. Уровень ОТУ обеспечивает минимальное расхождение планируемого и фактического состояния сетей связи в рамках тех ресурсов, требований и ограничений, которые определяются техническими характеристиками сетевых элементов, подсистемой планирования, фактическим состоянием объекта управления (сетей связи), потребностями (поведением) абонентов и воздействиями внешней среды.

На основе выполнения процедур декомпозиции процессов управления [2–4] можно показать, что необходимость в ОТУ определяется следующими факторами: изменением потребности абонентов в использовании услуг связи; изменением возможности сети связи по предоставлению услуг связи (изменение состава и (или) состояния сетевых элементов); изменением целевой установки на организацию связи и предоставление ее услуг. Значимость уровня ОТУ определяется тем, что на нем осу-

ществляется управление всеми потенциально возможными в ЗМС объектами управления, определяющими состояние, структуру и трафик в сети.

Уровень *EML* соответствует системам поддержки операций, контролирующим работу групп сетевых элементов. На нем реализуются управляющие функции, которые специфичны для оборудования конкретного производителя, причем эта специфика маскируется от вышележащих уровней. В АСУ ЗМС данному уровню соответствует уровень *технологического управления* (ТУ). На этом уровне осуществляется учет ресурсов (состава, структуры и характеристик) сетей связи, управление структурой сетей связи, управление ресурсами сетей связи, управление переходными процессами в сетях в условиях нештатных ситуаций, управление предоставлением услуг связи, управление безопасностью использования ресурсов сетей связи.

Уровень *NEL* играет роль интерфейса между базой данных *MIB* со служебной информацией, находящейся на отдельном устройстве, и инфраструктурой *TMN*. К нему относятся *Q*-адаптеры и собственно сетевые элементы. В АСУ ЗМС уровню сетевых элементов соответствует уровень *управления сетевыми элементами* (УУЭ).

Моделирование управления ЗМС необходимо осуществлять одновременно на различных уровнях: ОУ, ОТУ, ТУ и УУЭ. Только такой подход позволяет реализовать единое сквозное управление ЗМС, взаимоувязанное с сетевым управлением в единой системе управления.

Постановка задачи, решаемой на уровне **оперативного управления**, имеет следующий вид. Пусть $S(\mathbf{B}, \mathbf{G}, \mathbf{K}, \mathbf{M}, \mathbf{R})$ – требуемое состояние сети к заданному директивному моменту времени T_0 , где $\mathbf{B}$ – требуемое состояние сетевой безопасности; $\mathbf{G}(m, n)$ – требуемая топология сети, заданная в виде направленного графа; m – количество направленных связей (каналов связи), n – количество центров коммутации пакетов; K_Σ – требуемое качество предоставления услуг; $M_i(K_i, R_i)$ – число видов услуг, K_i – требуемое качество для i -ой услуги; $R_i(K_i)$ – требуемый телекоммуникационный ресурс для i -ой услуги. Сеть ЗМС к моменту T_0 должна обладать заданной надежностью $\mathbf{H}_0$, устойчивостью $\mathbf{Y}_0$ и живучестью $\mathbf{Ж}_0$.

Очевидно, что должны выполняться следующие условия:

$$\sum_i R_i(K_i) \leq R_\Sigma, \quad \sum_i K_i \leq K_\Sigma. \quad (1)$$

Пусть $\mathbf{W}_0$ – выделенный объем средств на создание ЗМС к директивному моменту времени T_0 , а $\mathbf{W}_\Sigma$ – объем средств, необходимый для обеспечения эксплуатации ЗМС за директивный период времени эксплуатации T_Σ . Пусть $\mathbf{P} \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$ – программа выполнения работ по созданию ЗМС. Естественно, справедливо выполнение следующего условия:

$$\lim_{j \rightarrow n} S_j = S_0. \quad (2)$$

Введем переменную a_{ij} такую, что $a_{ij} = 1$, если $i = j$, и $a_{ij} = 0$, если $i \neq j$, которая означает, что каждый частный план $\mathbf{P}_i(S_i)$ выполняются только один раз. Тогда

$$\sum_{i,j} a_{ij} \cdot q_{ij}(\mathbf{P}_i(S_i)) \leq \mathbf{W}_0, \quad (3)$$

где $q_{ij}(\mathbf{P}_i(S_i))$ – объем средств, требуемый для выполнения частного плана $\mathbf{P}_i(S_i)$. В этом случае должны выполняться следующие условия:

$$\bigcup_{i=1}^n \mathbf{P}_i(S_i) = \mathbf{P}_0(S_0), \quad \bigcup_{t \in T} t \leq T_0. \quad (4)$$

Тогда оптимизационная задача сводится к следующему виду:

$$\sum_{i,j} a_{ij} P_i(S_i) \rightarrow \min \quad (5)$$

при выполнении условий (1)–(4).

На уровне ОУ решаются две оптимизационные задачи. На этапе проектирования ЗМС решается задача (1)–(5), а на этапе функционирования и эксплуатации решается задача, критерии оптимизации и ограничения которой имеют следующий вид:

$$\|S_1 - S_0\| \rightarrow \min \quad (6)$$

при выполнении следующей системы ограничений:

$$\begin{cases} T \leq T_{\Sigma}, & \mathbf{W} \leq \mathbf{W}_{\Sigma}, & \mathbf{Y} \geq \mathbf{Y}_0, \\ \mathbf{H} \geq \mathbf{H}_0, & \mathbf{B} \geq \mathbf{B}_0, & \mathbf{J} \geq \mathbf{J}_0. \end{cases} \quad (7)$$

Для решения (6)–(7) возможно применение методов решения сетевых задач [5]. При этом задача (7) решается только при изменении топологии и характеристик ЗМС, вызванных либо воздействием деструктивных факторов, либо изменением целей функционирования ЗМС.

После решения задачи (1)–(5) формируется взаимоувязанный набор требований и ограничений, которыми определяются исходные данные для следующего уровня **оперативно-технического управления**. Математическая постановка задачи, решаемой на этом уровне, имеет следующий вид. Исходными данными являются: $\mathbf{B}_0$ – требуемое состояние сетевой безопасности; $M_i(K_i, R_i)$ – количество видов услуг, K_i – требуемое качество для i -ой услуги; $R_i(K_i)$ – требуемый телекоммуникационный ресурс для i -ой услуги; $\mathbf{H}_0$ – требуемая надежность сети; $\mathbf{Y}_0$ – требуемая устойчивость сети; $\mathbf{J}_0$ – требуемая живучесть сети; $\mathbf{G}(m, n)$ – требуемая топология сети, заданная в виде направленного графа, где n – количество центров коммутации пакетов и m – количество трактов их передачи.

Положим, что в сети имеется суммарный трафик $\lambda_{\Sigma} = \sum_{j=1}^m \lambda_j$. Обозначим через

$A_j(t) = 1 - \exp(-\lambda_j t)$ функцию распределения вероятности интервалов времени между пакетами (λ_j – интенсивность потока), а $L_j(t) = 1 - \exp(-\mu_j t)$ – функцию распределения времени обслуживания пакетов в тракте (μ_j – интенсивность обслуживания пакетов). При этом справедливо соотношение $\mu_j = v_j / l_j$, где v_j – эффективная скорость передачи пакетов в тракте, а l_j – средняя длина пакета.

Пусть заданы экспоненциальные функции распределения отказов и восстановления $C(t)$ и $E(t)$ с параметрами $c_j = (T_{nj})^{-1}$ и $d_j = (T_{nj})^{-1}$ соответственно. Пусть также задан закон старения информации $Z(t) = 1 - \exp(-\gamma_j t)$, где $\gamma_j = (T_{ст,j})^{-1}$. Тогда вероятность своевременной доставки сообщения в j -м тракте будет определяться с помощью следующего соотношения [6]:

$$Q(\mu_j) = \frac{\mu_{\Sigma j} - \lambda_j}{\mu_{\Sigma j} - \lambda_j + \gamma_{\Sigma j}}. \quad (8)$$

Среднее время доставки сообщения в j -м тракте будет равно

$$T_j = \frac{\mu_{\text{э}j} T_{\text{и}j} k_{\text{и}j} + 1}{\mu_{\text{э}j} - \lambda_j}. \quad (9)$$

В этих соотношениях $\mu_{\text{э}j}$ – эквивалентная пропускная способность j -го тракта связи, $\mu_{\text{э}j} = \mu_j k_{\text{г}j}$. При этом $k_{\text{г}j} = T_{\text{и}j} / (T_{\text{и}j} + T_{\text{п}j})$ – коэффициент готовности, $k_{\text{п}j} = T_{\text{п}j} / (T_{\text{и}j} + T_{\text{п}j})$ – коэффициент простоя, $\gamma_{\text{э}j} = \gamma_j + \mu_{\text{э}j} f_j$ – эквивалентная интенсивность старения информации, а $f_j = k_{\text{п}j} / \left(k_{\text{г}j} + (\gamma_j T_{\text{и}j})^{-1} \right)$ – коэффициент ненадежности j -го тракта связи.

Тогда критерии оптимизации можно сформулировать в следующем виде [6]:

$$Q(\mu_j) = \sum_{j=1}^m \lambda_j Q_j(\mu_j) \rightarrow \max, \quad (10)$$

$$D(\mu_j) = \sum_{j=1}^m \lambda_j \ln(Q_j(\mu_j)) \rightarrow \max, \quad (11)$$

при ограничениях $R \leq R_0, \mathbf{H} \geq \mathbf{H}_0, \lambda_{\Sigma} \leq \lambda_0, \mathbf{B} \geq \mathbf{B}_0, \mathbf{Y} \geq \mathbf{Y}_0, \mathbf{J} \geq \mathbf{J}_0$.

Критерий (10) оптимизирует «в среднем», тогда как критерий (11) накладывает более жесткие требования на величину ресурса. Применение критерия (11) целесообразно при проектировании систем передачи данных уникального назначения.

Математическое моделирование уровней **технологического управления и управления сетевыми элементами** проводится с помощью известных методов теории массового обслуживания [7]. На уровнях ТУ и УСЭ оптимизируются характеристики отдельных сетевых элементов. В силу большого разнообразия сетевых элементов соответствующие постановки задач в настоящей статье мы опускаем. Отметим только, что исходными данными для этих моделей служат данные, полученные при моделировании на уровне ОТУ.

Таким образом, учет особенностей сети ЗМС как объекта управления и возможности применения концепции *TMN* позволяют предложить многоуровневую модель управления ЗМС и определить взаимосвязь между уровнями этой модели. Предложенные математические постановки задач, решаемых на различных уровнях управления ЗМС, и подходы к их решению позволяют сформировать комплекс разнородных математических моделей управления ЗМС. После своей программной реализации он может составить основу специального программного обеспечения АСУ ЗМС.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ (проект 11-07-00435-а) и при частичной финансовой поддержке, осуществляемой в рамках проекта Евросоюза *MASSIF*.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гребешков, А. Ю. Стандарты и технологии управления сетями связи / А. Ю. Гребешков. М.: Эко-Трендз, 2003.
2. Давыдов, Г. Б. Сеть электросвязи / Г. Б. Давыдов, В. Н. Рогинский, А. Я. Толчин. М.: Связь, 1977.
3. Лазарев, В. Г. Динамическое управление потоками информации в сетях связи / В. Г. Лазарев, Ю. В. Лазарев. М.: Радио и связь, 1983.

4. Волкова, В. Н. Теория систем и методы системного анализа в управлении и связи / В. Н. Волкова [и др.]. М.: Радио и связь, 1983.
 5. Кузин, Л. Т. Основы кибернетики. Т. 1. Математические основы кибернетики / Л. Т. Кузин. М.: Энергия, 1973.
 6. Дымарский, Я. С. Задачи и методы оптимизации сетей связи / Я. С. Дымарский. СПб.: СПбГУТ, 2005.
 7. Ивницкий, В. А. Теория сетей массового обслуживания / В. А. Ивницкий. М.: Изд-во физ.-мат. литературы, 2004.
-