

УДК 621.651

## Состояние и развитие автоматизации управления в инфокоммуникациях

Представлен анализ состояния и перспективы развития автоматизированного управления в инфокоммуникационных сетях (ИКС). Рассмотрены три этапа в развитии управления ИКС: первый – на базе модели «менеджер – агент», второй – на базе концепции развития подсистем OSS/BSS, третий связан с интеллектуализацией на основе мультиагентного подхода и вероятностных моделей. Приведены технологии управления сетями на базе протокола NSMP и «интернета вещей» (ИВ). Обсуждены две линии в автоматизации управления в ИКС на основе программно-определяемых сетей. Рассмотрены два вида моделей, используемых в системах управления ИКС. Даны перспективы развития автоматизации управления ИКС.

**Введение.** Для современных инфокоммуникационных сетей (ИКС) характерны три особенности [1]:

- интеграция разных технологических сетей электросвязи, созданных ранее и становящихся единой – гетерогенной мультисервисной инфокоммуникационной сетью следующего поколения NGN (Next Generation Network);
- обеспечение всеобщей мобильности и предоставления ИК-услуг в любой точке мира, в удобное время и с требуемым качеством;
- персонализация сетевых сервисов, их объединение и клиентоориентированная модель их предоставления с учетом описания из баз знаний абонентских профилей.

Эти направления и определяют перспективы развития ИК-отрасли, обслуживающей разнообразных пользователей – людей (мобильная и проводная связь) и устройства (M2M-коммуникации, сети «интернета вещей»). Классическая теория управления ТКС, базирующаяся на модели TMN [2], отходит в прошлое. Требуется разработка новых моделей и методов управления современными ИКС.

**Технологии в управлении ИКС.** Существуют два основных подхода к процессу управления в сетях инфокоммуникаций: первый основан на создании и использовании специальных программных средств для управления конкретным сетевым устройством, второй подход базируется на работе с данными, описывающими сетевые устройства [2, 3]. В этом случае в качестве воздействия используется поток данных, а не поток управления. Поток данных, в отличие от потока управления, позволяет построить более универсальную, хотя и более ограниченную по своим возможностям модель управления. Основное ее

преимущество – независимость не только от ОС, но и от конкретной аппаратной реализации управляемого устройства. В целях создания единого подхода к управлению оборудованием, подключенным к сетям IP, был разработан протокол сетевого управления (Simple Network Management Protocol – SNMP) [1, 2].

До 2000-х годов теория управления сетями электросвязи имела дело с объектами, структура и функционирование которых могли быть описаны относительно фиксированными характеристиками, а задачи и критерии управления допускали некую формализацию и не менялись с течением времени. Это позволяло строить теорию управления в сетях, наиболее близких к формальным подходам модели TMN (Telecommunications Management Network) [2]. С начала 2000-х годов появляются ИКС нового поколения (NGN), требующие автоматизации управления на основе накапливаемых знаний и меняющегося функционального описания управляемой сети, изменения внутренней структуры ее связей в процессе функционирования в зависимости от сложившегося трафика к тем или иным услугам и перемещения источников этого трафика [1]. К тому же и сами сетевые технологии, методы организации вызовов/сессий, построения транспортной сети, сетевые протоколы, состав передаваемого трафика существенно изменились за последние годы, появились новые подходы и технологии [4-6].

Научные проблемы и инженерные аспекты управления развивающимися ИКС связи следующего поколения сформулированы в работах международных институтов ITU (International Telecommunication Union), ETSI (European Telecommunications Standards Institute), 3GPP (3rd Generation Partnership Project), IETF (Internet

**В.А. ВИШНЯКОВ,**  
профессор, д. т. н.,  
профессор кафедры ИКТ

УО «Белорусский государственный  
университет информатики  
и радиоэлектроники»

**Ключевые слова:**

методы управления ИКС,  
«интернет вещей»,  
программно-определяемые сети,  
интеллектуализация.

Engineering Task Force), TMForum (TeleManagement Forum) [1].

Модели, отображающие концепцию управления для трех уровней современных ИКС, включают задачи на трех основных уровнях [6, 7]:

- управление транспортной сетью; анализ вероятностно-временных характеристик (VBX) управления в сети IP/MPLS; обеспечение заданного качества обслуживания трафика; разработка алгоритмов организации связи в сети IP/MPLS;

- построение мультиагентных самоорганизующихся архитектур; проектирование процессов коммутации и управления обслуживанием вызовов сессий; распределение трафика в сети NGN-оператора; построение ИТ-структуры; создание системы технического учета управления БД сетевых элементов ИКС;
- управление ИК-услугами, М2М-взаимодействием, социальными сетями, методы решения которых базируются на мультиагентных системах и когнитивных сетевых архитектурах.

Стандарты OSI, модели IETF и рекомендации ITU-T серии М базировались на концепции «менеджер – агент». Управляемый элемент в этой модели представлен определенным набором информации, которая называется Management Information Base (MIB). Вторая фаза эволюции управления в ИКС соответствует дальнейшему развитию концепции TMN на основе разделения управления ИКС на управление сетями (OSS) и бизнесом (BSS). Третья фаза построения систем управления ИК в соответствии с последними разработками TMForum связана с использованием интеллектуализации, мультиагентными и когнитивными технологиями.

Самоорганизация в управлении ТКС – процесс автономного формирования оптимальной иерархической структуры и оптимальных алгоритмов управления в соответствии с глобальной целью системы: оказать максимальное количество услуг с требуемым качеством за более низкие цены. Четыре фактора для создания и работы агента в сетях – среда, восприятие, интерпретация, действие. Эти агенты непрерывно выполняют три функции: 1 – восприятие динамики среды; 2 – интерпретация наблюдаемых процессов и подготовка решения для выполнения целевых функций; 3 – действия, изменяющие эту среду.

Мультиагентные системы (МАС) представляют собой открытые, активные, развивающиеся структуры, в которых внимание уделяется процессам взаимодействия агентов как для управления неким объектом, так и для коррекции объекта, обладающего новыми качествами. Самоорганизующаяся система управления и МАС рассматриваются как основа для автоматизации управления в современных ИКС. Во множестве ситуаций в ИКС вместо команд, указаний, управляющих

воздействий могут задаваться пороговые параметры, определяющие вероятностные процессы управления в ИКС [4].

**Уровни управления в сети «интернет вещей».** Если в ИКС, обслуживающих людей, работает от 4 до 6 миллиардов пользователей, то в сетях ИВ объектов управления на два порядка больше, и эта тенденция различия в численности будет увеличиваться: прогнозируется рост объектов ИВ (реальных и виртуальных) в несколько триллионов к 2025–2030 годам [3].

В Рекомендации Y.2060 приведена эталонная модель IoT, которая очень похожа на модель управления для NGN и включает четыре базовых горизонтальных уровня [1]. В сети ИВ также различают четыре уровня управления: уровень приложений; уровень поддержки приложений и услуг; сетевой уровень; уровень устройств (датчик + обработчик).

Уровень приложений IoT в Рекомендации Y.2060 детально не рассматривается. Уровень поддержки приложений и услуг включает возможности для различных объектов IoT по обработке и хранению данных, а также возможности, необходимые для некоторых приложений IoT или групп таких приложений. В сетевой уровень входят сетевые (управление ресурсами сети доступа и транспортной сети, управление мобильностью, функции авторизации, аутентификации и расчетов, AAA) и транспортные возможности (обеспечение связности сети для передачи информации приложений и услуг IoT). Уровень устройств включает возможности сетевого элемента по съему информации, ее предобработке и обмену через шлюз.

Возможности устройства предполагают прямой обмен с сетью связи, обмен через шлюз, обмен через беспроводную динамическую ad-hoc сеть, а также временный останов и возобновление работы устройства для энергосбережения. Возможности шлюза предполагают поддержку множества интерфейсов для устройств (шина CAN, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi и др.) и сетей доступа/транспортных сетей (3G, LTE, DSL и др.) [3]. Другой возможностью шлюза является поддержка конверсии протоколов, в случае если протоколы интерфейсов устройств и сетей отличаются друг от друга [4].

Существует также два вертикальных уровня – уровень управления и уровень безопасности, охватывающих все четыре горизонтальных уровня. Возможности вертикального уровня эксплуатационного управления предусматривают управление последствиями отказов, возможностями сети, конфигурацией, безопасностью и данными для биллинга.

Основными объектами управления являются устройства, локальные сети и их топология, трафик и перегрузки на сетях. Возможности вертикального уровня безопасности зависят от горизонтального

уровня. Для уровня поддержки приложений и услуг определены функции AAA, антивирусная защита, тесты целостности данных. Для сетевого уровня – возможности авторизации, аутентификации, защиты информации протоколов сигнализации. На уровне устройств – возможности авторизации, аутентификации, контроль доступа и конфиденциальность данных.

При этом ведущую роль играют именно те устройства, которые могут собирать различную информацию и распространять ее по коммуникационным сетям различными способами: через шлюзы и через сеть; без шлюзов, но через сеть; напрямую между собой. Устройства могут обладать полноценными управляющими процессорами для обработки данных в виде «системы на кристалле», в том числе с собственной ОС, блоком сенсоринга/зондирования окружающей среды и блоком коммуникации.

**Модели и подходы к автоматизации управления в ИК-сетях.** Эти модели разделяются на вероятностные и многоагентные. Суть вероятностно-параметрического подхода в управлении ИКС заключается в том, что во множестве ситуаций в ИК-структурах вместо команд, указаний, управляющих воздействий задаются пороговые параметры, определяющие вероятностные процессы, происходящие в сетях. Вероятностные модели, применяемые в системах управления современными ИКС, можно разделить на два класса. Первый класс таких моделей базируется на результатах классической теории сетей массового обслуживания (теории очередей), более новые модели – на основе теории G-сетей массового обслуживания [8].

Другой класс моделей концепции управления основывается на мультиагентных системах – более новой по сравнению с предыдущим классом области анализа и моделирования процессов управления ИКС. Примерами управляющих параметров являются вероятности того, что агент ресурса ИКС полностью удовлетворяет заявку на услугу, выраженную агентом заявки на ИК-услугу, и ресурсов у первого агента остается достаточно [4].

Еще одно инновационное направление в концепции управления ИКС – программно-управляемые сети (Software Defined Network, SDN). В SDN логика управления сетью выносится на уровни программных описаний в специальных приложениях. Существуют два независимых подхода к построению SDN [9]. Один из них практикует консорциум Open Network Foundation (ONF), другой развивается IETF. Эти подходы получили названия OpenFlow (OF) и PCE (Path Communication Element). ONF определяет OpenFlow как интерфейс между уровнями управления и передачи данных. Весь потенциал SDN базируется на специальном протоколе, работающем на станции администратора. Этот протокол переносит таблицы

(правила) действий сетевых устройств с уровня управления на уровень передачи данных. OF прямо не указывает, как организовать уровень управления, как принимать решения для создания тех самых правил и таблиц управления. Он открывает интерфейс между двумя уровнями в архитектуре SDN – управления сетью и пользовательским.

IETF позиционирует PCE как развитие сетевого управления, способного привести ко всем преимуществам SDN – перенос управления сетью на программируемый верхний уровень администратора. PCE – это элемент архитектуры сети SDN, ответственный за вычисление маршрутов с использованием LSP (Label Distribution Protocol). Элемент PCE может быть реализован как роутер, часть OSS-системы или виртуальный объект, построенный в облачной среде.

Принцип работы подхода заключается в том, что сетевой транспортный узел при прокладке маршрута обращается к PCE, который, зная всю сетевую топологию и статус сети, вычисляет оптимальный маршрут. PCE возвращает узлу (Explicit Route Object) данные для LSP, которые передаются дальше по сети с помощью сигнального протокола RSVP (Resource Reservation Protocol).

Подходы реализуют главные принципы SDN: разделение уровней и функций передачи данных от управления. Очевидное отличие в том, что OF забирает все функции управления и задачи принятия решения с сетевых устройств и переносит на уровень управления, в то время как PCE оставляет часть функций принятия решений самим сетевым устройствам.

Рассмотрим реализацию автоматизированного управления через протокол OpenFlow. Все функции принятия решений по управлению вынесены на уровень централизованного контроллера и связаны с уровнем передачи данных через интерфейс OpenFlow. Функции по управлению могут быть не только представлены в самом контроллере, но могут быть вынесены в отдельное приложение или компонент OSS.

Функции Discovery собирают информацию о топологии сети, ее статусе, а также о связности сетевых элементов. Функция Routing выполняет задачи вычисления маршрутов для потоков данных. Flow processor создает новые записи о потоках проходящих данных, формирует для них правила, которые дальше будут переданы через OpenFlow на сетевые элементы уровня передачи данных. Отдельно связывают успех SDN на сетях доступа сервис провайдера, где используются технологии виртуализации сетевых функций NFV.

Объединив функции от PCE и OpenFlow на уровне управления и сохранив возможность взаимодействия с MPLS, можно получить лучший вариант автоматизации управления в ИКС.

**Перспективы управления в ИКС.** Для решения задач развития управления ИК, в частности для организации поиска и обработки данных, необходимо использовать процедуры интеллектуализации бизнеса (Business Intelligence, BI) для операторов связи [10]. Также эффективным является использование мультиагентного подхода, в рамках которого интеллектуальная система строится как совокупность агентов на различных уровнях управления: интеллектуальные агенты BI (уровень бизнеса), агенты менеджера и агенты подсистем OSS/BSS (уровни сервисов, сети и сетевых элементов). Выбор мультиагентной технологии управления объединит в единой системе управления как универсальные протоколы, так и любые другие средства работы с конкретными типами баз данных подсистем управления ИК.

В сетях 5G в связи с усложнением управления многообразием новых, не полностью формализуемых ИК услуг и технологий и все убыстряющейся трансформацией бизнес-моделей телекоммуникационных операторов невозможно обходиться без разработки сетевых, организационных и информационных средств Business Intelligence на основе когнитивных методов.

Нужна разработка новых моделей и алгоритмов на уровне принятия решений для перехода от моделей данных и информационных моделей управления к семантическим моделям, базирующимся на мультиагентных

системах. Исследование и оптимизация сверхсложных систем, в которые превращаются современные ИКС с надстроенными над ними социальными сетями, коммуникациями M2M, сетями ИВ и разными новыми ИК-услугами, основываются на интеллектуальных когнитивных методах, претендующих на роль перспективной парадигмы управления ИКС.

**Заключение.** Представлены три этапа в развитии управления ИК: первый – на базе модели «менеджер – агент», второй – на основе концепции разделения подсистем управления структурами сети и бизнеса – OSS/BSS, третий связан с интеллектуализацией на основе мультиагентного подхода и программно-определяемых сетей (SDN). Рассмотрены два независимых подхода к построению SDN. Один из них развивается консорциумом Open Network Foundation, другой – IETF. Эти подходы получили названия OpenFlow (OF) и PCE (Path communication element) соответственно. Приведены два класса моделей, применяемых в управлении ИКС: на основе СМО и MAC. В качестве перспективы в управлении современными ИКС рассмотрены интеллектуальные технологии (бизнес-интеллект, представление о обработке знаний, нейронные сети, когнитивные методы). Преобладающим направлением в развитии ИКС ожидается массовое проектирование и использование сетей «интернета вещей» различного назначения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый, А.Е., Гольдштейн, Б.С. Сети связи пост-NGN // СПб: БХВ-Петербург, 2013. – 160 с.
2. Гребешков, А.Ю. Управление сетями электросвязи по стандарту TMN: Учеб. пособие. – М.: Радио и связь, 2004 г. – 155 с.
3. Росляков, А.В. Интернет вещей: учеб. пособие / А.В. Росляков, С.В. Ваняшин, А.Ю. Гребешков. – Самара, ПГУТИИ, 2015. – 115 с.
4. Гольдштейн, А.Б. Ре(э)волюция управления телекоммуникациями: от иерархических к многоагентным системам // А.Б. Гольдштейн, А.А. Бородинский, Н.К. Зань // Вестник Связи. – 2018. – № 10. – с. 23-29.
5. Гольдштейн, А. Б. Управление телекоммуникациями как техническая система // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018), сборник 2018. – С. 236–242.
6. Гольдштейн, А.Б. Прогнозирование с применением нейронной сети в системах управления класса BI. // А.Б. Гольдштейн, А.А. Шестакова // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018), сборник трудов Т1. СПб.: СПбГУТ, 2018. – С. 248–252.
7. Гольдштейн, А.Б., Использование Process-mining для оптимизации бизнес-процессов в телекоммуникациях // А.Б. Гольдштейн, А.О. Ражева, В.С. Резанова, М.Ю. Скоринов // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2018), сборник. 2018. – С. 448–488.
8. Программно-определяемые сети (Software Defined Networks): настоящее и будущее. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://habr.com/en/company/hpe/blog/160531/>. – Дата доступа: 15.01.2020.
9. Новосельцев, В.И. Теоретические основы системного анализа // В.И. Новосельцев, Б.В. Тарасов М.: Майор – 2013 – 536 с.
10. Вишняков, В.А. Интеллектуальные системы управления: учеб. пособие / В.А. Вишняков. – Минск, МИУ, 2010. – 350 с.

*The analysis of the state and prospects of development of automated management in infocommunication networks (ICN) is presented. Three stages in the development of ICN management are considered: the first is based on the «manager-agent» model, the second is based on the OSS/BSS subsystems development concept, and the third is related to intellectualization based on the multi-agent approach and probabilistic models. Network management technologies based on the NSMP and the Internet of things (IoT) are discussed. Two lines in control automation in ICN based on software-defined networks are discussed. Two types of models used in ICN control systems are considered. Prospects for the development of ICN control automation are given.*

**Keywords:** ICN management methods, Internet of things, software-defined networks, intellectualization.

Получено 04.03.2020.