

А. Сеилов, Д. Тусупов, Ш. Сеилов*

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Пушкина, 11

*e-mail: seilov_shzh@enu.kz

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ СТРУКТУРЫ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ СЕТИ В РЕСПУБЛИКЕ КАЗАХСТАН

Аннотация: Построение мультисервисной сети в Республике Казахстан требует применения научно обоснованного методологического подхода, сформированного на базе анализа международного опыта и проведения комплексных исследований. В статье рассматривается сценарий модернизации инфокоммуникационной системы, основанный на концепции «Сеть-2030», предложенной Международным союзом электросвязи. Описываются ключевые требования концепции, включая повышение пропускной способности, надежности и гибкости сети для эффективного обслуживания различных типов трафика: голосового, видео, данных и IoT-устройств. Особое внимание уделено анализу параметров мультисервисного трафика, таким как интенсивность потока, вариативность, автокорреляция и временные характеристики. На основе проведенных исследований сформированы гипотезы и методы оценки статистических характеристик трафика, что позволяет прогнозировать динамику нагрузки и повышать точность проектирования сети. Результаты анализа и выдвинутых гипотез легли в основу методологического подхода к проектированию перспективной мультисервисной сети в Казахстане. Предложенная методология направлена на оптимизацию использования сетевых ресурсов, улучшение качества обслуживания пользователей и повышение устойчивости сети к изменчивым условиям эксплуатации. Практическая значимость работы заключается в создании рекомендаций для проектирования и модернизации телекоммуникационных сетей, что позволит обеспечить Казахстан современными инфокоммуникационными услугами и ускорить цифровизацию экономики. Научная ценность работы состоит в разработке подходов к оценке характеристик мультисервисного трафика и адаптации концепции «Сеть-2030» к национальным условиям. подход к созданию перспективной мультисервисной сети в Республике Казахстан.

Ключевые слова: мультисервисная сеть, методологический подход, инфокоммуникационные услуги, качество обслуживания, математическая модель, чистая текущая стоимость.

Введение. В последние годы сформировалась устойчивая тенденция в развитии телекоммуникационных сетей. Она заключается в создании мультисервисных сетей (МСС), способных экономично поддерживать инфокоммуникационные услуги, которые предназначены для реализации коммуникативных и информационных потребностей клиентов Операторов связи. Построение национальной МСС представляет собой сложную комплексную научно-техническую задачу, для решения которой необходим современный методологический подход. Разработку общих принципов такого подхода в части выбора структуры МСС – цель данной статьи.

Статья включает пять разделов. Первый раздел содержит краткое изложение тех положений концепции «Сеть-2030» [1, 2], которые существенны с точки зрения тематики статьи. Во втором разделе изложены предложения по разработке математической модели перспективной МСС, которая позволит исследовать ее основные характеристики. Третий раздел посвящен развитию идеи поиска «рационального решения» [3] по выбору структуры МСС для разработки ряда практических рекомендаций по ее построению и постепенному развитию.

Четвертый раздел содержит ключевые положения по методологическому подходу к построению МСС в Республике Казахстан. Этот подход базируется на развитии концептуальных положениях, предложенных в работах Международного союза электросвязи [4]. Пятый раздел включает перечень задач, требующих проведения дополнительных исследований.

1. Основные аспекты концепции «Сеть-2030»

В этом разделе рассматриваются те аспекты концепции «Сеть-2030», которые существенны именно с точки зрения построения МСС. С этой целью используется простая модель, разработанная на базе положений, изложенных в [3]. Данная модель приведена на

рисунке 1. Она содержит краткие формулировки основных особенностей концепции «Сеть-2030», которые разделены на четыре положения.

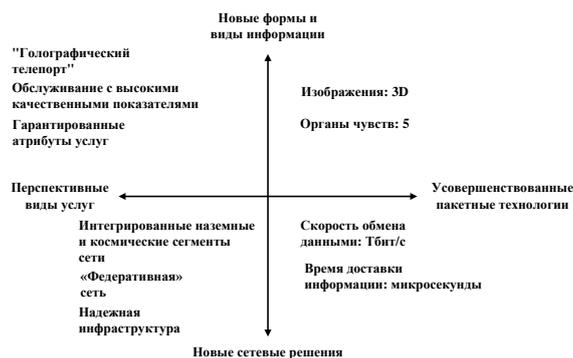


Рисунок 1 – Основные особенности перспективной МСС

Вектор под названием «Новые формы и виды информации» представлен двумя ключевыми примерами. Во-первых, ожидается широкое использование трехмерных изображений (символ «3D» – three-dimensional space), что потребует заметного повышения пропускной способности МСС. Во-вторых, начнется рост трафика, воспринимаемого не только зрением и слухом, но всеми пятью основными органами чувств (добавляя обоняние, осязание и вкус). Такая возможность также порождает повышение пропускной способности МСС и может сформировать новые требования к показателям качества обслуживания мультисервисного трафика.

Вектор под названием «Усовершенствованные пакетные технологии» представлен также двумя ключевыми примерами. Скорость обмен данными может возрасти до уровня, измеряемая в терабитах за одну секунду. При этом для некоторых приложений может потребоваться времени доставки информации, оцениваемой в микросекундах. В результате практического применения функциональных возможностей МСС, реализующих оба примера, возрастут требования к пропускной способности транспортных ресурсов и к производительности средств обработки информации.

Вектор под названием «Новые сетевые решения» представлен тремя важными примерами. Во-первых, продолжится интеграция наземных и космических сегментов, но этот процесс, по всей видимости, приобретен новое качество с точки зрения функциональных возможностей МСС и ее надежности. Во-вторых, будут активно развиваться так называемые «федеративные сети», представляющие собой совокупность взаимодействующих различных инфокоммуникационных систем, что позволит обеспечить устойчивую и экономичную поддержку услуг, которые востребованы клиентами Операторов связи и Поставщиков информационных ресурсов. В-третьих, должна быть создана надежная инфраструктура, которая необходима для функционирования МСС, отвечающей всем заданным требованиям.

Вектор под названием «Перспективные виды услуг» представлен также тремя ключевыми примерами. Первый пример – «Голографический телепорт». Он позволяет реализовать такой эффект присутствия, который максимально близок к реальности. Второй пример связан с обслуживанием, для которого характерны высокие качественные показатели. Они будут актуальны для совокупности перспективных приложений. Третьим примером служат услуги с гарантированными атрибутами, включающими и высокий уровень информационной безопасности. Такая формулировка означает, что вероятность нарушения заданных атрибутов для услуги теоретически может рассматривать как бесконечно малая величиной, которой на практике можно пренебречь.

Четыре вектора, показанные на рис. 1, и их примеры позволяют утверждать, что перспективная МСС должна отличаться высочайшими характеристиками с точки зрения пропускной способности транспортных ресурсов, производительности средств обработки информации, показателей качества обслуживания (включая аспекты передачи сигналов) и информационной безопасности. Кроме того, перспективная МСС должна быть способна к адаптации при изменении требований внутреннего и внешнего характера. Такая адаптация должна учитывать возможность смены технологий передачи, коммутации и обработки информации.

Одна из сложных задач, решаемых при выборе структуры МСС, заключается в учете перечисленных выше требований, на которые накладывается ряд ограничений. Эти ограничения обусловлены экономическими возможностями реализации некоторых требований к МСС, а также особенностями эксплуатируемых технических средств в составе национальной инфокоммуникационной системы. Процесс построения перспективной МСС следует рассматривать как модернизацию существующих телекоммуникационных сетей. Проведение исследований, направленных на формирование облика МСС, базируется на ее математической модели.

2. Математическая модель МСС

В качестве исходной математической модели МСС, предназначенной для решения задач по выбору ее структуры, можно использовать неориентированный граф [5]. Модель фрагмента МСС приведена на рисунке 2. Черным цветом маркированы те вершины графа a_i , которые соответствуют уже установленным узлам коммутации (УК). Сплошными линиями показаны ребра графа b_{ij} , отображающие эксплуатируемые тракты обмена информацией. Зеленым (более темным) цветом окрашены новые вершины графа, которые обязательно появятся после завершения процесса модернизации МСС. Голубым (более светлым) цветом выделены вершины графа, появление которых пока не представляется очевидным фактом. Пунктирными линиями изображены ребра графа, которые обязательно будут реализованы после завершения процесса модернизации МСС. Ребра графа, реализация которых еще не определена, нарисованы штрихпунктирными линиями.

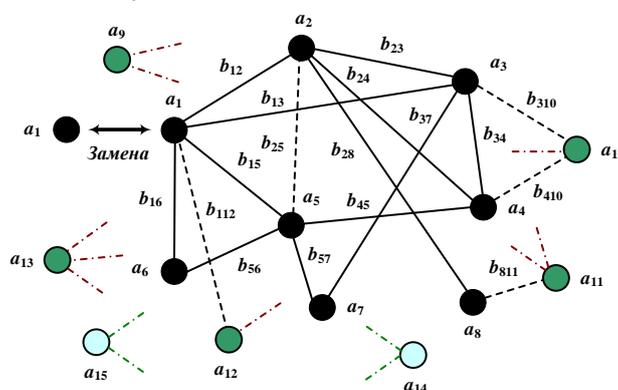


Рисунок 2 – Модель фрагмента МСС в виде неориентированного графа

Совокупность уточнений, изображенных на рис. 2, включает следующие решения, которые предлагаются на этапе разработки проекта по модернизации МСС:

- вершина a_1 заменяется, что подразумевает установку нового УК, которому присущи перспективные функциональные возможности в части производительности и поддержки инфокоммуникационных услуг;
- для вершин a_9 , a_{10} , a_{11} , a_{12} и a_{13} необходимы дополнительные ребра, то есть новые тракты обмен данными для обеспечения заданных показателей надежности и живучести, либо по иным соображениям;
- вершины a_{14} и a_{15} , если соответствующие компоненты МСС будут реализованы при ее модернизации, должны быть инциденты двум ребрам.

Предлагаемые решения могут быть пересмотрены при составлении окончательной версии проектной документации по ряду причин, среди которых важны два следующих момента. Во-первых, не исключено, что требования к МСС (в процессе их обсуждения) частично поменяются, что отразится на содержании технического задания для разработки проектных решений. Во-вторых, при разработке проектных решений может сформироваться необходимость ревизии технического задания.

Элементы матриц $\|a_i\|$ и $\|b_{ij}\|$ содержат набор сведений. Сущность каждого элемента модели МСС, представленной в виде ориентированного графа, иллюстрирует рисунок 3. В качестве примера выбрана гипотетическая вершина a_i . Для нее указаны те признаки, которые могут быть приписаны рассматриваемой вершине. Эти признаки снабжены индексами в скобках. Более того, для четвертого признака приведен пример его дальнейшей детализации, что отмечено двухзначными индексами.

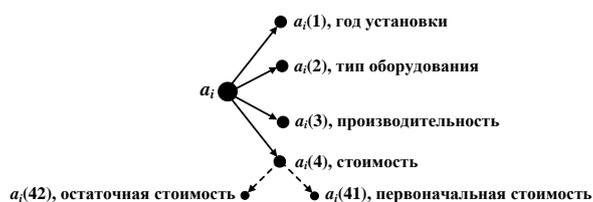


Рисунок 3 – Сущность элементов графа на примере вершины a_i

Очевидно, что единицы измерений всех четырех признаков различны. По этой причине каждую вершину графа следует рассматривать как иерархическую структуру. Это означает, что математическая модель МСС представляет собой гиперсеть [6]. С другой стороны, появление вершин a_{14} и a_{15} представляет собой случайный процесс. Это означает, что модель МСС уместно трактовать и как случайный граф [7].

Фактически предлагаемая математическая модель МСС представляет собой симбиоз гиперсети и случайного графа. Такая модель содержит максимум полезной информации как для обоснованного выбора структуры МСС, так и для исследования инфокоммуникационной системы в целом.

3. Развитие идеи поиска «рационального решения»

С учетом практической ситуации в процессе модернизации МСС невозможно найти оптимальное решение [8] в классической трактовке этого словосочетания. В работе [9] предложено подход к модернизации телекоммуникационных сетей, названный поиском «рационального решения». Суть такого подхода заключается в нахождении такого варианта модернизации телекоммуникационных сетей, который не приводит к существенному росту инвестиций при необходимости изменения проектных решений.

Примеры поиска «рационального решения» приведены на рисунке 4 для двух городов и одного сельского района. В качестве примера предложенных структур выбраны топологии так называемых первичных сетей [10], которые определяют трассы прокладки кабельных линий и/или трактов, построенных на базе беспроводных технологий. Первичная сеть содержит также и сетевые узлы (СУ), которые осуществляют формирование трактов обмена информацией и их переключение за счет кроссовой коммутации.

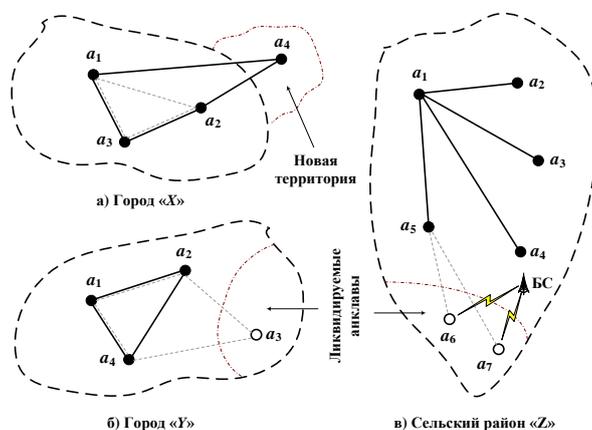


Рисунок 4 – Три примера проектов по поиску «рационального решения»

Вариант (а) иллюстрирует возможные решения по построению первичной сети в гипотетическом городе «X». Штрихпунктирной линией показана новая территория, на которой предполагается через некоторое время t_x возвести комплекс промышленных предприятий и жилых многоквартирных домов. Светлыми пунктирными линиями показаны трассы кабельной канализации, которые проектировались без учета новой территории, охватывая только уже построенные СУ (вершины графа a_1 , a_2 и a_3). Сплошными черными линиями изображены трассы кабельной канализации, проложенные с учетом появления нового СУ (вершины графа a_4).

Структура первичной сети, включающая четыре вершины (a_1 , a_2 , a_3 и a_4) соответствует концепции «рациональное решение». Недостатком данного варианта построения первичной сети следует считать «замораживание» капитальных затрат [11], как минимум, до момента времени t_x . С другой стороны, если четвертый СУ подключать к уже построенному кольцу, то

придется проложить две трассы к другим СУ, что потребует существенных инвестиций. Тем не менее, выбор «рационального решения» требует проведения технико-экономического обоснования, выполняемого по известным методикам [12].

Вариант (б) иллюстрирует возможные решения по построению первичной сети в гипотетическом городе «У». Штрихпунктирной линией показан ликвидируемый анклав, причиной чего может быть закрытие промышленной зоны, на месте которой будет создан парк отдыха. В этом случае нет оснований для включения в состав кольца третьего СУ. Расположенные в ликвидируемом анклаве пользователи до полного закрытия промышленной зоны могут получать доступ в инфокоммуникационную систему через ресурсы Операторов мобильной связи. Подобные решения также требуют проведения технико-экономического обоснования.

Вариант (в) иллюстрирует возможные решения по построению первичной сети на территории гипотетического сельского района «Z». Штрихпунктирной линией показан ликвидируемый (в течение периода t_z) анклав, причиной чего может быть переселение жителей из-за ухудшающейся экологической обстановки. Предполагается, что первичная сеть построена по звездообразной топологии [5]. Подключать два СУ, моделями которых служат вершины графа a_6 и a_7 , посредством прокладки кабеля с оптическими волокнами экономически нецелесообразно. Установка оборудования базовых станций (БС) может решить все проблемы организации связи до наступления момента времени t_z . После этого оборудование БС может быть демонтировано и использовано в других сельских районах.

Идею поиска «рационального решения» уместно дополнить анализом чистой текущей стоимости [11], известной по аббревиатуре NPV (Net Present Value). Часто оперируют функцией $NPV(t)$, так как величина чистой текущей стоимости меняется со временем. Косвенно критерий «рациональное решение», дополненный анализом функции $NPV(t)$, определяет также уровень потенциального риска, обусловленного ошибками выбора структуры МСС.

Концепция «рациональное решение» направлена, в том числе, на устойчивое развитие МСС с точки зрения ее экономических показателей. Первым критерием устойчивого развития может быть условие, при котором функция $NPV(t)$ не будет меньше некоторой отрицательной величины Ω_{NPV} . Вторым критерием устойчивого развития МСС заключается в том, что период окупаемости на каждом этапе модернизации не будет больше порога T_R . На рисунке 5 показана функция $NPV(t)$, для которой выделены периоды неустойчивого экономического развития МСС для пятнадцати периодов ее модернизации.

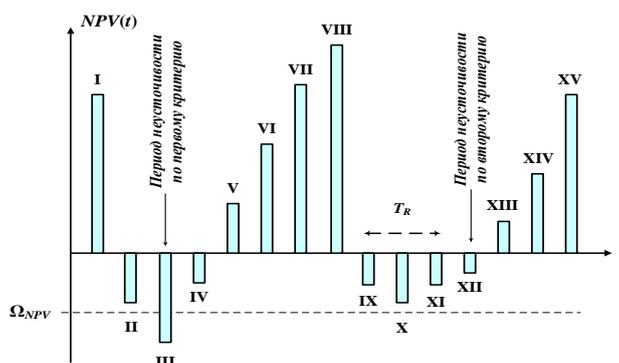


Рисунок 5 – Периоды неустойчивого экономического развития МСС

При построении гипотетической кривой $NPV(t)$ были введены следующие допущения:

- На этапе I, который предшествует модернизации МСС, предоставление инфокоммуникационных услуг приносит Оператору связи доходы. Для их дальнейшего роста разрабатывается проект развития МСС.
- На этапе II из-за необходимости инвестиций в проект модернизации МСС, кривая $NPV(t)$ становится отрицательной.
- На этапе III фиксируется неравенство вида $NPV(t) < \Omega_{NPV}$, что свидетельствует о наступлении периода неустойчивости по первому критерию. Оператор связи может изменить проект таким образом, чтобы соблюдалось условие вида $NPV(t) > \Omega_{NPV}$. Другое решение

заключает в оценке финансовых рисков [13]. Результаты такой оценки могут послужить основанием для сохранения проекта в неизменном виде.

- На этапе IV осуществляется выход из области неустойчивости по первому критерию.

- На этапах V, VI, VII и VIII происходит рост кривой $NPV(t)$. Причем на этапах VII и VIII доходы Оператора связи становятся больше, чем до начала модернизации МСС.

- На этапе IX начинается новый процесс модернизации МСС. Предполагается, что на этапах IX, X, XI и XII кривая $NPV(t)$ остается отрицательной. При этом срок окупаемости превышает величину T_R , то есть фиксируется период неустойчивости по второму критерию. Оператор связи, как и в случае для этапа III, может изменить проект с целью минимизации периода окупаемости. Или же проект остается в неизменном виде при приемлемом уровне финансовых рисков.

- На этапах XIII, XIV и XV кривая $NPV(t)$ выходит на положительную траекторию, что обеспечивает Оператору связи рост доходов от предоставления пользователям новых видов инфокоммуникационных услуг.

Совершенствовать концепцию «рациональное решение» можно при помощи аппарата нейронных сетей [14]. В случае реализации сети цифровых двойников [15] эффективность практического применения концепции «рациональное решение», по всей видимости, существенно возрастет. Данное утверждение обусловлено возможностью проведения междисциплинарных исследований [16], которые важны для разработки эффективных решений по модернизации МСС.

4. Методологический подход к построению МСС в Республике Казахстан

Методологический подход, ориентированный на построение телекоммуникационных сетей различного назначения, был детально проработан специалистами Международного союза электросвязи. Результаты этой работы были изложены в справочном руководстве [4]. В монографии [17], опубликованной специалистами ЕНУ имени Л.Н. Гумилева в 2025 году, подход, который был предложенный Международным союзом электросвязи, дополнен рядом положений. Эти положения касались всех основных блоков, образующих процесс создания и модернизации телекоммуникационных сетей класса МСС:

- Бизнес-блок;
- Технический блок;
- Эксплуатационный блок.

В результате предложенных дополнений (они в каждом блоке занимают седьмую позицию), сформировалась структура, приведенная на рис. 6 [17]. С точки зрения вопросов, рассматриваемых в данной статье, основное внимание уделяется первой позиции (структура сети) в составе технического блока. Тем не менее, прямо или косвенно ряд позиций из смежных блоков также учитываются при выборе структуры перспективной МСС, так как ее модернизация носит комплексный характер, то есть не может рассматриваться как полностью автономная задача. В частности, нельзя не учитывать практически все показатели, входящие в бизнес-блок, а также разделы «Выполнение SLA» (соглашения об уровне обслуживания) и «Ведение базы знаний для цифровых двойников» из эксплуатационного блока.

Процесс создания и модернизации МСС, изображенный на рисунке 6, полностью подходит для условий Республики Казахстан. При этом следует учитывать ряд особенностей по реализации всех трех блоков. Эти особенности детально изложены в монографии [17].



Рисунок 6 – Процесс создания и модернизации МСС

5. Направление дальнейших исследований

В качестве направлений дальнейших исследований уместно выделить три укрупненные задачи. Они могут быть представлены в виде следующих тезисов:

I. Необходимо сформулировать перечень тех ключевых показателей, которые должны быть учтены при выборе структуры МСС. Этот перечень должен учитывать интересы всех участников инфокоммуникационного рынка, а также органов государственного управления. Ключевые показатели должны соответствовать тем требованиям, которые характерны для концепции «Сеть-2030».

II. Особое внимание при выборе структуры МСС следует уделить реализации требований по надежности и живучести. Подобные требования обеспечиваются только при резервировании всех основных компонентов МСС. Соответствующие решения могут быть разработаны на базе концепции «W+W» [18], которая базируется на совместном использовании проводных и беспроводных технологий.

III. Для разработки эффективных проектных решений должна быть разработана целостная методика создания и поэтапного развития МСС на территории Республики Казахстан. Такая методика должна опираться на передовой международный опыт и, одновременно, учитывать особенности эксплуатируемой национальной инфокоммуникационной системы.

Следует учитывать, что перечисленные направления представляют собой перечень укрупненных задач. Каждая из них будет делиться на несколько подзадач. Кроме того, в процессе совершенствования концепции «Сеть-2030» могут быть сформулированы новые принципы долгосрочного развития инфокоммуникационной системы. Они также должны учитываться при разработке принципов выбора структуры МСС.

Заключение. В настоящей статье предложен ряд решений, направленных на выбор структуры МСС для создания и развития национальной инфокоммуникационной системы. Изложены предложения по пяти ключевым вопросам.

Во-первых, кратко представлены те положения концепции «Сеть-2030», которые существенны с точки зрения выбора структуры МСС. Корректность решений по структуре МСС позволяет обеспечить экономическую эффективность национальной инфокоммуникационной системы, а также возможность ее поэтапного развития в соответствии с международными стандартами и нормами.

Во-вторых, разработана математическая модель МСС, предназначенная для решения задач по выбору структуры МСС. Показано, что такая модель представляет собой симбиоз гиперсети и случайного графа. Предложенная модель может быть использована и для решения других задач по созданию и развитию МСС, не относящихся к проблемам выбора ее структуры.

В-третьих, предложено использовать подход вида «рациональное решение» для выбора структуры МСС. Этот подход развит с точки зрения его интеграции с анализом поведения функции чистой текущей стоимости и возникающих рисков. Данное предложение соответствует перспективным подходам к анализу динамики поведения больших и сложных систем.

В-четвертых, показана целесообразность использования методологического подхода к построению МСС в Республике Казахстан, который был разработан Международным союзом электросвязи. Этот подход был дополнен рядом положений, которые сформулированы учеными ЕНУ имени Л.Н. Гумилева. Соответствующие положения имеют практическую направленность, актуальную для национальной инфокоммуникационной системы.

В-пятых, составлен перечень задач, требующих проведения дополнительных исследований. Результаты решения подобных задач будут способствовать формированию методики создания и развития перспективной МСС в Республике Казахстан.

Список литературы

1. ITU-T. Focus Group on Technologies for Network 2030 (FG NET-2030): New Services and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis. – Geneva. – 2019. – 45 p.
2. Росляков А.В. СЕТЬ-2030: архитектура, технологии, услуги / А.В. Росляков. – М.: ИКЦ «Колос-с», 2022. – 278 с.

3. Ермаков А.В. Эволюция телекоммуникационных систем производственной связи / А.В. Ермаков // Электросвязь. – 2023. – № 7. – С. 41-47.
4. ITU. Telecommunication Development Bureau. Telecom Network Planning for Evolving Network Architectures. Reference Manual. – Geneva. – 2008. – 448 p.
5. Харари Ф. Теория графов / Ф. Харари. – М.: Эдиториал УРСС, 2003. – 296 с.
6. Попков В.К. Математические модели связности / В.К. Попков. – Новосибирск, издательство ИВМиМГ СО РАН, 2006. – 490 с.
7. Райгородский А.М. Модели случайных графов / А.М. Райгородский. – М.: МЦНМО, 2011. – 136 с.
8. Дымарский Я.С. Задачи и методы оптимизации сетей связи / Я.С. Дымарский. – СПб.: СПбГУТ, 2005. – 205 с.
9. Sokolov A. Rational solutions for development of telecommunications networks / A. Sokolov, N. Sokolov // T-Comm «Телекоммуникации и транспорт». – 2014. – Том 8, № 6. – Р. 81-84.
10. Соколов Н.А. Задачи планирования сетей электросвязи / Н.А. Соколов. – СПб.: Техника связи. – 2012. – 432 с.
11. Макконнелл К.Р. Экономикс: принципы, проблемы и политика / К.Р. Макконнелл, С.Л. Брю, Ш.М. Флин. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 1027 с.
12. Экономическое обоснование инженерных проектов в инновационной экономике / А.В. Бабикина и др. – М.: ИНФРА-М, 2024. – 143 с.
13. Новоселов А.А. Математическое моделирование финансовых рисков. Теория измерений / А.А. Новоселов. – Новосибирск, Наука, 2001. – 99 с.
14. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньский, Л. Рутковский. – М.: Горячая линия – Телеком, 2013. – 384 с.
15. The Concept of Building a Network of Digital Twins to Increase the Efficiency of Complex Telecommunication Systems / Sh.Zh. Seilov et al. – Complexity (Special Issue), 2021. – 9 p.
16. Frodeman R. The Oxford Handbook of Interdisciplinarity / R. Frodeman, J.T. Klein, R.C. Dos Santos. – Oxford University Press, 2019. – 656 p.
17. Сеилов Ш.Ж. Современные задачи развития телекоммуникационных сетей / Ш.Ж. Сеилов, Е.Ш. Журсинбек. – Астана, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, 2025. – 175 с.
18. Ермаков А.В. Эволюция концепции W+W для развития телекоммуникационной системы при переходе к цифровой экономике / А.В. Ермаков, К.Ю. Коломенский, Н.А. Соколов // Электросвязь. – 2022. – № 2. – С. 42-46.

References

1. ITU-T. Focus Group on Technologies for Network 2030 (FG NET-2030): New Services and Capabilities for Network 2030: Description, Technical Gap and Performance Target Analysis. – Geneva. – 2019. – 45 p. (In English).
2. Roslyakov A.V. SET'-2030: arkhitektura, tekhnologii, uslugi / A.V. Roslyakov. – М.: IKTS «Koloss», 2022. – 278 s. (In Russian).
3. Ermakov A.V. Ehvolyutsiya telekommunikatsionnykh sistem proizvodstvennoi svyazi / A.V. Ermakov // Ehlektrosvyaz'. – 2023. – № 7. – S. 41-47. (In Russian).
4. ITU. Telecommunication Development Bureau. Telecom Network Planning for Evolving Network Architectures. Reference Manual. – Geneva. – 2008. – 448 p. (In English).
5. Kharari F. Teoriya grafov / F. Kharari. – М.: Ehditorial URSS, 2003. – 296 s. (In Russian).
6. Popkov V.K. Matematicheskie modeli svyaznosti / V.K. Popkov. – Novosibirsk, izdatel'stvo IVMIMG SO RAN, 2006. – 490 s. (In Russian).
7. Raigorodskii A.M. Modeli sluchainykh grafov / A.M. Raigorodskii. – М.: MTSNMO, 2011. – 136 s. (In Russian).
8. Dymarskii YA.S. Zadachi i metody optimizatsii setei svyazi / YA.S. Dymarskii. – SPb.: SPBGUT, 2005. – 205 s. (In Russian).
9. Sokolov A. Rational solutions for development of telecommunications networks / A. Sokolov, N. Sokolov // T-Comm «Telekommunikatsii i transport». – 2014. – Том 8, № 6. – R. 81-84. (In English).
10. Sokolov N.A. Zadachi planirovaniya setei ehlektrosvyazi / N.A. Sokolov. – SPb.: Tekhnika svyazi. – 2012. – 432 s. (In Russian).
11. Makkonell K.R. Ehkonomiks: printsipy, problemy i politika / K.R. Makkonell, S.L. Bryu, SH.M. Flin. – М.: INFRA-M, 2018. – 1027 s. (In Russian).
12. Ehkonomicheskoe obosnovanie inzhenernykh proektov v innovatsionnoi ehkonomike / A.V. Babikova i dr. – М.: INFRA-M, 2024. – 143 s. (In Russian).

13. Novoselov A.A. Matematicheskoe modelirovanie finansovykh riskov. Teoriya izmerenii / A.A. Novoselov. – Novosibirsk, Nauka, 2001. – 99 s. (In Russian).
14. Rutkovskaya D. Neironnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy / D. Rutkovskaya, M. Pilin'skii, L. Rutkovskii. – M.: Goryachaya liniya – Telekom, 2013. – 384 s. (In Russian).
15. The Concept of Building a Network of Digital Twins to Increase the Efficiency of Complex Telecommunication Systems / Sh.Zh. Seilov et al. – Complexity (Special Issue), 2021. – 9 p. (In English).
16. Frodeman R. The Oxford Handbook of Interdisciplinarity / R. Frodeman, J.T. Klein, R.C. Dos Santos. – Oxford University Press, 2019. – 656 p. (In English).
17. Seilov SH.ZH. Sovremennye zadachi razvitiya telekommunikatsionnykh setei / SH.ZH. Seilov, E.SH. Zhursinbek. – Astana, ENU imeni L.N. Gumileva, 2025. – 175 s. (In Russian).
18. Ermakov A.V. Ehvolutsiya kontseptsii W+W dlya razvitiya telekommunikatsionnoi sistemy pri perekhode k tsifrovoi ehkonomie / A.V. Ermakov, K.YU. Kolomenskii, N.A. Sokolov // Ehlektrosvyaz'. – 2022. – № 2. – S. 42-46. (In Russian).

Ә. Сеілов, Д. Тусупов, Ш. Сеілов*

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010000, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Пушкин көшесі, 11
*e-mail: seilov_shzh@enu.kz

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНДА МУЛЬТИСЕРВИСТІК ЖЕЛІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫН ТАҢДАУДЫҢ ӘДІСНАМАЛЫҚ ТӘСІЛІ

Қазақстан Республикасында мультисервистік желі құру халықаралық тәжірибені талдау мен кешенді зерттеулер жүргізу негізінде ғылыми негізделген әдістемелік тәсілді қолдануды талап етеді. Мақалада Халықаралық электр байланысы одағы ұсынған «Желі-2030» тұжырымдамасына негізделген инфокоммуникациялық жүйені жаңғырту сценарийі қарастырылады. Тұжырымдаманың негізгі талаптары сипатталады, оның ішінде әртүрлі трафик түрлерін: дауыс, бейне, деректер және IoT құрылғыларын тиімді қызмет көрсету үшін желінің өткізу қабілетін, сенімділігін және икемділігін арттыру қажеттілігі атап көрсетілген. Мультисервистік трафиктің ағын қарқындылығы, өзгергіштік, автокорреляция және уақыттық сипаттамалар сияқты параметрлерін талдауға ерекше көңіл бөлінді. Зерттеу нәтижелері бойынша трафиктің статистикалық сипаттамаларын бағалау әдістері мен гипотезалар жасалды, бұл жүктеме динамикасын болжауға және желі жобалау дәлдігін арттыруға мүмкіндік береді. Талдау нәтижелері мен ұсынылған гипотезалар Қазақстандағы перспективалық мультисервистік желіні жобалауға арналған әдістемелік тәсілдің негізін құрады. Ұсынылған әдістеме желілік ресурстарды оңтайлы пайдалануға, пайдаланушыларға қызмет көрсету сапасын жақсартуға және желінің өзгермелі пайдалану жағдайларына бейімділігін арттыруға бағытталған. Жұмыстың практикалық маңыздылығы телекоммуникациялық желілерді жобалау және жаңғырту бойынша ұсыныстар әзірлеу болып табылады, бұл Қазақстанды заманауи инфокоммуникациялық қызметтермен қамтамасыз етуге және экономиканы цифрландыруды жеделдетуге мүмкіндік береді. Жұмыстың ғылыми маңыздылығы мультисервистік трафик сипаттамаларын бағалау тәсілдерін әзірлеуде және «Желі-2030» тұжырымдамасын ұлттық жағдайларға бейімдеуде көрініс табады.

Түйін сөздер: мультисервистік желі, әдістемелік тәсіл, инфокоммуникациялық қызметтер, қызмет көрсету сапасы, математикалық модель, таза ағымдағы құны.

A. Seilov¹, D. Tussupov¹, Sh. Seilov^{1*}

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University,
01000, Republic of Kazakhstan, Astana, Pushkin Street, 11
*email: seilov_shzh@enu.kz

METHODOLOGICAL APPROACH TO SELECTING THE STRUCTURE OF A MULTISERVICE NETWORK IN THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

The development of a multiservice network in the Republic of Kazakhstan requires the application of a scientifically grounded methodological approach based on the analysis of international experience and comprehensive research. This article examines a scenario for modernizing the infocommunication system based on the «Network-2030» concept proposed by the International Telecommunication Union. The key requirements of the concept are described, including increasing network capacity, reliability, and flexibility to efficiently serve various types of traffic such as voice, video, data, and IoT devices. Special attention is given to the analysis of multiservice traffic parameters, such as flow intensity, variability, autocorrelation, and time characteristics. Based on the conducted research, hypotheses and methods for assessing the statistical

characteristics of traffic have been formulated, allowing for more accurate network load forecasting and improved network design accuracy. The results of the analysis and proposed hypotheses formed the basis of a methodological approach for designing a prospective multiservice network in Kazakhstan. The proposed methodology aims to optimize the use of network resources, improve the quality of service for users, and increase the network's resilience to changing operational conditions. The practical significance of this work lies in the development of recommendations for designing and modernizing telecommunication networks, which will provide Kazakhstan with modern infocommunication services and accelerate the digitalization of its economy. The scientific value of the work lies in the development of approaches to assessing the characteristics of multiservice traffic and adapting the «Network-2030» concept to national conditions.

Key words: multiservice network, methodological approach, infocommunication services, quality of service, mathematical model, net present value.

Сведения об авторах

Амирали Ажибекович Сеилов – докторант кафедры информационных систем, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-5069>.

Джамалбек Алиаскарович Тусупов – доктор физико-математических наук, профессор кафедры информационных систем; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: tussupov_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

Шахмаран Жүрсінбекович Сеилов* – кандидат технических наук, профессор кафедры компьютерной и программной инженерии; Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Республика Казахстан; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Авторлар туралы мәліметтер

Әмірәлі Әжібекұлы Сеилов – Ақпараттық жүйелер кафедрасының докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-5069>.

Джамалбек Алиасқарұлы Тусупов – физика-математика ғылымдарының докторы, ақпараттық жүйелер кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: tussupov_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

Шахмаран Жүрсінбекұлы Сеилов* – техника ғылымдарының кандидаты, компьютерлік және программалық инженерия кафедрасының профессоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Information about the authors

Amirali Azhibekovich Seilov – PhD student, Department of Information Systems, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: seilov-amirali@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9777-5069>.

Dzhamalbek Aliaskarovich Tussupov – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Department of Information Systems; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: tussupov_da@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9179-0428>.

Shakhmaran Zhursinbekovich Seilov* – Candidate of Technical Sciences, Professor, Department of Computer and Software Engineering; L.N. Gumilyov Eurasian National University, Republic of Kazakhstan; e-mail: seilov_shzh@enu.kz. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7057-0461>.

Поступила в редакцию 20.02.2025

Принята к публикации 10.04.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2\(18\)-6](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2025-2(18)-6)

MPHTI: 49.01



Д. Шингисов, Д. Тусупов, Ш. Сеилов*

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева,
010000, Республика Казахстан, г. Астана, ул. Пушкина, 11

*e-mail: seilov_shzh@enu.kz

ОЦЕНКА СТАТИСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИСЕРВИСНОГО ТРАФИКА

Аннотация: Мультисервисный трафик характеризуется стохастической природой, что значительно усложняет задачи оценки пропускной способности и производительности телекоммуникационных сетей. Для эффективного планирования и проектирования современных сетей необходимо использование достоверных методов анализа и оценки статистических