

Эволюция концепции W+W для развития телекоммуникационной системы при переходе к цифровой экономике

А.В. Ермаков, ЛО ЦНИИС, заведующий базовой кафедрой СВФУ, к.э.н.; ermakov-it@yandex.ru

К.Ю. Коломенский, филиал ФГУП НИИР–ЛОНИИР, заместитель директора филиала по науке, к.т.н.; kkolomensky@loniir.ru

Н.А. Соколов, ООО «Протей СТ», директор по науке, д.т.н.; sokolov@protei.ru

УДК 621.391

DOI: ????

Аннотация. Переход к цифровой экономике порождает новые задачи по модернизации телекоммуникационной системы. Фундаментом этой системы служат сети электросвязи, использующие проводные (wireline) и беспроводные (wireless) технологии, конгломерат которых можно для краткости обозначить нотацией W+W. Практическая реализация концепции W+W позволяет решить ряд актуальных задач по формированию современной телекоммуникационной системы. В статье обсуждается решение двух задач, связанных с повышением надежности телекоммуникационной системы и ускорением процесса реализации новых требований, присущих тем предприятиям, которые прямо или косвенно относятся к субъектам цифровой экономики.

Ключевые слова: телекоммуникационная система, цифровая экономика, беспроводные технологии, сеть, надежность, пропускная способность, модернизация.

ВВЕДЕНИЕ

Название W+W для концептуальных положений, определяющих принципы совместного использования проводных и беспроводных технологий, было предложено в [1], но ряд возможных решений обсуждался и в предшествующих публикациях [2, 3]. Ощутимый полезный эффект при реализации концепции W+W достигается, в частности, при модернизации телекоммуникационной системы, предназначенной для высокотехнологичной компании [4, 5]. Телекоммуникационная система высокотехнологичной компании как объект исследования интересна тем, что она служит характерным примером субъекта цифровой экономики [6]. Следует отметить, что и сама телекоммуникационная система, в свою очередь, становится важным компонентом цифровой экономики [7].

Международный союз электросвязи разработал концепцию развития телекоммуникационной системы на период до 2030 года [8]. Она получила название «Сеть-2030». Применительно к концепции W+W уместно выделить два положения, характерных для идеологии «Сеть-2030»:

- необходимость повышения надежности телекоммуникационной системы;
- потребность в увеличении пропускной способности транспортных ресурсов.

Задачи по обеспечению высокой надежности телекоммуникационной системы и созданию условий для увеличения пропускной способности ее транспортных

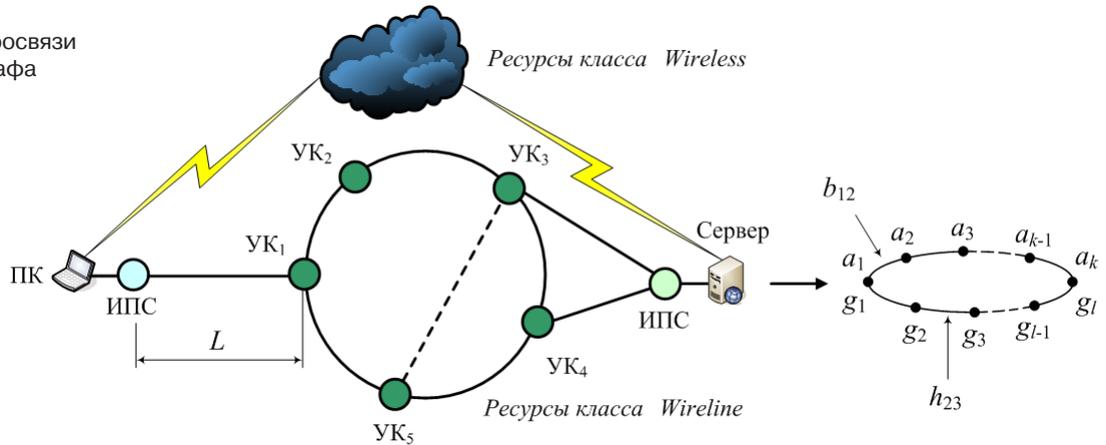
ресурсов служат предметом настоящей статьи. Решение сформулированных задач может осуществляться разными способами. Авторы ограничились теми возможностями, которые присущи концепции W+W. Следует также отметить, что в этой статье термин wireless связан с широким спектром решений – от самых коротких участков в сети доступа (их часто называют последним дюйм и последний фут) до весьма протяженных трактов обмена информацией, которые создаются при помощи искусственных спутников земли (ИСЗ).

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Требования к показателям надежности телекоммуникационной системы постоянно ужесточаются. Для концепции «Сеть-2030» обсуждается актуальность поддержки коэффициента готовности [9] телекоммуникационной системы на уровне 0,9999999 [8]. Если руководствоваться принципом практической уверенности [10], то задачей проектирования становится построение такой телекоммуникационной системы, в которой отказы ее элементов не будут влиять на характеристики качества обслуживания мультисервисного трафика.

Для обеспечения требуемых показателей надежности необходимо рассматривать не только проблемы самой телекоммуникационной системы [11]. Важная роль отводится показателям надежности средств электропитания [12] и инфраструктурных сооружений [13].

Рисунок 1
Фрагмент сети электросвязи
и ее модель в виде графа



Пример использования решений класса W+W для повышения надежности телекоммуникационной системы приведен на рис. 1. В левой части рассматриваемой модели изображен фрагмент сети электросвязи, иллюстрирующий взаимодействие персонального компьютера (ПК) и сервера, в котором размещена запрашиваемая информация. Сервер и ПК связываются через телекоммуникационную систему посредством стандартных интерфейсов пользователь—сеть (ИПС). Сеть электросвязи содержит совокупность узлов коммутации (УК), образующих отказоустойчивую систему за счет построения кольцевой структуры.

Иногда некоторые УК дополнительно соединены напрямую трактом, который можно рассматривать как хорду в составе кольца. Такое решение изображено пунктирной линией, проведенной между УК₃ и УК₅. Сеть доступа обычно реализуется в виде звездообразных и древовидных структур [14], которым присущи низкие показатели надежности. Для предложенной модели показан участок сети доступа в виде линии длиной L . Величина L в значительной мере определяет надежность телекоммуникационной системы в целом, так как отказ сети доступа (на практике чаще всего он наступает вследствие обрыва кабеля) приводит к невозможности установления соединений.

При отказе сети доступа могут быть задействованы беспроводные ресурсы, что показано в верхней части модели. Создаваемый тракт не зависит (с точки зрения теории надежности) от процессов, характерных для тех технических средств, которые построены на базе проводных технологий, за исключением — в некоторых случаях — потенциальных проблем с обеспечением электропитания.

В правой части рис. 1 изображен граф, который позволяет оценить характеристики надежности. Вершины графа g_i соответствуют аппаратно-программным средствам, используемым в составе проводных средств сети электросвязи. Технические средства, создаваемые за счет применения беспроводных технологий, показаны в виде вершин a_i . Обозначения h_{ij} и b_{ij} (на рис. 1

показаны только h_{23} и b_{12}) введены для ребер, служащих моделями кабельных трасс и трактов беспроводной связи соответственно.

Для получения упрощенных численных оценок можно ввести два допущения. Первое из них состоит в том, что количество вершин, изображенных в верхней (k) и нижней (l) ветках в правой части рис. 1, одинаково: $k = l$. Второе допущение заключается в следующем: вероятности нахождения всех вершин и всех ребер в работоспособном состоянии p одинаковы. Тогда величина коэффициента готовности K_T для рассматриваемого фрагмента сети электросвязи определяется простым выражением, полученным на основании известных соотношений теории вероятностей [9, 10]:

$$K_T = p^{2k-1}(2 - p^{2k-1}). \quad (1)$$

Пусть $k = 5$, а вероятность $p = 0,9999$. В этом случае величина коэффициента готовности составит примерно 0,9999992. Без использования резервирования уровень коэффициента готовности определяется первым сомножителем в формуле (1), т.е. примерно 0,9991004. Очевидно, что практическое применение концепции W+W позволяет заметно повысить надежность телекоммуникационной системы.

Существенное преимущество концепции W+W заключается в том, что беспроводные ресурсы могут использоваться в тех фрагментах телекоммуникационной системы, в которых они востребованы в данное время. Иными словами, эти ресурсы могут динамически распределяться между разными фрагментами телекоммуникационной системы в отличие от резервных проводных средств электросвязи, которые в большинстве случаев «привязаны» к конкретным УК и кабельным трассам.

Данное утверждение иллюстрируют две диаграммы, приведенные на рис. 2. Они поясняют процесс перераспределения транспортных ресурсов, основанных на беспроводных технологиях. Предполагается, что на отрезках времени (t_i, t_j) для пользователей в районах X и

Рисунок 2
Пример перераспределения транспортных ресурсов

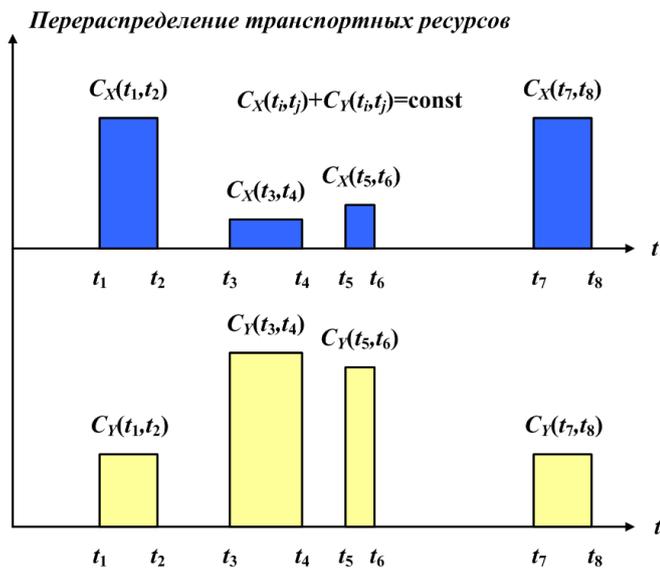


Рисунок 3
Пример формирования корпоративной сети для ПЦЭ

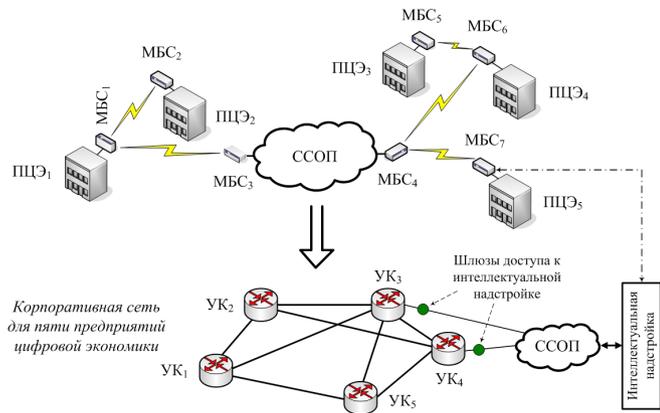
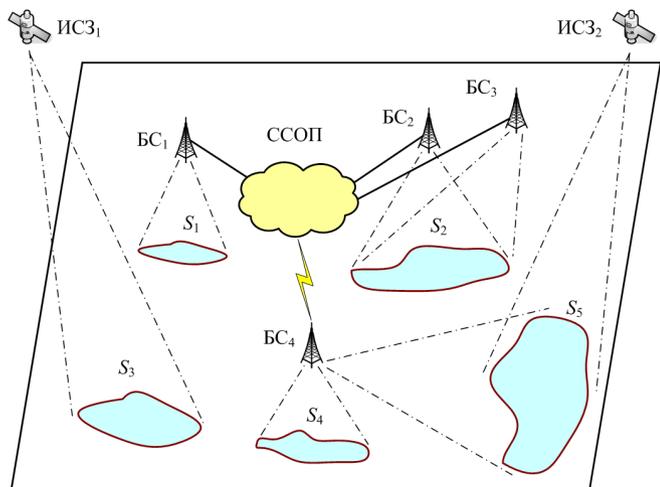


Рисунок 4
Пример реализации концепции W+W в городе



У задействованы ресурсы с пропускной способностью $C_X(t_i, t_j)$ и $C_Y(t_i, t_j)$ соответственно. При этом соблюдается условие, что сумма $C_X(t_i, t_j)$ и $C_Y(t_i, t_j)$ остается постоянной величиной, что отмечено в верхней части рассматриваемых диаграмм.

Для четырех отрезков времени, в которых $j = i + 1$, показана возможность перераспределения беспроводных ресурсов с учетом текущей ситуации, обусловленной как отказами технических средств, так и колебаниями трафика.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ РЕСУРСОВ

Задачу увеличения пропускной способности транспортных ресурсов уместно рассмотреть на примере создания корпоративной сети, объединяющей пять предприятий цифровой экономики (ПЦЭ), которые расположены на территории города – верхняя часть рис. 3. Для обеспечения роста пропускной способности транспортных ресурсов наряду с уже эксплуатируемыми техническими средствами применяются устройства, названные мостами беспроводной связи (МБС). Исследования, которые были проведены ЛОНИИР, доказали целесообразность создания оборудования МБС, работающего в диапазонах спектра Q и E [15], для которых не требуется получение разрешения на частоты.

Технические средства МБС позволяют оперативно повысить пропускную способность транспортных ресурсов. Такое решение представляется весьма разумным, так как за время, которое обычно отводится на создание корпоративной сети, построить новые кабельные магистрали невозможно. Оборудование вида МБС может работать как без использования сети связи общего пользования (ССОП), так и с задействованием ее ресурсов.

В нижней части рис. 3 изображена структура корпоративной сети, включающая пять УК, которые расположены на территории соответствующих ПЦЭ, ССОП, а также интеллектуальная надстройка, обеспечивающая доступ к информационным системам и реализующая ряд вспомогательных функций для устойчивой работы телекоммуникационной системы. Для обеспечения доступа к интеллектуальной надстройке в ряде УК (как минимум, в двух) должны содержаться специализированные шлюзы, обычно реализованные за счет разработки соответствующего программного обеспечения (ПО).

В состав МБС, по всей видимости, следует включить ПО, которое будет поддерживать собственную систему управления и выполнять ряд интеллектуальных функций. При этом уместно обеспечить взаимодействие этого ПО с интеллектуальной надстройкой, что показано на рис. 3 штрихпунктирной линией для МБС₇.

Практическое воплощение концепции W+W представляет интерес не только для субъектов цифровой экономики. Как было упомянуто выше, идеи концепции W+W актуальны для высокотехнологичных компаний

различного рода, не обязательно входящих в семейство ПЦЭ. Кроме того, совместное применение технических средств, базирующихся на разных технологиях, эффективно и для развития телекоммуникационной системы в целом.

На рис. 4 приведен пример реализации концепции W+W в гипотетическом городе, территория которого представлена в виде параллелограмма. Для пользователей, находящихся в границах пяти анклавов произвольной конфигурации с площадями S_i ($i = 1, 2, \dots, 5$), необходимо увеличить пропускную способность транспортных ресурсов, одновременно повышая и показатели надежности. С этой целью используются четыре базовые станции (БС), принадлежащие операторам мобильной связи или установленные специально для решения поставленных задач, а также два ИСЗ.

Предложенная модель допускает совместное использование одного или двух средств семейства wireless для обеспечения дополнительных транспортных ресурсов, необходимых тем пользователям, которые расположены на территории пяти анклавов. Штрихпунктирные линии позволяют идентифицировать технические средства, применяемые в каждом анклаве. Оборудование БС может подключаться к ССОП кабельными трассами или по радиорелейным линиям. Последний вариант на рис. 4 показан только для четвертой БС.

Следует подчеркнуть, что ресурсы БС и ИСЗ будут распределяться динамически – в зависимости от требований пользователей и состояния телекоммуникационной системы. Данное положение, используя устоявшееся в отраслевой научно-технической литературе обозначение XaaS (X as a Service – нечто как услуга), можно представить при помощи аббревиатуры WRaaS (Wireless Resources as a Service – беспроводные ресурсы как услуга).

В любом случае объем ресурсов класса wireless $V(t)$ в момент времени t ограничен. По этой причине необходимо разработать принципы управления объемом ресурсов $V(t)$ для различных условий функционирования телекоммуникационной системы, включая режим ее работы при возникновении масштабных чрезвычайных ситуаций [16].

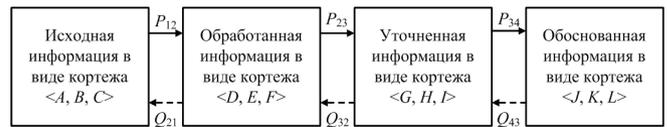
НАПРАВЛЕНИЯ ДАЛЬНЕЙШИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из важнейших задач, которую предстоит решить, является распределение беспроводных ресурсов. Для корректной постановки такой задачи необходимо выбрать критерий справедливого распределения ресурсов. Считается, что одним из первых критериев такого рода был предложен в 1981 г. [17]. Он получил название критерия max-min. Позже был предложен ряд других критериев, примером которых служит подход proportional fairness – пропорциональное справедливое распределение ресурсов [18].

На самом деле принципы справедливого распределения ресурсов изучались отечественными специалистами

Рисунок 5

Основные этапы получения обоснованной информации



ми для сетей с коммутацией каналов более 50 лет назад. Предлагаемые процедуры были названы эгалитарными алгоритмами (от французского egalite – равенство). По всей видимости, эти результаты могут быть полезны при постановке и решении задач по распределению ресурсов класса wireless.

Еще один любопытный подход заключается в возможности ранжирования анклавов по степени их важности. Если пять анклавов, показанных на рис. 4, классифицированы по степени важности в соответствии с их номерами, то можно воспользоваться правилом Фишберна [19]. Оно позволяет вычислить весовые коэффициенты w_j , определяющие долю ресурсов для j -го анклава, если число анклавов равно M :

$$w_j = \frac{2(M - j + 1)}{(M + 1)M}.$$

Например, при $M = 5$ величины искомым весов образуют следующий ряд: $w_1 \approx 0,333$, $w_2 \approx 0,267$, $w_3 \approx 0,200$, $w_4 \approx 0,133$, $w_5 \approx 0,067$. Несложно убедиться, что сумма всех значений w_j равна единице. Подобное условие должно соблюдаться при выборе любой другой процедуры для расчета весовых коэффициентов.

Второе направление дальнейших исследований заключается в поиске путей дальнейшего развития концепции W+W. Отправной точкой для подобных исследований может послужить обобщенный опыт, полученный в процессе анализа информации в разных местных (городских и сельских) сетях электросвязи. Для сбора информации уместно использовать сеть цифровых двойников, принципы построения которой предложены в [20].

Типичные этапы получения обоснованной информации приведены на рис. 5. Они образуют своего рода четырехфазную систему с обратными связями. Величины P_{ij} ($j = i + 1$) характеризуют возможность доставки информации в следующий блок для выполнения необходимых операций. Значения Q_{ij} ($j = i - 1$) характеризуют эффективность обратных связей.

Предполагается, что все кортежи включают (в качестве упрощающего допущения) три элемента, обозначенные на рис. 5 латинскими буквами. Физический смысл этих элементов может быть любым, что объясняется различием решаемых задач.

На каждой фазе они подвергаются трансформации, что подчеркивается меняющимися символами в элементах кортежа. Получение достоверной информации

позволит разработать ряд ключевых положений по развитию концепции W+W. Например, если существует N сценариев реализации рассматриваемой концепции, обозначаемых символами R_i , то достоверная информация позволит провести их ранжирование. В результате будут сформированы предпочтения следующего вида:

$$R_1 \succ R_2 \succ \dots \succ R_N. \quad (2)$$

Соотношение (2) облегчит процедуру принятия решения за счет объективизации оценок исследуемых альтернатив.

Третье направление дальнейших исследований связано с анализом изменений мультисервисного трафика. Эти изменения зависят от новых видов услуг и от вариации атрибутов привычных видов обслуживания.

Результаты измерений свидетельствуют, что для выявления аномального характера изменения трафика, выражаемого, например, количеством пакетов $Y(t)$, поступающих за время t , могут использоваться различные методы. В частности, исследования, приведенные в [21],

доказали целесообразность анализа третьей производной от функции $Y(t)$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Концепция W+W постоянно меняется, следуя основным тенденциям модернизации телекоммуникационной системы. Весьма существенные сдвиги в сути рассматриваемой концепции порождаются требованиями цифровой экономики. В настоящее время и в обозримой перспективе можно выделить два аспекта применения концепции W+W. Они ориентированы на поддержку нормированных показателей надежности телекоммуникационной системы и на повышение пропускной способности транспортных ресурсов.

Функциональные возможности, которые присущи этим двум видам применения концепции W+W, позволяют решить ряд актуальных задач, что подтверждается примерами, рассмотренными в статье. Тем не менее, необходимы дополнительные исследования, перечень которых также представлен на суд читателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Соколов, Н.А.** Задачи планирования сетей электросвязи / Н.А. Соколов. – СПб.: Техника связи, 2012. – 432 с.
- Соколов, Н.А.** Процессы конвергенции, интеграции и консолидации в современной телекоммуникационной системе / Н.А. Соколов // *Соппект! Мир связи*. – 2007. – № 10. – С. 78-82.
- Соколов, Н.А.** Применение технологии WiMAX для развития местных сетей электросвязи / Н.А. Соколов // *Технологии и средства связи, отраслевой каталог*. – 2006. – С. 60-63.
- Ермаков, А.В.** Принципы развития телекоммуникационной системы, предназначенной для высокотехнологичной компании / А.В. Ермаков, Н.А. Соколов // *Информация и космос*. – 2020. – № 1. – С. 6-11.
- Ермаков, А.В.** Две особенности задач по модернизации телекоммуникационной системы, предназначенной для высокотехнологичной компании / А.В. Ермаков, Н.А. Соколов // *Информация и космос*. – 2020. – № 4. – С. 6-10.
- Underhill, L.J.** Defining the Digital Economy: The Structure of the Digital Economy in Focus / L.J. Underhill. – LJU Press, 2019. – 66 p.
- Шнепс-Шнеппе, М.А.** Телекоммуникации как решающее звено цифровой экономики. Опыт США / М.А. Шнепс-Шнеппе, В.П. Куприяновский, Д.Е. Намиот, С.П. Селезнев // *International Journal of Open Information Technologies*. – 2017. – Vol. 5, No. 5. – P. 25-33.
- Росляков, А.В.** «Сеть-2030»: взгляд МСЭ-Т на будущее сетей фиксированной связи / А.В. Росляков // *Первая миля*. – 2021. – № 4. – С. 50-59.
- Острейковский, В.А.** Теория надежности / В.А. Острейковский. – М.: Высшая школа, 2008. – 464 с.
- Вентцель, Е.С.** Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. – М.: Кнорус, 2018. – 664 с.
- Кусакина, М.С.** Проблемы обеспечения надежности программно-конфигурируемых сетей / М.С. Кусакина, В.А. Нетес // *Телекоммуникации и информационные технологии*. – 2019. – Том 6, № 1. – С. 39-43.
- Чекстер, О.П.** Электропитание. От традиций к надежности / О.П. Чекстер // *Труды ЦНИИС. Санкт-Петербургский филиал*. – 2015. – № 1. – С. 170-176.
- Ермаков, А.В.** Задачи создания общей инфраструктуры для сетей разного назначения / А.В. Ермаков, Н.А. Соколов, А.В. Федоров // *Информация и космос*. – 2020. – № 2. – С. 6-11.
- Харари, Ф.** Теория графов / Ф. Харари. – М.: Эдиториал УРСС, 2003. – 296 с.
- Granatstein, V.L.** Physical Principles of Wireless Communications / V.L. Granatstein. – CRC Press, 2012. – 311 p.
- Леваков, А.К.** Особенности функционирования сети следующего поколения в чрезвычайных ситуациях / А.К. Леваков – М.: ИРИАС. – 2012. – 107 с.
- Jeffrey, M.J.** Bottleneck Flow Control / M.J. Jeffrey // *IEEE Transaction on Telecommunications*. – 1981. – Vol. Com-29, No. 7. – P. 954-962.
- Кучерявый, Е.А.** Методология распределения ресурсов в гетерогенных сетях / Е.А. Кучерявый, К.Е. Самуйлов // *Электросвязь*. – 2018. – № 4. – С. 34-40.
- Фишберн, П.С.** Теория полезности для принятия решений / П.С. Фишберн. – М.: Наука, 1978. – 352 с.
- Seilov, Sh.Zh.** The Concept of Building a Network of Digital Twins to Increase the Efficiency of Complex Telecommunication Systems / Sh.Zh. Seilov, A.T. Kuzbayev, A.A. Seilov et al. // *Complexity*. – Vol. 2021. – Article ID 9480235. – 9 p.
- Гойхман, В.Ю.** Оценка роста интенсивности входящего трафика / В.Ю. Гойхман, А.К. Леваков, М.А. Маршак, Н.А. Соколов // *Электросвязь*. – 2018. – № 3. – С. 75-77.

Получено 21.12.22