

В.И. САЛУХОВ, В.С. СОЛДАТЕНКО
**СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ И
МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБОСНОВАНИЯ
МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СИСТЕМ**

Салухов В.И., Солдатенко В.С. Структурно-функциональная модель и методика решения задачи обоснования модернизации телекоммуникационных систем.

Аннотация. В статье рассматривается подход к обоснованию модернизации сети связи по внедрению новых коммуникационных услуг. Критерием оптимальности доработок сети является экономическая эффективность. Анализируются проблемы внедрения новых коммуникационных услуг. Приводятся структурно-функциональная модель модернизации сети связи и модель принятия решений по выбору оптимальных по заданному критерию доработок каждой системы сети связи. Результаты моделирования иллюстрируются расчетным примером.

Ключевые слова: коммуникационная услуга, модернизация, критерий оптимальности, принятие решения.

Salukhov V.I., Soldatenko V.S. Structurally Functional Model and Technique to Solve the Problem of Justification of Telecommunication Systems Modernization.

Abstract. In the article, we consider an approach to justification of communication network modernization on introduction of new communication services. Optimality criterion of network completions is economic efficiency. Problems of introduction of new communication services are analyzed. The structurally functional model of communication network modernization and a model of decision-making at the choice of optimum by the set criterion of completions of each communication network system are given. Results of modeling are illustrated by a settlement example.

Keywords: communication service, modernization, optimality criterion, decision making.

1. Введение. В статье рассматривается подход к принятию решения по обоснованию варианта модернизации сети связи для внедрения перспективных коммуникационных услуг (ПКУ), оптимального по критерию экономической эффективности. Анализируются проблемы развития коммуникационных услуг, приводятся модель модернизации сети связи и модель принятия решений по выбору оптимального по установленному критерию варианта модернизации для каждой составной части сети связи, методика решения указанной задачи, а также результаты расчетов в соответствии с предложенными моделями.

2. Краткий анализ проблем развития коммуникационных услуг. В последние годы отрасль связи и телекоммуникаций является одной из наиболее динамично развивающихся в составе российской экономики. Об этом говорят темпы роста отрасли, которые несколько лет подряд существенно превышают рост валового внутреннего продукта (ВВП) России в целом в эти же интервалы времени [1]. В

сфере связи и телекоммуникаций сосредоточено более 70 % наукоемких производств и значительная доля капиталовложений. Создана огромная по своим масштабам инфраструктура, позволяющая оказывать большой объем разнообразных услуг связи [2, 3]. Однако в последнее время отмечается такая особенность обеспечения услугами связи, как опережающее моральное старение телекоммуникационных систем. При этом фактор физического износа оборудования оказывает гораздо меньшее воздействие на результативность функционирования действующих сетей связи. Это обусловлено появлением новых типов услуг связи. К ним относятся, например, инфокоммуникационные услуги [4, 5], услуги в рамках Концепции Интернета вещей (Internet of Things, IoT) и некоторые другие [6, 7, 8]. Предполагается, что активное внедрение перспективных коммуникационных услуг является в настоящее время одним из основных факторов, определяющих экономический рост развитых государств, развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

Доступность перспективных коммуникационных услуг для пользователей вне зависимости от способов доступа может быть обеспечена лишь при конвергенции («взаимопроникновении») существующих сетей [9, 10]. Однако конвергенция сетей, обусловленная необходимостью одновременной передачи разными категориями пользователей различных видов информации в реальном времени, породила две глобальные технические проблемы [10]:

- необходимость поддержки большого разнообразия систем сигнализации, базирующихся на технологиях TDM, ATM, IP, MPLS и др.;

- необходимость достижения «конвергенции услуг связи» (наряду с «конвергенцией сетей»), с помощью которой осуществляется ввод новых коммуникационных услуг с универсальным доступом из сетей связи общего пользования (ССОП), сетей ISDN, интеллектуальной сети (IN), сети IP и др.

Решение этих задач осуществляется с помощью аппаратно-программных средств нового типа: «программных коммутаторов (Softswitch)», медиашлюзов (MGW) и ряда других. В целом, для создания возможностей использования ПКУ сети связи должны соответствовать ряду требований, основными из которых являются мультисервисность, широкополосность, мультимедийность, интеллектуальность, инвариантность доступа и многооператорность [9, 10]. Существующие ССОП, в которых используются коммутация каналов (для телефонных сетей общего

пользования – ТфОП) и коммутация пакетов (для сетей передачи данных – СПД), в настоящее время не отвечают перечисленным выше требованиям. Именно поэтому в отрасли телекоммуникаций интенсивно прорабатываются различные аспекты перехода к сети связи следующего поколения (ССП, Next Generation Network, NGN) [9, 10]. В основу концепции построения указанной телекоммуникационной системы положена идея о создании универсальной сети. Эта сеть должна позволять переносить любые виды информации, такие как речь, видео, аудио, графику и т. д., а также обеспечивать возможность предоставления самого широкого спектра перспективных коммуникационных услуг [10]. Однако быстрая замена действующих сетей связи перспективными мультисервисными системами во многих случаях является неприемлемой по финансовым, технологическим, социальным и иным соображениям. Более реалистичным направлением создания условий для предоставления перспективных коммуникационных услуг является поэтапная доработка или модернизация существующих сетей связи. Однако и при данном варианте развития телекоммуникационных систем необходимы достаточно большие финансовые, временные и трудовые ресурсы. Следует также учитывать, что имеется значительная неопределенность в прогнозах коммерческой успешности перехода к ПКУ и привлечения достаточно большого числа пользователей указанных услуг в ближайшие годы. Поэтому существует острая необходимость обоснования модернизации существующих сетей связи для обеспечения внедрения новых коммуникационных услуг в условиях ограниченных ресурсов. В настоящей статье рассматривается один из возможных путей решения указанной задачи.

3. Содержательная постановка задачи обоснования модернизации сети связи. Будем представлять модернизацию сети связи как совокупность доработок систем сети, которые обеспечивают внедрение соответствующих перспективных коммуникационных услуг. В данном случае функции сети связи (состав ПКУ) в целом определяются структурой составляющих ее систем и их возможностями. Поэтому решение указанной задачи целесообразно осуществлять с использованием класса структурно-функциональных

моделей [11]. Представим модернизацию сети связи в виде следующей иерархической модели (схема на рисунке 1)

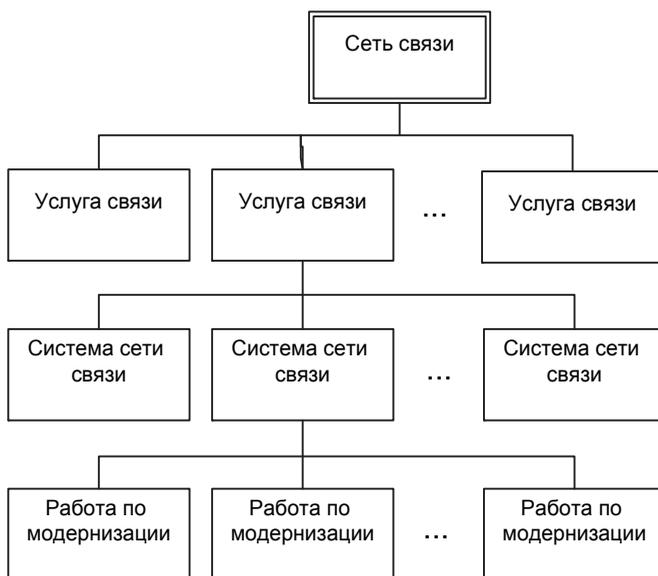


Рис. 1. Структурно-функциональная модель модернизации телекоммуникационной системы

Каждая работа по совершенствованию системы сети связи требует затрат соответствующих ресурсов. При этом результативность функционирования этих объектов в общем случае также может быть различной и зависеть от вида проводимой доработки. Следует также принимать во внимание ограниченность ресурсов каждого типа. Таким образом, для решения задачи обоснования модернизации сети связи необходимы следующие исходные данные:

- состав внедряемых перспективных коммуникационных услуг;
- состав модернизируемых систем сети связи, обеспечивающих реализацию соответствующих услуг связи;
- виды возможных доработок каждой из систем сети связи;
- затраты ресурсов на проведение доработок систем сети связи;
- предельно допустимые значения ресурсов каждого типа;
- предполагаемые результаты от совершенствования соответствующих систем связи.

Будем исходить из того, что выполнение работ по модернизации приводит к положительному изменению показателя результативности функционирования каждой из систем и сети связи в целом. Назовем это изменение откликом на выполнение работ по совершенствованию телекоммуникационной системы. С учетом коммерческого характера оказания услуг связи [2, 11] показателем результативности модернизируемой сети связи может выступать возможный приток денежных средств, который зависит от количества возможных пользователей перспективными коммуникационными услугами и размера платы за соответствующую услугу [12 – 15]. Из-за различий в количественных показателях исходных данных величина отклика на модернизацию сети связи также будет различной. Важнейшим необходимым условием осуществления варианта модернизации выступает соответствие предстоящих расходов ресурсов на модернизацию их допустимым значениям. Это условие предполагает, что доработки некоторых систем (внедрение соответствующих возможных ПКУ) могут оказаться нецелесообразными.

После того, как сформирован перечень систем сети связи, которые должны быть усовершенствованы при внедрении предполагаемых ПКУ, и состав возможных работ для каждой из указанных систем, необходимо осуществить моделирование процесса выбора варианта модернизации, наиболее приемлемого по величине отклика сети связи. Для этого требуется сформировать множество допустимых вариантов модернизации существующей сети связи и осуществить выбор из этого множества варианта, оптимального по критерию экономической результативности. Применение данного подхода позволяет оценить целесообразность и состав доработок отдельных систем с учетом имеющихся возможностей для модернизации функционирующей сети связи в целом и прогнозируемых предпочтений ее пользователей.

Следует отметить, что в настоящее время имеется достаточно большая номенклатура однотипных средств, входящих в состав систем сети связи. Это приводит к значительному количеству вариантов их использования при модернизации сети. Очевидно, что количество вариантов по модернизации сети связи стремительно возрастает при увеличении каждого из компонентов модели, представленной на схеме рисунка 1. Задача оценивания результата для того или иного варианта совершенствования оборудования сети связи имеет высокую сложность из-за необходимости учета большого числа факторов, определяющих этот результат. Поэтому задача выбора наилучшего в некотором смысле варианта модернизации сети связи является актуальной для

современного этапа развития теории и практики эксплуатации телекоммуникационных систем. Рассмотрим последовательность этапов предлагаемой методики решения этой задачи.

1. Построение модели совершенствования отдельных систем сети связи, обеспечивающих оказание той или иной ПКУ.

2. Формирование частных показателей результативности доработок для каждой отдельной системы сети связи.

3. Формирование общего критерия оптимальности модернизации всей совокупности модернизируемых средств всех систем сети связи.

4. Формирование множества ограничений, влияющих на процесс модернизации сети связи. Это могут быть ограничения на использование ресурсов различных видов – финансовых, временных, трудовых и др.

5. Построение модели выбора варианта модернизации для всей совокупности систем сети связи, реализующих предполагаемые ПКУ.

6. Определение наилучшего в смысле выбранного критерия оптимальности варианта модернизации совокупности систем сети связи с учетом действующих ограничений на процесс модернизации.

Рассмотрим математическую постановку рассмотренной задачи.

4. Математическая модель оптимальной модернизации сети связи. Для упрощения необходимых математических соотношений будем полагать, что для внедрения отдельно взятой перспективной коммуникационной услуги необходимо совершенствование только одной соответствующей системы сети связи. Обозначим через N общее количество предполагаемых для внедрения ПКУ. Таким образом, наибольшее количество систем сети связи, которые могут быть модернизированы, также равно N . Следует учесть, что с учетом сделанных предположений при проведении модернизации сети связи количество $N^{(\phi)}$ фактически внедренных ПКУ может отличаться от N . При этом должно соблюдаться условие:

$$N^{(\phi)} \leq N \quad (1)$$

Установим, что для каждой i -й системы возможно некоторое количество K_i ($i=1(1)N$) видов работ по ее совершенствованию. Обозначим через k_i порядковый номер возможной доработки i -й системы ($k_i=1(1)K_i$, $i=1(1)N$). Каждая доработка соответствует возможным действиям по совершенствованию системы сети связи, например, замене отдельных аппаратных или программных средств

системы на новые, необходимое тестирование и др. Выбранный для реализации номер доработки i -й системы будем обозначать k_i^* . При совершенствовании программных средств связи, как правило, требуется осуществлять как автономное, так и общее тестирование программного обеспечения всей системы связи. При моделировании установим, что эти процедуры входят в состав проводимых доработок.

Показателями совершенствования системы сети связи являются затраты ресурсов различной природы на реализацию доработки, а также получаемый эффект от использования соответствующей ПКУ. Ресурсами могут быть выделяемые для модернизации объем финансирования, допустимая длительность времени, количество специалистов и другие. Пусть количество видов принимаемых во внимание ресурсов равно R . Обозначим затрачиваемые при вариантах модернизации i -й системы ресурсы через $g_{ir}(k_i)$ ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$, $r = 1(1)R$), расчетные затраты ресурсов через $G_r^{(расч)}(\{k_i^*\}, i \in 1(1)N^{(факт)})$, а допустимые значения каждого вида ресурса – через $G_r^{(дон)}$ ($r = 1(1)R$). Расчетное соотношение для $G_r^{(расч)}(\{k_i^*\}, i \in 1(1)N^{(факт)})$ имеет вид:

$$G_r^{(расч)}(\{k_i^*\}, i \in 1(1)N^{(факт)}) = \sum_{i \in \{1(1)N^{(ф)}\}} g_{ir}(k_i^*), \quad r = 1(1)R. \quad (2)$$

Соотношение (2) определяет, что принимаются во внимание затраты ресурсов только на системы, подвергшиеся доработке. При этом для каждого r -го вида ресурса должны выполняться следующие условия:

$$G_r^{(расч)} \leq G_r^{(дон)}, \quad r = 1(1)R. \quad (3)$$

Выходной эффект от внедрения i -й услуги в результате проведения k_i -го вида доработки i -й системы представляет собой приток $C_i(k_i)$ ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$) финансовых средств за установленный интервал времени. Установим, что приток $C_i(k_i)$ ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$) определяется количеством $L_i(k_i)$ пользователей i -й услугой и стоимостью $c_i(k_i)$ указанной услуги ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$). В таком случае расчетное соотношение для притока по каждой возможной доработке i -й системы сети связи имеет следующий вид:

$$C_i(k_i) = c_i(k_i) \cdot L_i(k_i), \quad k_i = 1(1)K_i, \quad i = 1(1)N. \quad (4)$$

Общий выходной эффект C_M от внедрения $N^{(\phi)}$ ПКУ определяется соотношением:

$$C_M = \sum_{i \in \{1(1)N^{(\phi)}\}} C_i(k_i^*) . \quad (5)$$

Соотношение (5) показывает, что принимаются во внимание притоки только от ПКУ, реализуемых системами, прошедшими совершенствование. Таким образом, соотношения (2) – (5) определяют модель модернизации сети связи при внедрении перспективных коммуникационных услуг. Перейдем теперь к рассмотрению модели выбора оптимального по экономическому критерию варианта модернизации сети связи в условиях имеющихся ограничений по ресурсам. Для построения указанной модели применим математический аппарат теории принятия решений [16]. Это предполагает использование методики, содержащей следующие этапы:

1. Формирование целевой функции расчетной процедуры, которая характеризует результаты модернизации по выбранному критерию. Значения указанной целевой функции должны зависеть от номера k_i доработки каждой из N систем, используемых для внедрения новых коммуникационных услуг сети связи.

2. Определение множества допустимых вариантов модернизации.

3. Использование расчетной процедуры оптимизации, соответствующей свойствам целевой функции и ограничений задачи.

Дадим обобщенное описание введенных исходных данных в форме матрицы, содержащейся в таблице 1.

Таблица 1. Описание доработок систем сети связи

Система сети связи	Номер работы	Затраты ресурса 1-го типа	Затраты ресурса 2-го типа	...	Затраты ресурса R-го типа	Число польз-лей $L_i(k_i)$	Размер платы за ПКУ $c_i(k_i)$
Система 1	$k_1=1$	$g_{11}(1)$	$g_{12}(1)$	...	$g_{1R}(1)$	$L_1(1)$	$c_1(1)$
	$k_1=2$	$g_{11}(2)$	$g_{12}(2)$	...	$g_{1R}(2)$	$L_1(2)$	$c_1(2)$

	$k_1=K_1$	$g_{11}(K_1)$	$g_{12}(K_1)$	...	$g_{1R}(K_1)$	$L_1(K_1)$	$c_1(K_1)$
...
Система N	$k_N=1$	$g_{N1}(1)$	$g_{N2}(1)$	...	$g_{NR}(1)$	$L_N(1)$	$c_N(1)$
	$k_N=2$	$g_{N1}(2)$	$g_{N2}(2)$	...	$g_{NR}(2)$	$L_N(2)$	$c_N(2)$

	$k_N=K_N$	$g_{N1}(K_N)$	$g_{N2}(K_N)$	...	$g_{NR}(K_N)$	$L_N(K_N)$	$c_N(K_N)$

Множество допустимых вариантов модернизации определяется ограничениями вида (3), а также свойствами используемых в задаче переменных. В данной работе критерием оптимальности модернизации сети связи выступает условие достижения максимального значения притока C_M от всей совокупности $N^{(\phi)}$ внедренных ПКУ. Значение этой функции определяется с помощью соотношения (5).

Поставим в соответствие каждой переменной k_i булеву переменную $x(k_i)$, которая является индикатором выбора соответствующей работы для i -й системы ($k_i = 1(1)K_i, i = 1(1)N$). При этом $x(k_i) = 1$, если выбрана работа k_i , и $x(k_i) = 0$ в противном случае ($k_i = 1(1)K_i, i = 1(1)N$). Таким образом, переменные $x(k_i)$ являются неизвестными переменными задачи определения оптимального по критерию максимальной экономической эффективности варианта модернизации сети связи. Ограничения в указанной задаче соответствуют условиям выполнения требований неперевышения необходимых затрат ресурсов каждого типа их установленных предельных значений, выбора не более одного варианта доработок каждой из N анализируемых систем сети связи и булевого характера неизвестных переменных задачи. Таким образом, математическая модель рассматриваемой задачи оптимизации определяется следующими соотношениями:

$$C_M(\mathbf{x}) \rightarrow \max_{\mathbf{x} \in \Delta_\beta}, \quad (6)$$

при этом:

$$C_M(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N C_i(\mathbf{x}), \quad (7)$$

где

$$C_i(\mathbf{x}) = \sum_{k_i=1}^{K_i} c_i(k_i) \cdot L_i(k_i) \cdot x(k_i), \quad i = 1(1)N, \quad (8)$$

а также:

$$\Delta_\beta = \{ \Delta \mid G_r^{(pacu)}(\mathbf{x}) \leq G_r^{(don)}, \quad (9)$$

$$\sum_{k_i=1}^{K_i} x(k_i) \leq 1; \quad x(k_i) \in \{0, 1\} \quad (k_i = 1(1)K_i, i = 1(1)N) \},$$

при этом:

$$G_r^{(расч)}(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^N \sum_{k_i=1}^{K_i} g_{ir}(k_i) \cdot x(k_i), \quad r = 1(1)R, \quad (10)$$

$$\begin{cases} x(k_i) = 1, & \text{при } k_i = k_i^*; \\ x(k_i) = 0, & \text{при } k_i \neq k_i^*. \end{cases}, \quad k_i = 1(1)K_i, \quad i = 1(1)N. \quad (11)$$

Соотношение (9) характеризует формирование множества допустимых вариантов модернизации сети, определяя необходимость выполнения следующих условий: расчетные затраты ресурсов на модернизацию не должны превышать их допустимых значений; проведение на i -й системе только одной из предусмотренных для нее доработок, либо отсутствие доработок на системе; а также возможные значения булевых переменных задачи. Соотношение (10) определяет значения расчетных затрат ресурсов на модернизацию сети связи. Соотношение (11) характеризует условия определения значений булевых переменных $x(k_i)$ ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$). Выберем теперь класс методов решения задачи оптимизации (6)–(11). Поскольку переменные $x(k_i)$ ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$) являются булевыми, то процедура решения задачи оптимизации должна соответствовать данной особенности модели. Сформированная модель имеет конечную мощность множества допустимых альтернатив Δ_β . Это объясняется конечностью количества систем сети связи и конечностью количества возможных доработок этих объектов. При этом мощность пустого множества Δ_β равна 0, что соответствует случаю полного отказа от проведения доработок каких-либо систем сети связи. Кроме этого, целевая функция и ограничения задачи оптимизации являются линейными. Указанные особенности позволяют сделать вывод о том, что для данной задачи можно получить оптимальное решение [17]. Для иллюстрации применения представленной модели рассмотрим расчетный пример.

5. Расчетный пример. Имеется сеть связи. Предполагается внедрение шести перспективных коммуникационных услуг. Для реализации каждой из указанных услуг необходима только одна система сети связи. Возможные варианты по доработкам (в ходе модернизации) указанных систем характеризуются расходом необходимых ресурсов. Принимаются во внимание два вида ресурсов: финансовые расходы и затраты времени на проведение необходимых работ.

Предполагается, что работы по модернизации систем проводятся параллельно. Следовательно, длительность модернизации сети связи определяется продолжительностью доработки системы с самой большой длительностью. На осуществление модернизации установлены предельный размер финансирования и предельное время модернизации. Выходной эффект от варианта модернизации каждой из систем сети связи определяется количеством пользователей, которым по техническим возможностям могут быть предоставлены внедряемые услуги. Определена также прогнозная стоимость оказания каждой ПКУ пользователю. Необходимо определить, какие системы и по какому варианту необходимо дорабатывать в ходе модернизации сети связи, чтобы добиться максимального экономического эффекта.

Числовые исходные данные по доработкам систем сети связи приведены в таблице 2.

Таблица 2. Исходные данные по доработкам систем сети связи

Номер системы (i)	Номер доработки (k_i)	Затраты финансов на доработку $g_{i1}(k_i)$ (усл. ед.)	Затраты времени на доработку $g_{i2}(k_i)$ (ед. вр.)	Возможное количество пользователей ($L_i(k_i)$)	Размер платы за ПКУ $c_i(k_i)$ (усл. ед.)
1	1	3000	400	200	10
	2	4000	600	300	10
	3	6000	800	600	10
2	1	1000	450	700	40
	2	2500	650	900	40
3	1	2800	700	420	50
	2	3200	800	560	50
	3	4100	1000	810	50
4	1	1200	620	580	20
	2	2300	780	640	20
	3	3800	1200	820	20
5	1	1600	390	330	30
	2	2200	440	420	30
	3	3400	680	590	30
	4	5600	960	920	30
6	1	5200	860	910	70
	2	6800	1100	1400	70

Значения k_i ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$) приведены в столбце 2 табл. 2. При этом $K_1 = 3$; $K_2 = 2$; $K_3 = 3$; $K_4 = 3$; $K_5 = 4$; $K_6 = 2$. Аналогичным образом представлены другие исходные данные по видам доработок систем сети связи.

На проведение модернизации сети связи выделено 30 000 усл. ед. При этом длительность модернизации не может превышать 700 единиц времени (ед. вр.). Таким образом, в соответствии с введенными обозначениями можно записать следующее: количество возможных ПКУ $N = 6$; количество видов ресурсов $R = 2$, $G_1^{(don)} = 30000$ усл. ед.; $G_2^{(don)} = 700$ ед. вр.

Необходимо. Определить, какие системы необходимо совершенствовать и с помощью каких доработок k_i^* ($i = 1(1)N$) при модернизации сети связи, чтобы получить наибольший приток от предоставления внедряемых ПКУ пользователям при выполнении требований по имеющимся ограничениям по ресурсам.

Решение. Введем булевы неизвестные переменные задачи x . В начале решения установим, что $x(k_i) = 0$ ($k_i = 1(1)K_i$, $i = 1(1)N$). Для исходных данных задачи общее число искомым переменных равно 17. Таким образом, решением задачи определения оптимального по критерию максимального конечного притока варианта модернизации систем сети связи является определение значений элементов вектора x индикаторов выбора соответствующей доработки.

Для решения задачи использован метод ветвей и границ. Программным средством для решения задачи выбрана надстройка MS-Excel «Поиск решения» [18]. На начальном этапе решения присвоим всем неизвестным нулевые значения. Получены следующие результаты.

Совершенствованию при модернизации сети связи подлежат первая, вторая, третья и пятая системы. Оптимальными видами доработок систем сети связи являются следующие: $k_1^* = 2$; $k_2^* = 2$; $k_3^* = 1$; $k_5^* = 3$. Это означает, что при внедрении перспективных коммуникационных услуг необходимо доработать первую систему по варианту 2, вторую систему – по варианту 2; третью систему – по варианту 1; пятую систему – по варианту 3. Внедрять четвертую и шестую коммуникационные услуги с доработками соответствующих систем сети связи является в данном случае нецелесообразным. Сводные результаты расчетов представлены в таблице 3.

Таблица 3. Результаты решения задачи обоснования оптимальной модернизации сети связи

Номер системы (i)	Номер (k_i)	Значение $x(k_i)$	Затраты финансов $g_{i1}(k_i)$ (усл. ед.)	Затраты времени $g_{i2}(k_i)$ (ед. вр.)	Возможное количество пользователей ($L_i(k_i)$)	Размер платы за ПКУ $c_i(k_i)$ (усл. ед.)	Приток C_i (усл. ед.)
1	0	0	0	0	0	0	300 0
	2	1	4000	600	300	10	
	0	0	0	0	0	0	
2	0	0	0	0	0	0	360 00
	2	1	2500	650	900	40	
3	1	1	2800	700	420	50	210 00
	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	
4	1	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	
	0	0	0	0	0	0	
5	0	0	0	0	0	0	177 00
	0	0	0	0	0	0	
	3	1	3400	680	590	30	
6	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0	

При этом на модернизацию сети связи требуется потратить $G_1^{(расч)} = 12700$ усл. ед. Необходимые работы по модернизации должны быть выполнены за $G_2^{(расч)} = 700$ ед. вр. Достижимый при модернизации экономический результат, характеризуемый значением притока за внедряемые при модернизации сети связи коммуникационные услуги, составляет $C_M = 77700$ усл. ед. Таким образом, решение расчетного примера завершено.

6. Заключение. В данной статье рассмотрено структурно-функциональное моделирование модернизации сети связи, которое позволяет обосновать состав типов доработок систем сети, оптимальный по критерию максимального притока денежных средств за пользование внедренными коммуникационными услугами. При этом модель оптимизации доработок представлена как задача булева математического программирования, решаемая методом ветвей и границ. Исследование доведено до инженерного решения на основе использования математического пакета MS-Excel. Выбор данного вычислительного средства упрощает практическое использование

разработанного структурно-функционального моделирования модернизации сети связи. Это обусловлено доступностью и распространенностью MS-Office, отсутствием необходимости дополнительного обучения использованию соответствующего математического пакета. Предложенная форма представления исходных данных, промежуточных результатов счета и результатов обоснования варианта модернизации сети связи достаточно наглядна и удобна для анализа.

Практическая значимость полученных результатов состоит в возможности их использования при проектировании сетей связи, а также в экспертных организациях отрасли связи, осуществляющих анализ обоснованности инвестиций в сфере телекоммуникаций.

Литература

1. Cnews. Издание о высоких технологиях. URL: cnews.ru (дата обращения: 25.11.2015).
2. Федеральный закон от 7 июля 2003 г. № 126-ФЗ «О связи». URL: docs.cntd.ru (дата обращения: 10.07.2015).
3. *Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф.* Телекоммуникационные системы и сети. Современные технологии. Том 3. Мультисервисные сети // М.: Горячая линия-Телеком. 2005. 592 с.
4. *Линец Г.И., Фомин Л.А., Говорова С.В., Меденец В.В.* Построение мультисервисных сетей на основе функциональных преобразований трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2014. Том 12. № 4. С. 40-45.
5. *Буданов А.Н., Дмитриев В.М.* Виртуальные интерфейсы для цифровых систем передачи мультисервисного трафика // Инфокоммуникационные технологии. 2013. Том 11. № 3. С. 27-30.
6. *Сарьян В.К. и др.* Прошлое, настоящее и будущее стандартизации интернета вещей // Труды научно-исследовательского института радио. 2014. № 1. С. 2–7.
7. *Титаренко Е.* Российские преграды для IoT. URL: www.comnews.ru. (дата обращения: 09.07.2015).
8. Yang L., Yang S.H., Plotnick L. How the internet of things technology enhances emergency response operations // Technological Forecasting and Social Change. 2013. vol. 80(9). pp. 1854–1867.
9. *Бутенко В.В., Назаренко А.П., Сарьян В.К. и др.* Проблемы, возникающие при внедрении новых технологий в инфокоммуникационном сообществе // Труды НИИР. 2011. № 1. С. 12–19.
10. *Кучерявый А.Е., Цуприков А.Л.* Сети связи следующего поколения // М.: ФГУП ЦНИИС. 2006. 278 с.
11. *Цвиркун А.Д.* Основы синтеза структуры сложных систем // М.: Наука. 1982. 200 с.
12. *Резникова Н.П.* Маркетинг в телекоммуникациях // М.: Эко-Трендз. 2002. 336 с.
13. Wallin S., Leijon V. Multi-Purpose Models for QoS monitoring // In 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07). IEEE Computer Society. 2007. pp. 900–905.
14. Carvalho de Gouveia F., Magadan T. Quality of service in telecommunication network // Telecommunication Systems and Technologies. 2008. vol. 2. 21 p.

15. Amani N., Alipour E. Analysis of Performance and Quality Parameters for Service Level Agreement in Long Distance Calls Service // Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong. 2008. vol. 2. 4 p.
16. Черноруцкий И.Г. Методы принятия решений. Учебное пособие // СПб.: БХВ – Петербург. 2005. 408 с.
17. Резников Б.А. Методы и алгоритмы оптимизации на дискретных моделях сложных систем // Л.: ВИКИ. 1983. 250 с.
18. Леоненков А.В. Решение задач оптимизации в среде MS Excel // СПб.: БХВ-Петербург. 2005. 704 с.

References

1. Cnews. Izdanie o vysokih tehnologijah. [Cnews. The edition about high technologies]. URL: cnews.ru (accessed 25.11.2015). (In Russ.).
2. Federal'nyj zakon ot 7 ijulja 2003 g. № 126-FZ. [«About communication»]. Available at: docs.cntd.ru (accessed 10.07.2015). (In Russ.).
3. Velichko V.V., Subbotin E.A., Shuvalov V.P., Jaroslavcev A.F. *Telekommunikacionnye sistemy i seti. Sovremennye tehnologii. Tom 3. Mul'tiservisnye seti.* [Telecommunication systems and networks. Modern technologies. Volume 3. Multiservice networks]. M.: Gorjachaja linija-Telekomio. 2005. 592 p. (In Russ.).
4. Linec G.I., Fomin L.A., Govorova S.V., Medenec V.V. [Creation of multiservice networks on the basis of functional transformations of a traffic]. *Infokommunikacionnye tehnologii – Infocommunication technologies.* 2014. vol. 12. no. 4. pp. 40–45. (In Russ.).
5. Budanov A.N., Dmitriev V.M. [Virtual interfaces for digital systems of transfer of a multiservice traffic]. *Infokommunikacionnye tehnologii – Infocommunication technologies.* 2013. vol. 11. no. 3. pp. 27–30. (In Russ.).
6. Sar'jan V.K., et al. [Last, real and future standardization of the Internet of things]. *Trudy nauchno-issledovatel'skogo instituta radio – Works of research institute of radio.* 2014. vol. 1. pp. 2–7. (In Russ.).
7. Titarenko E. Rossijskie pregrady dlja IoT [Russian barriers to IoT]. Available at: www.comnews.ru (accessed 09.07.2015). (In Russ.).
8. Yang L., Yang S.H., Plotnick L. How the internet of things technology enhances emergency response operations. *Technological Forecasting and Social Change.* 2013. vol. 80(9). pp. 1854–1867.
9. Butenko V.V., Nazarenko A.P., Sar'jan V.K., et al. [The problems arising at introduction of new technologies in infocommunication community]. *Trudy NIIR – Proceedings of NIIR.* 2011. vol. 1. pp. 12–19. (In Russ.).
10. Kucherjavij A.E., Cuprikov A.L. *Seti svjazi sledujushhego pokolenija.* [Communication networks of the next generation]. M.: FGUP CNIIS. 2006. 278 p. (In Russ.).
11. Cvirkun A.D. *Osnovy sinteza struktury slozhnyh sistem* [Bases of synthesis of structure of difficult systems]. M.: Nauka. 1982. 200 p. (In Russ.).
12. Reznikova N.P. *Marketing v telekommunikacijah* [Marketing in telecommunications]. M.: Jeko-Trend. 2002. 336 p. (In Russ.).
13. Wallin S., Leijon V. Multi-Purpose Models for QoS monitoring. In 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (AINAW'07). IEEE Computer Society. 2007. pp. 900–905.
14. Carvalho de Gouveia F., Magadanz T. Quality of service in telecommunication network. *Telecommunication Systems and Technologies.* 2008. vol. 2. 21 p.
15. Amani N., Alipour E. Analysis of Performance and Quality Parameters for Service Level Agreement in Long Distance Calls Service. Proceedings of the International MultiConference of Engineers and Computer Scientists. Hong Kong. 2008. vol. 2. 4 p.

16. Chernoruckij I.G. *Metody prinjatija reshenij. Uchebnoe posobie*. [Decision-making methods. Tutorial]. SPb.: BHV-Peterburg. 2005. 408 p. (In Russ.).
17. Reznikov B.A. *Metody i algoritmy optimizacii na diskretnyh modeljah slozhnyh sistem*. [Methods and algorithms of optimization on discrete models of difficult systems]. L.: VIKI. 1983. 250 p. (In Russ.).
18. Leonenkov A.V. *Reshenie zadach optimizacii v srede MS Excel*. [The solution of problems of optimization in the environment of MS Excel]. SPb.: BHV-Peterburg. 2005. 704 p. (In Russ.).

Салухов Владимир Иванович — к-т техн. наук, доцент, руководитель исследовательской группы информационных технологий в образовании, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации Российской академии наук (СПИИРАН). Область научных интересов: информационные технологии в образовании, управление жизненным циклом инфотелекоммуникационных систем, анализ и разработка систем поддержки принятия решений на базе современных информационных технологий. Число научных публикаций — 50. vsaluhov@bk.ru; 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)3280382.

Salukhov Vladimir Ivanovich — Ph.D., associate professor, head of research group of information technologies in education, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences (SPIIRAS). Research interests: research and information technologies in education, lifecycle management infocommunication systems, analysis and development of support systems and decision making on the basis of modern information technologies. The number of publications — 50. vsaluhov@bk.ru; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)3280382.

Солдатенко Владимир Стальевич — к-т техн. наук, доцент, Член-корреспондент Российской муниципальной академии, доцент кафедры метрологии, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского (ВКА им. А.Ф.Можайского), доцент кафедры гражданского строительства и прикладной экологии, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого (СПбПУ). Область научных интересов: информационные технологии в образовании, управление жизненным циклом инфотелекоммуникационных систем, анализ и разработка систем поддержки и принятия решений на базе современных информационных технологий. Число научных публикаций — 62. soldatenko_vs@mail.ru; 14-я линия В.О., д. 39, Санкт-Петербург, 199178; р.т.: +7(812)328-0103, Факс: +7(812) 328-4450.

Soldatenko Vladimir Stal'yevich — Ph.D., associate professor, associate professor of civil engineering and applied ecology department, St. Petersburg polytechnical university of Peter the Great, associate professor of metrology department, Mozhaisky Military Space Academy. Research interests: information technologies in education, lifecycle management infocommunication systems, analysis and development of support systems and decision-making on the basis of modern information technologies. The number of publications — 62. soldatenko_vs@mail.ru; 39, 14-th Line V.O., St. Petersburg, 199178, Russia; office phone: +7(812)328-0103, Fax: +7(812) 328-4450.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке Программы фундаментальных научных исследований ОНИТ РАН (проект № 2.11).

Acknowledgements. This research is supported by Program of fundamental scientific research ONIT Russian Academies of Sciences (grant 2.11).

РЕФЕРАТ

Салухов В.И., Солдатенко В.С. Структурно-функциональная модель и методика решения задачи обоснования модернизации телекоммуникационных систем.

Объектом исследования в статье является управление эволюционным развитием телекоммуникационных систем в направлении внедрения новых коммуникационных услуг связи.

Цель статьи – формирование подхода для обоснования необходимости доработок систем сети связи и выбора их вариантов, составляющих модернизацию сети при внедрении новых коммуникационных услуг связи, на основе учета перспективного спроса на указанные услуги и имеющихся ресурсов.

В представленных материалах обосновано применение структурно-функционального моделирования к описанию модернизации телекоммуникационной системы. Это позволяет учитывать влияние доработок систем сети связи на результат использования каждой новой коммуникационной услуги с учетом потребностей пользователей. Такой подход создает возможность формирования вариантов модернизации сети связи, подлежащих дальнейшему анализу. Разработаны предложения по получению оптимальной совокупности доработок систем сети связи по критерию максимальной экономической эффективности на основе математического целочисленного программирования.

Практическое применение полученных в статье результатов позволит создать научный аппарат оценивания обоснованности проектов развития сетей связи в аспекте их модернизации с ориентированием на спрос в новых коммуникационных услугах.

SUMMARY

Salukhov V.I., Soldatenko V.S. **Structurally Functional Model and Technique to Solve the Problem of Justification of Telecommunication Systems Modernization.**

The object of the research is management of the evolutionary development of telecommunication systems towards the introduction of new communication services.

The purpose of the article is to form an approach for justification of a need for communication network systems completions and a choice of their options making modernization of a network when implementing communication services on the basis of the accounting of perspective demand for the specified services and the available resources.

In the presented materials, application of structurally functional modeling to the description of modernization of telecommunication system is proved. It allows one to consider the influence of communication network systems completions on the result of the use of each new communication service taking into account the needs of users. Such an approach makes it possible to form the communication network modernization options, which are subject to the further analysis. Offers on obtaining optimum set of communication network systems completions on criterion of the maximum economic efficiency on the basis of mathematical integer programming are developed.

Practical application of the results received, presented in the article, will allow one to create the scientific apparatus to estimate validity of development projects of communication networks in aspect of their modernization with orientation on the demand for new communication services.