

УДК 004.023

В.П. Хранилов<sup>1</sup>, Д.Е. Шапошников<sup>2</sup>**МОДЕЛЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ОКАЗАНИЯ УСЛУГ СЕТЯМИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ С УЧЕТОМ ИНТЕРЕСОВ АБОНЕНТОВ**

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева<sup>1</sup>  
Национальный исследовательский Нижегородский государственный университет  
им. Н.И. Лобачевского<sup>2</sup>

Рассматривается проблема построения оценки сети передачи данных с точки зрения обеспечения технического качества оказания услуг для всех абонентов. Предлагается оптимизационный подход к анализу и получению индикаторов пропускной способности. Для решения задачи оценки использована сетевая потоковая модель сети передачи данных, и на ее основе сформулированы подходы и реализованы алгоритмы оценки пропускной способности сети с учетом множественности интересов получателей услуг. Построены критерии качества обслуживания с точки зрения индивидуальных абонентов, которые могут быть использованы как для общей оценки необходимости модификации сети, так и при решении задач модификации в различной постановке и различными методами.

Описаны подходы к решению, в частности, использование методов вычисления смешанных стратегий в модели теории. Предложенная методика позволяет построить индикаторы качества функционирования сети передачи данных, учитывающие индивидуальные требования абонентов. Данный подход дает возможность всестороннего анализа и принятия решения о необходимости модификации сети.

*Ключевые слова:* сеть передачи данных, сетевые потоковые модели, многокритериальная оценка качества, оптимизационная модель, пропускная способность.

**Введение**

Актуальность практических разработок в области планирования структуры и характеристик телекоммуникационных сетей определяется как современным состоянием экономики и бизнеса телекоммуникаций (широкое распространение технологий связи и повышение требований абонентов к качеству услуг), так и развитием науки и технологий (развитие и повышение технических характеристик систем передачи данных и повышение мощности канального и узлового оборудования мультимплексирования). В условиях современных высоких скоростей каналов связи (в частности, оптических) и мощностей оборудования мультимплексирования возникла необходимость качественного совершенствования моделей, описывающих функционирование сетей передачи данных. Существующие модели СПД [1] имеют ряд существенных недостатков или совсем не могут быть использованы для решения задачи планирования и оптимизации структуры сети – как в плане строительства новых каналов, так и в плане расширения мощности существующих. Это обусловлено, в частности, сложностью оценки каждого допустимого варианта, для моделирования которого должна быть решена трудоемкая задача и, следовательно, задействованы мощные вычислительные ресурсы или потрачено значительное время на вычисления.

Повышение скоростей передачи и надежности оборудования определяет применимость сетевых потоковых моделей для оценки и планирования развития сетей передачи данных. В данных моделях интернет-трафик рассматривается как ресурс, который региональным оператором связи закупается у транзитных операторов, перемещается через региональную сеть и доставляется абоненту в соответствии с его договором об оказании услуг [2]. Сетевые потоковые модели известны [3,4], однако спецификой отрасли телекоммуникаций является необходимость учета интересов каждого абонента, что определяет особенности применения данного вида моделей и трудности в формировании итоговых оценок качества, об-

щих для организационно-технической системы провайдера. Оценки качества, в свою очередь, определяют критерии принятия решений при модификации сети и формировании режимов ее функционирования. Основной оптимально-компромиссной схемой принятия решений провайдером является бикритериальная модель поиска рациональных решений, предусматривающая удовлетворение потребностей абонентов с одной стороны, и минимизация объема закупаемого трафика магистральных операторов, с другой стороны. В этих условиях необходима разработка метода определения интегрального показателя качества функционирования сети с точки зрения удовлетворения потребностей абонентов.

### **Математическая потоковая модель сети передачи данных**

Задача сети передачи данных (СПД) – обеспечение абонентов возможностями, предоставляемыми цифровыми сетями, в области обеспечения надежным и скоростным ресурсом в виде интернет-трафика. Будем рассматривать СПД как сложную организационную и техническую структуру, предназначенную для оказания услуг абонентам, в качестве которых могут выступать как юридические, так и физические лица. Последнее обстоятельство обуславливает повышенную структурную сложность данной технической системы и разнообразные требования к ее мощности (в смысле возможности обеспечения скоростным и надежным интернет-трафиком). При моделировании СПД необходимо также учитывать свойства объекта моделирования, определяемые законами Российской Федерации [5], а также другими нормативными актами, регулирующими деятельность предприятий связи и определяющими ее структуру в плане управления и иерархической подчиненности.

Исходя из этого, СПД как организационная структура состоит из трех слоев.

Первый (верхний, первичный) слой соответствует магистральным высокоскоростным каналам связи и принадлежит магистральным операторам (провайдерам), имеющим соответствующие федеральные лицензии.

Второй слой содержит сети связи, которые принадлежат региональным операторам, имеющим соответствующие региональные лицензии и управляющими СПД уровня региона.

Третий слой СПД является распределительным (сетью распределения, вторичной сетью) и обеспечивает непосредственную доставку трафика до абонентов, обеспечивая их потребности.

Операторы связи (провайдеры) осуществляют присоединение региональной СПД к сети магистральных операторов и обеспечивают потребности абонентов по доставке интернет-трафика. В силу современного состояния и развития СПД (прежде всего, повышение скорости каналов и мощности узлового мультиплексного оборудования) является актуальным применение потоковых моделей для анализа и планирования мощности СПД на бизнес-уровне календарного и перспективного планирования развития сети передачи данных на основе прогнозных и фактических потребностей абонентов. Данный подход применен и развит в нескольких работах [6-8].

В работе [9] сформулированы особенности современных сетей передачи данных, которые являются важными с точки зрения моделирования потоковыми моделями.

1. Величины пропускных способностей каналов связи достаточно велики и, в основном, значительно превосходит пропускную способность узлов коммутации и мультиплексирования, стоимость оборудования которых, в свою очередь, весьма значительна.
2. В сетях передачи данных необходимо рассматривать несколько видов трафика – входящий, исходящий и внутренние. С точки зрения абонента как потребителя услуг СПД, входящий трафик является основным ресурсом потребления. Однако в последнее время растет значение внутреннего трафика в силу развития растущего числа различных сетевых источников.

3. Узел коммутации физически представляет собой единое устройство – мультиплексор (или набор мультиплексоров с единым управлением), совместно обрабатывающее все виды трафика. Это обуславливает необходимость рассмотрения суммарной пропускной способности узла в всех направлениях и учета общего учета производительности.

Для определения пропускной способности сети передачи данных будем использовать оптимизационную задачу определения максимального потока специального вида. В данной математической модели сеть передачи данных описывается ориентированным графом  $G(V, E)$ , множество вершин которого  $V = \{v_1, \dots, v_n\}$  задает узлы коммутации и мультиплексирования, множество дуг  $E \subseteq (V \times V)$  описывает каналы связи, способные с определенной скоростью перемещать ресурс (в данном случае – интернет-трафик) от одного узла к другому. Граф  $G(V, E)$  является ориентированным, так как каналы связи в СПД являются направленными, при переключении направления пропуска трафика (при изменении конфигурации СПД) произойдет и изменение моделирующего графа. Если конкретную пару узлов СПД соединяют несколько параллельных физических каналов, то будем учитывать их суммарную пропускную способность, следовательно, если пара вершин сети  $(u, v)$  соединены каналом связи, то будем считать, что данный канал единственный.

Обозначим через  $x_{[v,u]}$  поток данных, движущийся в канале от вершины  $u$  к вершине  $v$ . Поток сети будем считать вектор  $x = (x_{[v,u]})$ , который объединяет в себе все величины потоков всех каналов  $(v, u)$  сети, то есть, в рамках описываемой модели, все дуги графа  $G(V, E)$ . Размерность данного вектора равна мощности множества дуг  $E$  графа  $G(V, E)$ . При анализе возможных и/или фактических потоков сети и использовании в дальнейшем линейной оптимизационной модели анализа потоков данный вектор будет представлять собой вектор варьируемых параметров. Конкретные численные значения вектора потоков заранее неизвестны и зависят от множества случайных факторов конкретного места и времени. Тем не менее, анализ технических возможностей СПД необходим для принятия решений при оперативной конфигурации и при принятии решений по модификации для развития.

Объективная сложность потокового моделирования СПД, в частности, определяется тем, что каждый узел может рассматриваться как источник ресурса. Это может произойти в нескольких ситуациях.

1. Узел выполняет функции мультиплексирования и осуществляет перенаправление потоков интернет-трафика в соответствии с установленной маршрутизацией.
2. Любой узел сети может выступать в роли источника ресурса. Это, в свою очередь, может осуществляться в двух случаях. Во-первых, узел имеет присоединение к магистральной сети и получает интернет-ресурс в соответствии с договором между региональным и магистральным провайдерами. Данный договор определяет мощность присоединения, представляющую собой полосу (скорость) входящего потока. Во-вторых, узел может выступать самостоятельным источником данных в случае, если является каким-либо центром данных или является одним из узлов, участвующих в конфигурировании VPN (Virtual Private Network – виртуальная частная сеть как услуга со стороны провайдера).
3. Любой узел может иметь подключенных абонентов и, таким образом, являться «стоком» с точки зрения потоковой модели. Подключенные к данному узлу абоненты являются потребителями ресурса и источниками исходящего трафика, а также выступают как инициаторы потребности в ресурсе и эту потребность необходимо оценить.

Таким образом, перечисленные функции узла коммутации формируют определенные специфические свойства потоковой модели сети передачи данных, значительно отличающие ее от классической потоковой модели (где, как известно, есть один «источник» и один «сток», он же потребитель, ресурса). Обозначим также через  $I(V_i)$  и  $O(V_i)$  множества соот-

ветственно входящих и исходящих дуг для вершины  $V_i, i = 1, \dots, N$ , то есть, соответствующие множества каналов связи.

Рассмотрим *варьируемые параметры* оптимизационной задачи и введем следующие обозначения, рассматривая расширение линейной модели задачи о максимальном потоке [4].

Поток данных (скорость в натуральных единицах, например, Mb/s), движущийся в канале от вершины  $v$  к вершине  $u$  обозначим через  $x_{[v,u]}$  (уже введенное обозначение).

Для узла  $V_i, i = 1, \dots, N$  примем, что  $u_i$  – размер потока, формируемого данным узлом как источником данных: суммарная поставляемая транзитными провайдерами мощность трафика в данном узле, а также для узла  $V_i$  суммарный исходящий трафик абонентов, центров данных и подключенных виртуальных частных сетей.

Для узла  $V_i, i = 1, \dots, N$  обозначим через  $r_i$  размер потока, потребляемого данным узлом. Эта величина представляет собой суммарную потребность абонентов узла во входящем трафике плюс суммарная мощность центров данных и подключенных виртуальных частных сетей.

Для формирования *множества допустимых решений* оптимизационной задачи введем следующие обозначения внешних параметров модели.

Как известно, оборудование узла  $V_i, i = 1, \dots, N$  обрабатывает все виды трафика, распределяя имеющиеся мощности (вычислительную скорость) по своему усмотрению [1]. Но суммарная мощность всех видов трафика не должна превышать суммарной мощности установленного на узле оборудования, которое этот трафик обрабатывает. Данную величину, являющуюся пропускной способностью узла, обозначим через  $p_i$ . Таким образом, формируется вектор  $p = (p_1, \dots, p_N)$  пропускных способностей узлов коммутации, при этом компоненты данного вектора являются исходными данными при решении задачи анализа пропускной способности сети.

Также предположим, что нам известны (или оценены) следующие величины для узлов, подключенных к магистральным каналам связи:  $s_i^+, s_i^-, i = 1, \dots, N$  – соответственно максимально и минимально установленные мощности поставки трафика в данном узле. Эти величины определяются соглашениями с транзитными провайдерами. Если в данном узле такого подключения нет, то примем, что данные величины равны нулю. Для каждого узла как источника данных установим величины  $r_i^+, r_i^-, i = 1, \dots, N$ , представляющие собой соответственно суммы максимальных и минимальных мощностей исходящего трафика абонентов, центров данных и подключенных виртуальных частных сетей. Если для данного узла нет потребности в работе как источника данных, то величину  $r_i^-$  можно принять равной нулю, а величину  $r_i^+$  принять равной большому числу.

Для каждого узла как потребителя данных установим величины  $c_i, i = 1, \dots, N$  – суммарная безусловная потребность абонентов узла во входящем трафике плюс суммарная требуемая входящая мощность центров данных и подключенных виртуальных частных сетей – то есть, суммарная требуемая мощность, необходимая всем потребителям. Необходимо отметить, что в современном состоянии предметной области наличие верхних границ потребностей чаще всего не имеет смысла, поэтому они не рассматриваются.

Обозначим через  $D = \{x, u, v\}$  область допустимых значений векторов  $x = (x_{[v,u]}), u = (u_1, \dots, u_N), v = (v_1, \dots, v_N)$  как варьируемых параметров задачи. Область  $D$  определяется в предметной области топологией сети и значениями параметров узлов и каналов, а в данной математической модели – соотношениями, реализующими ограничения потоков.

1. Ограничения на пропускную способность каналов связи (1):

$$x_{[v,u]} \leq x_{[v,u]}^+, \text{ для всех } e = (v, u) \in E, \quad (1)$$

где  $x_{[v,u]}^+$  – пропускная способность соответствующего канала связи. Как уже было отмечено, в большинстве случаев пропускная способность каналов достаточно велика, однако такое ограничение необходимо.

2. Балансовые уравнения узлов коммутации (2):

$$\sum_{j \in I(V_i)} x_{[V_j, V_i]} + u_i = \sum_{k \in O(V_i)} x_{[V_i, V_k]} + y_i, \quad i = 1, \dots, N. \quad (2)$$

3. Ограничения пропускных способностей узлов коммутации (3):

$$\sum_{j \in I(V_i)} x_{[V_j, V_i]} + u_i \leq p_i, \quad i = 1, \dots, N, \quad (3)$$

или, в силу наличия балансового уравнения узла, эквивалентное соотношение

$$\sum_{k \in O(V_i)} x_{[V_i, V_k]} + y_i \leq p_i, \quad i = 1, \dots, N.$$

4. Ограничения, соответствующие мощностям узлов, как источников трафика (4):

$$s_i^- + r_i^- \leq u_i \leq s_i^+ + r_i^+. \quad (4)$$

5. Ограничения, соответствующие мощностям узлов как потребителям трафика (5):

$$y_i \geq c_i. \quad (5)$$

Таким образом, при рассмотрении величины варьируемых параметров  $x = (x_{[v,u]})$ ,  $u = (u_1, \dots, u_N)$ ,  $y = (y_1, \dots, y_N)$  приведенные соотношения (1)-(4) должны быть использованы в оптимизационной задаче как ограничения модели для определения области допустимых значений  $D_x$  мощности (пропускной способности) сети передачи данных.

### Критерии для решения оптимизационной задачи

Как уже было отмечено, особенность сети передачи данных как объекта исследования заключается в том, что каждый абонент представляет собой потребителя ресурса (в данном случае, интернет-трафика), имеющего самостоятельные независимые требования по оказанию услуг. Будем считать, что, учитывая индивидуальные потребности абонентов, а также стремление максимально удовлетворить их потребности, провайдер стремится максимизировать пропускную способность к каждому абоненту. В силу этого формируется многокритериальная задача (6):

$$y_i \rightarrow \max, i = 1, \dots, N; \{x, u, y\} \in D. \quad (6)$$

Для построения многокритериальной оценки мощности сети передачи данных могут быть реализованы «оптимистический» и «пессимистический» подходы (термины ориентированы на точку зрения абонентов).

1. «Оптимистический» подход позволяет оценить максимальные теоретические возможности СПД для удовлетворенности абонентов. Решается  $N$  оптимизационных задач, в каждой из которых для каждого узла  $i$  рассчитывается величина максимально возможного потока, при предположении, что остальные абоненты потребляют его на уровне минимальной границы (7):

$$y_i^* = \arg \max_{\{x, u, y\} \in D} y_i, i = 1, \dots, N, \quad (7)$$

при этом (8):

$$y_j = c_j, j = 1, \dots, N; j \neq i. \quad (8)$$

Оценки (7) могут быть использованы индивидуально, например, при анализе возможностей СПД для наиболее приоритетных с точки зрения провайдера узлов.

Для формирования обобщенной оптимистической оценки\* пропускной способности сети передачи данных воспользуемся принципом гарантированного результата (критерием Гермейера) [11, 12]:

$$y^o = \min_{1 \leq i \leq N} \max_{\{x, u, y\} \in D} y_i. \quad (9)$$

Для целей анализа пропускной способности и принятия решения о возможной модификации сети передачи данных в будущем, данный показатель может быть рассчитан для группы узлов, выделенных по географическому или иному принципу.

На основании задачи (7)-(8) может быть также получена максимальная теоретическая оценка возможностей сети (10):

$$y^1 = \max_{1 \leq i \leq N} \max_{\{x,u,y\} \in D} y_i. \quad (10)$$

2. «Пессимистический» подход предполагает оценку реальных возможностей сети по обслуживанию абонентов. Предполагается, что все абоненты сети стремятся получить и запрашивают максимально возможные значения трафика. В этом случае может быть рассчитана максиминная оценка следующего вида (соответствует так называемому обобщенному критерию максимальной осторожности) (11):

$$y^p = \max_{\{x,u,y\} \in D} \min_{1 \leq i \leq N} y_i. \quad (11)$$

Данные обобщенные критерии оптимальности могут быть использованы для оценки пропускной способности сети передачи данных и принятия решения о необходимости модификации, а также при планировании модификации в качестве критерия оптимальности соответствующей оптимизационной задачи (изменения топологии сети или повышения пропускной способности узлов).

### Методы решения описанных оптимизационных задач

Рассмотрим подходы к решению описанных задач многокритериальной оценки (9) и (11). Минимаксная задача (9) представляет собой последовательность из  $N$  линейных независимых задач оптимизации. Для решения исходной задачи требуется получить  $N$  оптимальных решений задач (6), затем выбрать среди полученных решений минимальное значение. Очевидно, что рациональным способом вычисления будет возможное применение высокопроизводительных параллельных алгоритмов или других современных методов.

Максиминная задача (11) может быть решена при помощи модели фон Неймана [4], применяемой, в частности, при нахождении решения антагонистической игры  $m \times n$  в смешанных стратегиях. В данном случае задача (11) может быть решена путем решения следующей задачи (сформулируем задачу полностью) (12):

$$\begin{aligned} & \max v; \\ & v \leq y_i, i = 1, \dots, N; \\ & x_{[v,u]} \leq x_{[v,u]}^+, \text{ для всех } e = (v, u) \in E; \\ & \sum_{j \in I(V_i)} x_{[V_j, V_i]} + u_i = \sum_{k \in O(V_i)} x_{[V_i, V_k]} + y_i, i = 1, \dots, N; \\ & \sum_{k \in O(V_i)} x_{[V_i, V_k]} + y_i \leq p_i, i = 1, \dots, N; \\ & s_i^- + r_i^- \leq u_i \leq s_i^+ + r_i^+, i = 1, \dots, N; \\ & y_i \geq c_i, i = 1, \dots, N. \end{aligned} \quad (12)$$

Оптимальное решение задачи (12) представляет собой интегральную оценку пропускной способности сети передачи данных для случая требования равномерного обеспечения абонентов.

### Пример расчетов и оценки

В качестве иллюстративного примера рассмотрим гипотетическую сеть передачи данных (рис. 1), состоящую из шести узлов. Два из них – ( $V_1$  и  $V_4$ ) – имеют интерфейсы с транзитными операторами для снабжения трафиком сети. Все узлы имеют подключенных абонентов и, соответственно, могут выступать потребителями трафика с соответствующими параметрами.

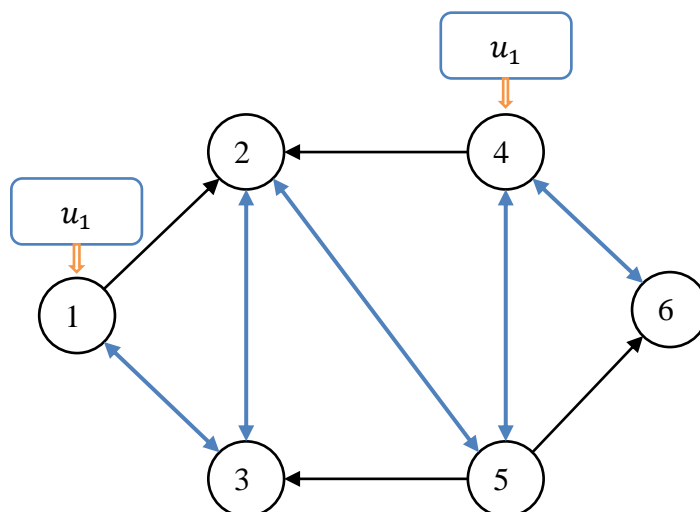


Рис. 1. Пример сети передачи данных

Перечислим исходные данные модели для решения задачи оценки пропускной способности сети.

1. Ограничения на пропускную способность каналов.

$$x_{[1,2]} \leq 640; x_{[1,3]} \leq 10000; x_{[3,1]} \leq 10000; x_{[2,3]} \leq 10000; x_{[3,2]} \leq 10000;$$

$$x_{[2,5]} \leq 10000; x_{[5,2]} \leq 10000; x_{[3,5]} \leq 100; x_{[4,2]} \leq 100; x_{[5,6]} \leq 10000;$$

$$x_{[4,6]} \leq 10000; x_{[6,4]} \leq 100.$$

2. Балансовые уравнения узлов сети:

$$\text{Узел 1: } x_{[3,1]} + u_1 = x_{[1,3]} + x_{[1,2]} + y_1;$$

$$\text{Узел 2: } x_{[1,2]} + x_{[3,2]} + x_{[4,2]} + x_{[5,2]} = x_{[2,3]} + x_{[2,5]} + y_2;$$

$$\text{Узел 3: } x_{[1,3]} + x_{[2,3]} + x_{[5,3]} = x_{[3,1]} + x_{[3,2]} + y_3;$$

$$\text{Узел 4: } x_{[5,4]} + x_{[6,4]} + u_4 = x_{[4,2]} + x_{[4,5]} + x_{[4,6]} + y_4;$$

$$\text{Узел 5: } x_{[2,5]} + x_{[4,5]} = x_{[5,2]} + x_{[5,3]} + x_{[5,4]} + x_{[5,6]} + y_5;$$

$$\text{Узел 6: } x_{[4,6]} + x_{[5,6]} = x_{[6,4]} + y_6.$$

3. Ограничения пропускных способностей узлов коммутации (будем использовать сумму пропускных способностей входящих каналов связи):

$$\text{Узел 1: } x_{[3,1]} + u_1 \leq 1000;$$

$$\text{Узел 2: } x_{[1,2]} + x_{[3,2]} + x_{[4,2]} + x_{[5,2]} \leq 1000;$$

$$\text{Узел 3: } x_{[1,3]} + x_{[2,3]} + x_{[5,3]} \leq 2000;$$

$$\text{Узел 4: } x_{[5,4]} + x_{[6,4]} + u_4 \leq 1000;$$

$$\text{Узел 5: } x_{[2,5]} + x_{[4,5]} \leq 2000;$$

$$\text{Узел 6: } x_{[4,6]} + x_{[5,6]} \leq 1000.$$

4. Ограничения, соответствующие мощностям узлов, как источников трафика:

$$\text{Узел 1: } 0 \leq u_1 \leq 6000;$$

$$\text{Узел 4: } 1000 \leq u_4 \leq 4000.$$

5. Ограничения, соответствующие мощностям узлов как потребителям трафика:

$$\text{Узел 1: } y_1 \geq 10;$$

$$\text{Узел 2: } y_2 \geq 100;$$

$$\text{Узел 3: } y_3 \geq 50;$$

$$\text{Узел 4: } y_4 \geq 0;$$

$$\text{Узел 5: } y_5 \geq 0;$$

$$\text{Узел 6: } y_6 \geq 10.$$

Задача оптимизации и оптимальное значение критерия	Значения потоков источников трафика
$y_1^* = \arg \max_{\{x,u,y\} \in D} y_1 = 1000$	$u_1 = 160; u_4 = 1000;$
$y_2^* = \arg \max_{\{x,u,y\} \in D} y_2 = 1000$	$u_1 = 70; u_4 = 1000;$
$y_3^* = \arg \max_{\{x,u,y\} \in D} y_3 = 1880$	$u_1 = 1000; u_4 = 1000;$
$y_4^* = \arg \max_{\{x,u,y\} \in D} y_4 = 1000$	$u_1 = 170; u_4 = 1000;$
$y_5^* = \arg \max_{\{x,u,y\} \in D} y_5 = 1830$	$u_1 = 1000; u_4 = 1000;$
$y_6^* = \arg \max_{\{x,u,y\} \in D} y_6 = 1000$	$u_1 = 160; u_4 = 1000.$

При решении задачи 11 получены следующие результаты:

$$y^p = \max_{\{x,u,y\} \in D} \min_{1 \leq i \leq N} y_i = 333.3,$$

при этом значения потоков источников трафика  $u_1 = u_4 = 1000$ .

### Выводы

Рассмотрена проблема оценки качества функционирования сети передачи данных с точки зрения возможностей обеспечения абонентов скоростью трафика. Использование сетевой потоковой модели основывается на современном состоянии СПД и позволяет учесть индивидуальные интересы абонентов, одновременно позволяя построить интегральный показатель пропускной способности сети. Построенные индикаторы могут быть использованы в качестве критериев при решении оптимизационных задач модификации топологии и повышения мощности установленного в узлах оборудования.

### Библиографический список

1. **Гольдштейн, Б.С.** Сети связи / Б.С. Гольдштейн, Н.А. Соколов, Г.Г. Яновский – СПб: ВHV, 2014. – 400 с.
2. **Костин, А.А.** Телекоммуникационная услуга как объект управления / А.А. Костин, А.К. Шустров // Информатизация и связь. – 2012. – № 7. – С. 34-41.
3. **Давыдов, Э.Г.** Исследование операций: учебное пособие для студентов вузов / Э.Г. Давыдов. – М.: Высшая школа, 1990. – 383 с.
4. **Ху, Т.** Целочисленное программирование и потоки в сетях / Т. Ху. – М.: Мир, 1974. – 520 с.
5. Федеральный закон № 126-ФЗ «О связи» от 07.07.2003. (действующая редакция от 21.07.2014).
6. **Лазарев, Е.А.** Генетические алгоритмы оптимизации сети передачи данных / Е.А. Лазарев, П.В. Мисевич, Д.Е. Шапошников // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 4(46). – С. 59-63.
7. **Лазарев, Е.А.** Бикритериальная модель сети передачи данных / Е.А. Лазарев, П.В. Мисевич, Д.Е. Шапошников // Системы управления и информационные технологии. – 2011. – № 3.2(45). – С. 255-258.
8. **Лазарев, Е.А.** Метод ветвей и границ для оптимизации структуры сети передачи данных / Е.А. Лазарев, П.В. Мисевич, Д.Е. Шапошников // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2012. – Т. 10. – № 14. – С. 189-193.
9. **Костин, А.А.** Иерархическая потоковая модель и задачи планирования и модификации структуры сети передачи данных / А.А. Костин, Д.Е. Шапошников // Системы управления и информационные технологии. – 2014. – № 2(60). – С. 44-50.
10. **Таха, Х.А.** Введение в исследование операций / Х.А. Таха. – М.: Вильямс, 2005. – 912 с.
11. **Гермейер, Ю.Б.** Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. – М. Наука, 1971. – 384 с.
12. **Батищев, Д.И.** Многокритериальный выбор с учетом индивидуальных предпочтений / Д.И. Батищев, Д.Е. Шапошников. – Н. Новгород: ИПФ РАН, 1994. – 92 с.



13. **Батищев, Д.И.** Генетические алгоритмы решения экстремальных задач / Д.И. Батищев. – Н. Новгород: ННГУ, 1995. – 64 с.

*Дата поступления  
в редакцию: 12.10.2019*

**V.I. Khranilov<sup>1</sup>, D.E. Shaposhnikov<sup>2</sup>**

**MODEL OF MULTI-CRITERIA ASSESSMENT OF QUALITY OF SERVICES  
PROVISION BY DATA TRANSFER NETWORKS  
ACCORDING TO THE INTERESTS OF SUBSCRIBERS**

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.E. Alekseev<sup>1</sup>  
Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod<sup>2</sup>

**Purpose:** The article considers the problem of constructing an assessment of a data transmission network from the point of view of ensuring the technical quality of the provision of services for all subscribers, and for this purpose an optimization approach is proposed to analyze and obtain bandwidth indicators.

**Methodology:** A network streaming model of a data transmission network was used, and on its basis approaches were formulated and algorithms for evaluating the network throughput were implemented taking into account the multiplicity of interests of service recipients. Criteria of quality of service are constructed from the point of view of individual subscribers, which can be used both for a general assessment of the need for network modification, and for solving modification problems in various settings and by various methods.

**Value:** A multi-criteria model is proposed and justified for assessing the functioning of a data network from the point of view of providing services to various subscribers. The approaches to its solution are described, in particular, the use of methods for calculating mixed strategies in a game theory model. The technique is illustrated by an example of calculation.

**Research implications:** The proposed technique allows to build indicators of the quality of the data transmission network, considering the individual requirements of subscribers. This approach allows you to conduct a comprehensive analysis and decide on the need to modify the network and can also be used in the process of this modification.

*Key words:* data network, network streaming models, multicriteria quality assessment, optimization model, throughput.