



## *Performance evaluation and structure of the equipment of local computer networks*

### *Оценка производительности и состава оборудования локальных компьютерных сетей*

*Yakov Lvovich, Oleg Choporov, Yury Preobrazhenski*

*Яков Львович, Олег Чопоров, Юрий Преображенский*

#### **Abstract:**

---

*Computer networks are currently used in the transmission of information of various types. As the complexity used in network applications, there is an increase in bandwidth, reliability and network protection, the possibility of its effective management, and where possible, reduce the cost of operation. In the paper the consideration is being given to improve the performance of computer networks, both from the point of view of their cost, so the transfer of information. The paper presents an information system unit valuation a local area network. The database stores information about which types of local area networks, cables, network cards, switches, routers, bridges. To calculate the value of the local computer network use has been used the correlation approach. As input parameters were used: the type of traffic, the number of offices that host computers, number of computers in each classroom, the number of servers, the presence of floors. The output result is the equipment included in the designed local area network. For the vector of correlation coefficients using the standard procedure are the largest numbers that meet the required telecommunications facilities in accordance with the input parameters. The analysis methods used in the analysis of the characteristics of computer networks. The objective of the assessment for the computer network flow in the communication line between the neighboring routers, depending on the number of subscribers connected to each node, and the traffic intensity. Restrictions are the maximum value of the bandwidth of a certain area, and the performance of the node in the network. To estimate the maximum value of the traffic that is transmitted in a computer network, used simplex method that allows us to consider the performance of the switching*

nodes. A mathematical model is developed for assessing the capacity of communication channels given the amount of traffic transmitted in the switching nodes and the bandwidth of the switching nodes. The algorithm is implemented in the software product. On the basis of the obtained results it is possible to perform optimization under the given requirements, as the cost of computer networks, and traffic and bandwidth of its elements.

**Keywords:**

*Computer network, simulation, design, information security, performance.*

**ACM Computing Classification System:**

*Computer-communication networks-Network Architecture and Design  
Computer-communication networks-Distributed Systems  
Computer-communication networks-Local and Wide-Area Networks*

**Abstract:**

*Компьютерные сети в настоящее время используются при передаче информации различных типов. По мере усложнения применяемых в сети приложений происходит увеличение требований к пропускной способности, надежности и защите сети, возможности ее эффективного управления, и, по возможности, снижению стоимости эксплуатации. В работе рассматриваются возможности улучшения характеристик компьютерных сетей, как с точки зрения передачи информации, так и их стоимости. Проведен анализ методов, используемых при анализе характеристик компьютерных сетей. Сформулирована задача проведения оценки для компьютерной сети потока в линии связи между соседними маршрутизаторами в зависимости от числа абонентов, подключенных к каждому узлу, а также интенсивности трафика. Ограничениями являются максимальное значение по пропускной способности определенного участка, а также производительность узла в сети. Для оценки максимального значения величины трафика, который передается в компьютерной сети, использовался симплекс-метод. Разработана математическая модель оценки пропускной способности каналов связи с учетом объема трафика передаваемого в узлах коммутации и пропускной способности узлов коммутации. Алгоритм реализован в программном продукте. На основе полученных результатов можно проводить оптимизацию при заданных требованиях, как на стоимость компьютерной сети, так и трафика и пропускной способности ее элементов.*

*Проведена оценка стоимости локальной вычислительной сети. База данных хранит информацию об используемых типах локальных вычислительных сетей, кабелях, сетевых картах, коммутаторах, маршрутизаторах, мостах. Для расчета стоимости локальной вычислительной сети использовался корреляционный подход. В качестве входных параметров использовались: тип трафика, число кабинетов, в которых размещаются компьютеры, число компьютеров в каждом кабинете, число серверов, наличие этажей.*

*Выходным результатом является состав оборудования входящих в проектируемую локальную вычислительную сеть. Для вектора коэффициентов корреляции с помощью стандартной процедуры находятся максимальные элементы, номера которых соответствуют требуемым телекоммуникационным средствам, в соответствии с входными параметрами.*

**Keywords:**

*Компьютерная сеть, моделирование, проектирование, защита информации, производительность.*

▀ **Введение**

В настоящее время наблюдается ежегодный рост информационных потоков, и уже довольно трудно представить четкое взаимодействие банковских структур, промышленных предприятий, а также различных учреждений без современной вычислительной техники и компьютерных сетей [1].

Происходит развитие сетевой инфраструктуры, которая лежит в основе деятельности современных предприятий. При этом по мере усложнения применяемых в сети приложений происходит увеличение требований к пропускной способности, надежности и защите сети, возможности ее эффективного управления, и, по возможности, снижению стоимости эксплуатации.

При оптимизации структуры и параметров оборудования компьютерных сетей во многих случаях предпочтительным оказывается использование математического моделирования.

Целью работы является рассмотрение подходов, связанных с улучшением параметров сети при заданных ограничениях по пропускной способности ее элементов и по стоимости.

В соответствии с целью работы необходимо решить следующие задачи:

- провести анализ средств и топологий построения локальных вычислительных сетей;
- рассмотреть алгоритм оценки загрузки каналов связи с учетом производительности узлов и пропускной способности каналов;
- разработать алгоритм для оценки стоимости ЛВС.

▀ **1 Моделирование и исследование алгоритмов маршрутизации в компьютерных сетях**

**1.1 Методы моделирования локальных вычислительных сетей**

Применение математических методов обусловлено потребностью разработки моделей ЛВС с использованием соответствующих математических подходов [2, 3].

Имитационное моделирование позволяет рассматривать значительно большее число ситуаций в реальных компьютерных сетях, может быть оценено влияние различных параметров на характеристики систем [4, 5].

В ряде случаев имеется возможность измерения характеристик компьютерной сети. С этой целью применяются соответствующие аппаратно-программные средства [6].

При измерениях используются сетевые анализаторы, анализаторы протоколов, а также другие решения, которые позволяют смотреть и анализировать сетевой трафик на основе выбора и преобразования сетевых пакетов.

## 1.2 Математическое обеспечение подсистемы моделирования сетей

### 1.2.1 Постановка задачи

Необходимо разработать алгоритм позволяющий проводить оценку распределения клиентской нагрузки на сервер.

На рисунке 1 приведен пример структурной схемы компьютерной сети. В ее состав может входить сервер, который направлен на предоставление определенных видов услуг, маршрутизаторы, соединяющие узлы компьютерной сети, а также подсети, которые подключаются к маршрутизаторам, из этих подсетей идут запросы на сервер. Мы рассматриваем пример, но те подходы, которые мы используем, являются универсальными.

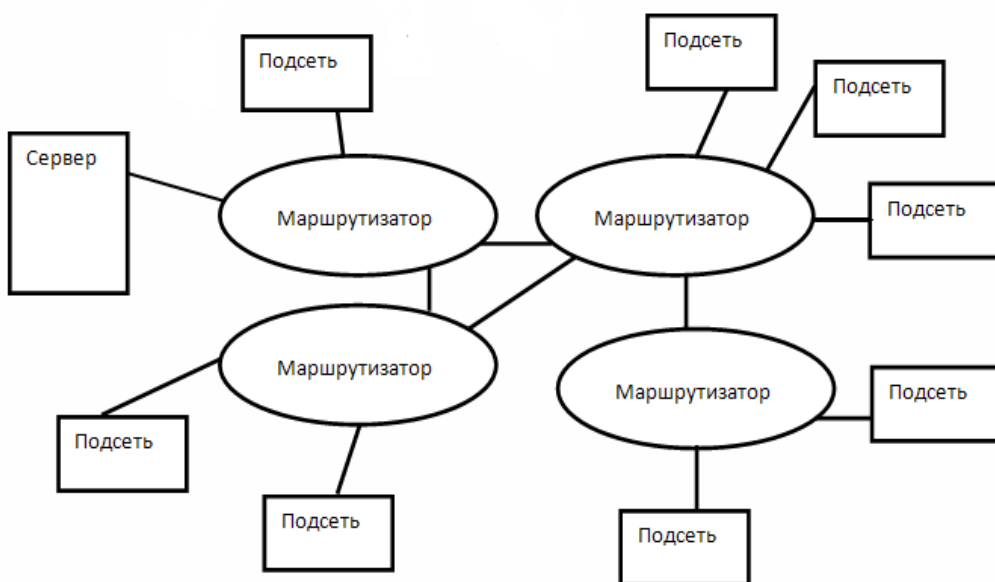


Рисунок 1. Пример структурной схемы сети

Ставится задача проведения оценки для компьютерной сети потока в линии связи между соседними маршрутизаторами в зависимости от числа абонентов, подключенных к каждому узлу, а также интенсивности трафика.

## 1.2.2 Параметры, влияющие на качество передачи информации

Когда рассматривается задача определения характеристик скорости некоторого сегмента или аппаратного устройства, не происходит разделение по видам трафика, в зависимости от участника передачи или типа передаваемой информации, а анализируется общий объем передаваемых данных. С другой стороны, представляет практически важный интерес детализация информации в сети, что может быть использовано для разработки соответствующих подходов управления компьютерной сетью [7, 8].

Пропускная способность дает описание максимально возможной скорости обработки трафика, которая задается стандартом технологии построения сети. С другой стороны, пропускная способность показывает максимально возможный объем данных, который может быть передан через сеть или какую-то ее часть в единицу времени.

Пропускная способность измеряется или в битах в секунду, или в пакетах в секунду.

Пропускная способность сети определяется тем, какая физическая среда передачи используется для решения задач. Среда передачи данных может включать в себя как кабельные, так и беспроводные технологии. С другой стороны, на пропускную способность оказывают влияние способы передачи данных (например, АТМ или FastEthernet). Пропускная способность может характеризовать то, какие технологии реализованы в сети.

В отличие от времени реакции или скорости передачи трафика пропускная способность не зависит от загруженности сети и имеет заданное значение, зависящее от применяемых в сети технологий.

Качество работы сети зависит от множества параметров: защищенность, совместимость, надежность, управляемость, производительность, расширяемость, а также масштабируемость. Можно выделить главные из параметров, связанных с передачей трафика – величину максимальной задержки передачи и вариацию задержки. Следует отметить, что в ряде случаев может существовать слабая зависимость передаваемых данных от задержек при передаче.

Например, это может быть при отправке электронной почты, отправке задания на печать документа.

Но в ряде случаев задержки ведут к заметным снижениям качества информации (аудио- или видеоданные).

Как показывает анализ, в технологии Ethernet, для различных стандартов физического уровня, отмечают понятие домена коллизий. Им является каждый сегмент сети. Мост является разграничителем между различными коллизионными доменами.

## 1.3 Математическое описание алгоритма оценки устойчивости узлов коммутации

Мы будем опираться на такую модель сети передачи данных, которая содержит в себе  $N$  узлов, а также  $(N-1)$  линий коммуникации. Предполагается, что:

- все линии коммуникации абсолютно надежны;
- все линии коммуникации помехоустойчивы;

- узлы имеют бесконечную память;
- время обработки в узлах весьма мало, им можно пренебречь;
- трафик в сети может быть представлен в виде потока сообщений, которые с одинаковым приоритетом, этот поток имеет пуассоновское распределение со средним значением  $\gamma_i$  (сообщений/сек) для сообщений, которые передаются по каналу связи.

Исходя из сказанного, в качестве целевой функции мы будем считать пропускную способность участка сети, который состоит из N отдельных участков, приведен пример, когда рассматривается число участков N=6 (рис. 2, рис. 3), измеряемую в байтах/сек (1).

$$\sum_{i=1}^N x_i \rightarrow \max \tag{1}$$

где  $x_i$  [байт/сек] – определяет пропускную способность i-го участка сети.

Ограничениями являются максимальное значение по пропускной способности участка (2), а также производительность узла в сети (3).

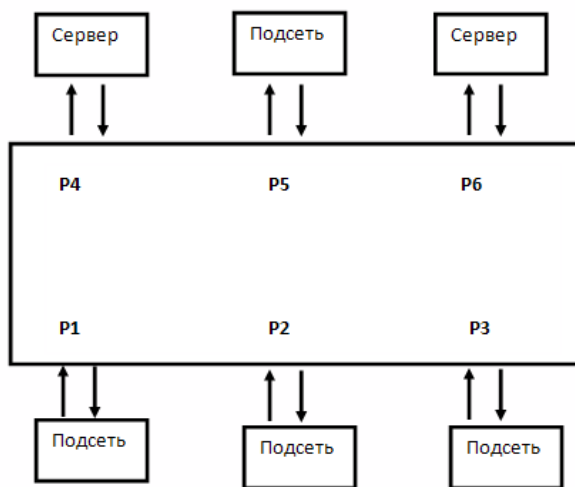


Рисунок 2. Распределение трафика в сети, построенной на коммутаторе

	1	2	3	4	5	6
1	0	$p_{12}$	$p_{13}$	$p_{14}$	$p_{15}$	$p_{16}$
2	$p_{21}$	0	$p_{23}$	$p_{24}$	$p_{25}$	$p_{26}$
3	$p_{31}$	$p_{32}$	0	$p_{34}$	$p_{35}$	$p_{36}$
4	$p_{41}$	$p_{42}$	$p_{43}$	0	$p_{45}$	$p_{46}$
5	$p_{51}$	$p_{52}$	$p_{53}$	$p_{54}$	0	$p_{56}$
6	$p_{61}$	$p_{62}$	$p_{63}$	$p_{64}$	$p_{65}$	0

Рисунок 3. Матрица средних значений интенсивностей трафика

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 \cdot \sum_{j=1}^M N_j \cdot \gamma_j < d_1 \\ x_2 \cdot \sum_{j=1}^M N_j \cdot \gamma_j < d_2 \\ \dots \\ x_N \cdot \sum_{j=1}^M N_j \cdot \gamma_j < d_N \end{array} \right. \quad (2)$$

где  $N_j$  – количество пользователей в узле коммутации  $j$ ,  $\gamma_j$  – [сообщений/сек] поступающих в узел коммутации  $j$  от пользователей,  $d_i$  – ограничение по трафику для  $i$ -го участка сети.

$$\left\{ \begin{array}{l} x_1 \cdot \sum_{j=1}^M N_j \cdot p_{ij} < B_1 \\ x_2 \cdot \sum_{j=1}^M N_j \cdot p_{ij} < B_2 \\ \dots \\ x_N \cdot \sum_{j=1}^M N_j \cdot p_{ij} < B_N \end{array} \right. \quad (3)$$

где  $p_{ij}$  – интенсивность трафика  $j$ -го пользователя на  $i$ -м участке сети,  $B_i$  – производительность узла коммутации на  $i$ -м участке сети.

Для оценки максимально значения величины трафика, который передается в компьютерной сети, можно воспользоваться симплекс-методом.

Симплекс метод представляет собой универсальный метод для решения линейной системы уравнений или неравенств и линейного функционала [9, 10].

## 2 Оценка стоимости компьютерной сети

### 2.1 Общая структура разрабатываемой подсистемы

На рисунке 4 приведена информационная модель системы оценки стоимости локальной вычислительной сети (ЛВС).

«Главное окно» предназначено для организации взаимодействия пользователя программного средства с ЭВМ, в котором содержатся основные функции управления.

«Пользователь» – осуществляет ввод информации и формирование запросов к базе данных (БД), в случае если требуется просмотреть существующую информацию в БД, или к блоку расчета, который осуществляет расчет стоимости проектируемой ЛВС, в соответствии с параметрами заданными пользователем.

«База данных» – хранит в себе всю необходимую информацию, структура БД и состав будет представлено ниже. В БД также возможно внести информацию об используемом оборудовании.

На основе запросов пользователя формируются различные отчеты, которые отображаются в браузере.

В состав базы данных, которая обеспечивает хранение информации в информационной системе расчета стоимости локальной вычислительной сети, входит 6 таблиц (рис. 5):

1. «ЛВС»; 2. «Кабели»; 3. «Сетевые карты»; 4. «Коммутаторы»; 5. «Маршрутизаторы»; 6. «Мосты».

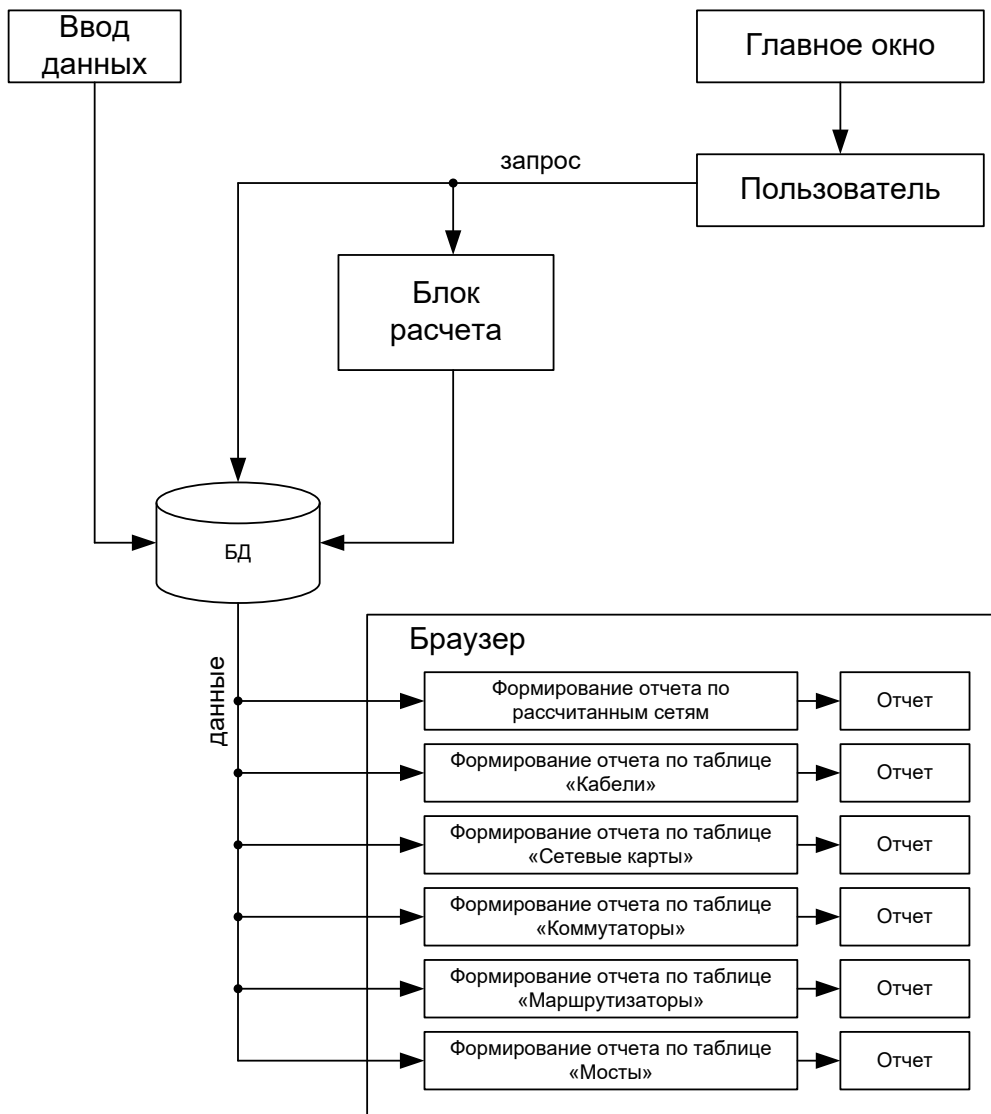


Рисунок 4. Информационная модель системы оценки стоимости ЛВС

Таблица «ЛВС» считается основной, поскольку она предназначена для хранения информации о рассчитанных сетях, включает в себя следующие поля (табл. 1):

- «Номер проекта» – уникальное значение, которое определяет разработанный проект сети;
- «Дата» – определяет дату разработки;
- «Организация» – содержит информацию о наименовании организации-заказчика проекта;
- «Стоимость» – используется для хранения стоимости разработанного проекта;
- «Тип кабеля» – используются для хранения информации типе используемого кабеля;
- «Количество» – количество кабеля используемого при проектировании сети;
- «Тип сетевой карты» – используются для хранения информации типе используемых сетевых карт;
- «Количество» – количество сетевых карт используемых при проектировании сети;
- «Тип коммутатора» – содержит информацию о типе используемого коммутатора;
- «Количество» – количество коммутаторов используемых при проектировании сети;
- «Тип маршрутизатора» – используются для хранения информации типе используемых маршрутизаторов;
- «Количество» – количество маршрутизаторов используемых при проектировании сети;
- «Тип моста» – используются для хранения информации типе используемых мостов;
- «Количество» – количество мостов используемых при проектировании сети.

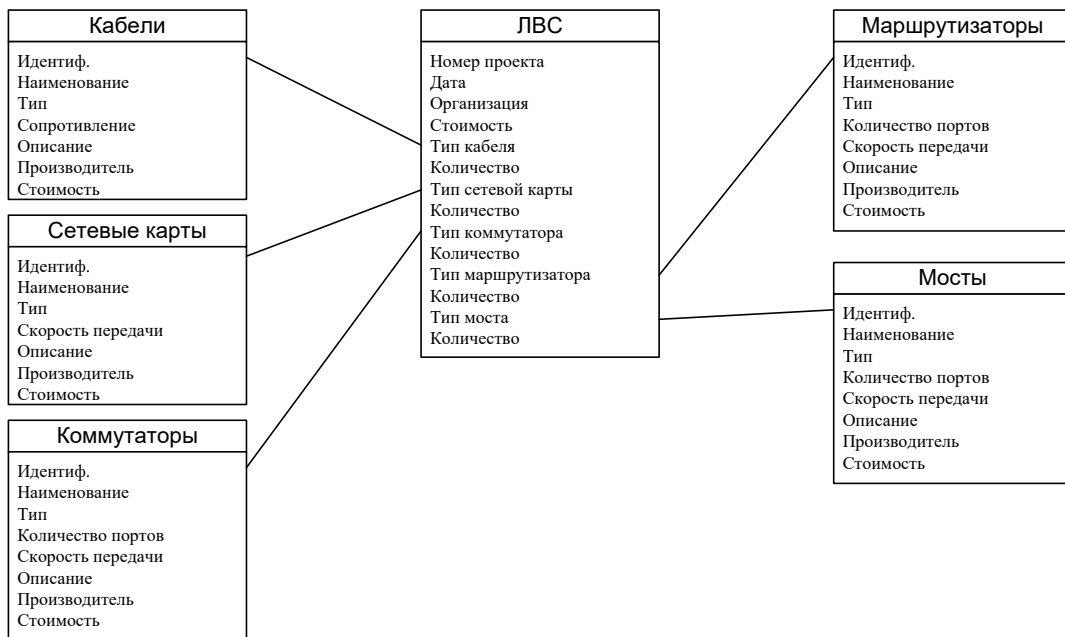


Рисунок 5. Структура базы данных

Таблица 1. Таблица «ЛВС»

Наименование поля	Тип данных
Номер проекта	Текстовый
Дата	Дата/Время
Организация	Текстовый
Стоимость	Денежный
Тип кабеля	Текстовый
Количество	Числовой
Тип сетевой карты	Текстовый
Количество	Числовой
Тип коммутатора	Текстовый
Количество	Числовой
Тип маршрутизатора	Текстовый
Количество	Числовой
Тип моста	Текстовый
Количество	Числовой

Для хранения информации о видах кабеля, которые возможно использовать при проектировании используется таблица «Кабели», которая включает в себя следующие поля (табл. 2):

- «Идентиф.» – уникальное значение, которое определяет позицию в БД;
- «Наименование» – название кабеля;
- «Тип» – содержит информацию о соответствующем кабеле;
- «Сопротивление» – определяет характеристику (волновое сопротивление) кабеля;
- «Описание» – содержит краткое описание используемого кабеля, с указанием основных его параметров;
- «Производитель» – содержит информацию о производителе кабеля;
- «Стоимость» – определяет стоимость кабеля.

Таблица 2. Таблица «Кабели»

Наименование поля	Тип данных
Идентиф. (уник)	Текстовый
Наименование	Текстовый
Тип	Текстовый
Сопротивление	Числовой
Описание	Текстовый
Производитель	Текстовый
Стоимость	Числовой

Для хранения информации о сетевых картах, которые возможно использовать при проектировании используется таблица «Сетевые карты», которая включает в себя следующие поля (табл. 3):

- «Идентиф.» – уникальное значение, которое определяет позицию в БД;
- «Наименование» – название сетевой карты;
- «Тип» – содержит информацию о соответствующей сетевой карте;
- «Скорость передачи» – определяет скорость, на которой передавать данные;
- «Описание» – содержит краткое описание используемой сетевой карты, с указанием основных параметров;
- «Производитель» – содержит информацию о производителе сетевой карты;
- «Стоимость» – определяет стоимость сетевой карты.

Таблица 3 – Таблица «Сетевые карты»

Наименование поля	Тип данных
Идентиф. (уник)	Текстовый
Наименование	Текстовый
Тип	Текстовый
Скорость передачи	Числовой
Описание	Текстовый
Производитель	Текстовый
Стоимость	Числовой

Для хранения информации о коммутаторах, которые возможно использовать при проектировании используется таблица «Коммутаторы», которая включает в себя следующие поля (табл. 4):

- «Идентиф.» – уникальное значение, которое определяет позицию в БД;
- «Наименование» – коммутатора;
- «Тип» – содержит информацию о соответствующем коммутаторе;
- «Количество портов» – хранит информацию о количестве портов для подключения ЭВМ;
- «Скорость передачи» – определяет скорость, на которой могут передаваться данные;
- «Описание» – содержит краткое описание используемого коммутатора, с указанием основных параметров;
- «Производитель» – содержит информацию о производителе коммутатора;
- «Стоимость» – определяет стоимость коммутатора.

Таблица 4. Таблица «Коммутаторы»

Наименование поля	Тип данных
Идентиф. (уник)	Текстовый
Наименование	Текстовый
Тип	Текстовый
Количество портов	Числовой
Скорость передачи	Числовой
Описание	Текстовый
Производитель	Текстовый
Стоимость	Числовой

Для хранения информации о маршрутизаторах, которые возможно использовать при проектировании используется таблица «Маршрутизаторы», которая включает в себя следующие поля (табл. 5):

- «Идентиф.» – уникальное значение, которое определяет позицию в БД;
- «Наименование» – название маршрутизатора;
- «Тип» – содержит информацию о соответствующем маршрутизаторе;
- «Количество портов» – хранит информацию о количестве портов для подключения ЭВМ;
- «Скорость передачи» – определяет скорость, на которой могут передаваться данные;
- «Описание» – содержит краткое описание используемого маршрутизатора, с указанием основных параметров;
- «Производитель» – содержит информацию о производителе маршрутизатора;
- «Стоимость» – определяет стоимость маршрутизатора.

Таблица 5 – Таблица «Маршрутизаторы»

Наименование поля	Тип данных
Идентиф. (уник)	Текстовый
Наименование	Текстовый
Тип	Текстовый
Количество портов	Числовой
Скорость передачи	Числовой
Описание	Текстовый
Производитель	Текстовый
Стоимость	Числовой

Для хранения информации о мостах, которые возможно использовать при проектировании используется соответствующая таблица, которая включает в себя следующие поля (табл. 6):

- «Идентиф.» – уникальное значение, которое определяет позицию в БД;
- «Наименование» – название моста;
- «Тип» – содержит информацию о соответствующем мосте;
- «Количество портов» – хранит информацию о количестве портов;
- «Скорость передачи» – определяет скорость, на которой могут передаваться данные;
- «Описание» – содержит краткое описание используемого моста, с указанием основных параметров;
- «Производитель» – содержит информацию о производителе моста;
- «Стоимость» – определяет стоимость моста.

Таблица 6 – Таблица «Мосты»

Наименование поля	Тип данных
Идентиф. (уник)	Текстовый
Наименование	Текстовый
Тип	Текстовый
Количество портов	Числовой
Скорость передачи	Числовой
Описание	Текстовый
Производитель	Текстовый
Стоимость	Числовой

## 2.2. Алгоритм расчета параметров и поиска требуемого оборудования

Для расчета стоимости локальной вычислительной сети воспользуемся коэффициентами корреляции. В качестве входных параметров выделим следующие:

1. Тип трафика (мультимедиа, обмен сообщениями, и т.п.) ( $\eta_1$ ) [11, 12]. 2. Количество кабинетов, в которых будут ЭВМ ( $\eta_2$ ). 3. Количество компьютеров в каждом кабинете ( $\eta_3$ ). 4. Количество серверов ( $\eta_4$ ). 5. Наличие этажей ( $\eta_5$ ).

Блок-схема расчета стоимости ЛВС приведена на рис. 6. Используются следующие обозначения:  $\vec{\alpha}_\Pi$  – вектор, каждый из элементов которого являются соответствующие входные параметры;  $\vec{\alpha}_{ВП}$  – вектор, содержащий зависимости между параметрами  $\eta_1, \eta_2, \eta_3, \eta_4, \eta_5$  для их различных комбинаций и значений в БД;  $k$  – коэффициент корреляции [13, 14].

Выходным результатом является состав оборудования входящих в проектируемую ЛВС, дающих максимальное значение коэффициента корреляции. Рассмотрим алгоритм расчета состава оборудования:

1. Ввод входных параметров.
2. Рассчитываются коэффициенты корреляции для каждого типа оборудования;
3. На основе принципа максимума коэффициента корреляции выбирается наиболее подходящий вид оборудования.
4. Вывод результата.

На первом шаге задаются входные параметры, которые впоследствии используются для расчёта состава оборудования.

Процесс нахождения необходимого оборудования, сводится к выполнению следующей процедуры отыскания максимума коэффициента корреляции.

$$k_{\text{Max}} = \frac{\int_{S_1 S_2 \dots S_L} \vec{\alpha}_\Pi(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_L) \vec{\alpha}_{ВП}(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_L) d\eta_1 d\eta_2 \dots d\eta_L}{\sqrt{\int_{S_1 S_2 \dots S_L} \vec{\alpha}_\Pi(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_L)^2 d\eta_1 d\eta_2 \dots d\eta_L \times \int_{S_1 S_2 \dots S_L} \vec{\alpha}_{ВП}(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_L)^2 d\eta_1 d\eta_2 \dots d\eta_L}}, \quad (4)$$

где  $S_1, S_2, \dots, S_L$  – области изменения параметров (например, диапазон изменения полезного трафика, число рабочих мест в организации, число маршрутизаторов и т. д.)  $(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_L)$ ,  $L=5$ .

То есть, требуется провести перебор различных возможных вариантов для  $(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_L)$ ,  $L=5$ , которыми мы располагаем, и выбрать из них тот вариант, который соответствует максимуму коэффициента корреляции.

## ▲ Выводы

Разработана информационная модель системы расчета стоимости оборудования. Обоснована структура базы данных, для хранения информации о типах используемого оборудования. Разработан алгоритм расчета состава оборудования ЛВС на основе корреляционного анализа. Разработана математическая модель оценки пропускной способности каналов связи с учетом объема трафика передаваемого в узлах коммутации и пропускной способности узлов коммутации. Алгоритм реализован в программном продукте.

На основе полученных результатов можно проводить оптимизацию при заданных требованиях, как на трафик и пропускную способность ее элементов, так и на стоимость компьютерной сети.

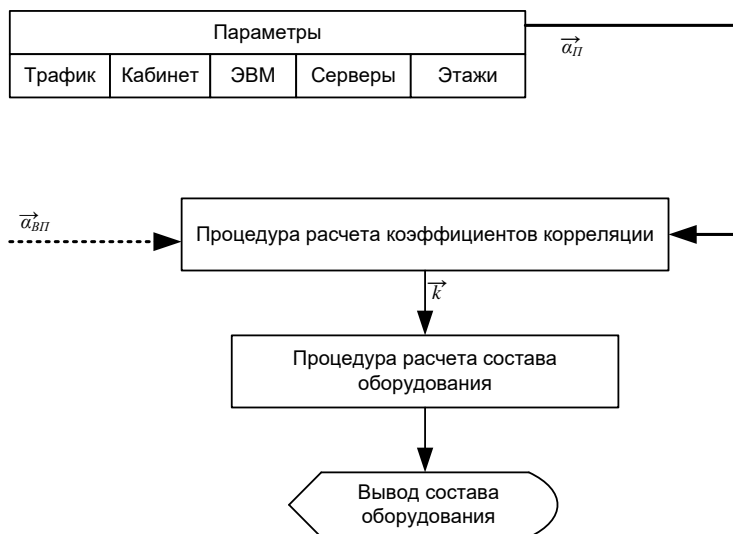


Рисунок 6. Блок-схема расчета состава оборудования

## Литература

- [1] Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы // В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. – СПб.: Питер, 2010. – 943 с.
- [2] Ермолова В. В. Архитектура системы обмена сообщений в немаршрутизируемой сети / В. В. Ермолова, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2010. – № 7. – С. 79-81.
- [3] Воронов А. А. Обеспечение системы управления рисками при возникновении угроз информационной безопасности / А. А. Воронов, И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. А. Воронов // Информация и безопасность. – 2006. – Т. 9. – № 2. – С. 8-11.
- [4] Зяблов Е. Л. Разработка лингвистических средств интеллектуальной поддержки на основе имитационно-семантического моделирования / Е. Л. Зяблов, Ю. П. Преображенский // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2009. – № 5. – С. 024-026.
- [5] Львович И. Я. Основы информатики. Учебное пособие / И. Я. Львович, Ю. П. Преображенский, В. В. Ермолова. – Воронеж, Воронежский институт высоких технологий, 2014. – 339 с.

- [6] Пахомова А. С. Целенаправленные угрозы компьютерного шпионажа: признаки, принципы и технологии реализации / А. С. Пахомова, О. Н. Чопоров, К. А. Разинкин // Информация и безопасность. – 2013. – Т. 16. – № 2. – С. 211-214.
- [7] Атаки на информационно-технологическую инфраструктуру критически важных объектов: оценка и регулирование рисков: монография / А. О. Калашников [и др.]; под ред. чл.-корр. РАН Д.А. Новикова. – Воронеж, ООО «Научная книга» (Воронеж), 2013. – 159 с.
- [8] Ашманов С. А. Линейное программирование / С. А. Ашманов. – М.: Наука, 1981.
- [9] Гасс С. Линейное программирование / С. Гасс. М.: Физматгиз, 1961.
- [10] Гольштейн Е. Г. Линейное программирование: Теория, методы и приложения / Е. Г. Гольштейн, Д. Б. Юдин. – М.: Наука, 1969.
- [11] Preobrazhenski A. P. The models of information transmission in computer networks / A. P. Preobrazhenski // Вестник Воронежского института высоких технологий. – 2016. – № 2 (17). – С. 91-93.
- [12] Заборовский В. С. Сети ЭВМ и Телекоммуникации. Анализ трафика в сетях коммутации пакетов. Учеб. пособие / В. С. Заборовский, В. А. Мулюха, А. Г. Новопащенко // СПб: Изд-во СПбГПУ, 2010. – 87 с.
- [13] Кремер Н. Ш. Исследование операций в экономике: Учеб. пособие для вузов / Н. Ш. Кремер, Б. А. Путко, И. М. Тришин, М. Н. Фридман; Под ред. проф. Н. Ш. Кремера. – М: ЮНИТИ, 2002. – 407 с.
- [14] Гмурман В. Е. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебное пособие для вузов / В. Е. Гмурман. – Москва: Высшая школа, 2004. 479 с.

.....

**Prof. Yakov Lvovich**

Doctor of Sciences (Engineering), Professor,  
Voronezh Institute of High Technologies  
E-mail: ya-e-lvovich@vvt.ru

**Prof. Oleg Choporov**

Doctor of Sciences (Engineering), Professor,  
Voronezh Institute of High Technologies  
E-mail: choporov\_oleg@mail.ru

**Yury Preobrazhenski**

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,  
Voronezh Institute of High Technologies  
E-mail: yup@vvt.ru