

## ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ МУЛЬТИСЕРВИСНОЙ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТА ОТ ВВЕДЕНИЯ ПРИОРИТИЗАЦИИ ТРАФИКА

© 2019 Н. А. Рындин

*Воронежский государственный технический университет (г. Воронеж, Россия)*

*Рассмотрены вопросы создания мультисервисных корпоративных сетей на примере многосегментных кампусных телекоммуникационных систем. При этом основным критерием оценки качества структуры таких систем предлагается использовать затраты на разработку и внедрение сети. Предлагается модель многосегментной сети в виде графа: множеству узлов сети соответствуют вершины графа; множеству каналов связи между узлами соответствуют ребра связи. Характеристиками узлов сети являются: количество узлов и все предполагаемые места размещения коммутационных устройств; предполагаемую интенсивность потоков пакетов между узлами системы; множество скоростей; множество доступных для создания сети моделей коммутационных устройств. Характеристиками каналов передачи данных являются: дискретное количество возможных скоростей в каналах; матрица стоимостей каналов передачи данных между всеми узлами системы. Таким образом, введение приоритезации трафика позволяет снизить требования к пропускной способности каналов связи и спроектировать сеть с минимальными затратами.*

*Ключевые слова: мультисервисная телекоммуникационная система, многосегментная кампусная сеть (МКС), приоритезация трафика, критерий суммарные затраты на создание сети, модель пропускной способности канала.*

Задача оптимизации структуры многосегментных телекоммуникационных систем является актуальной и практически нужной для сокращения стоимости проектирования и эксплуатации производственных сетей предприятий и организаций. Спецификой этой задачи является большая размерность и целочисленность параметров структуры сети. Классификацию вычислительной сети производят исходя из количества и размеров производственных подразделений в сети (рис. 1). Как видно из рисунка 1 можно провести проектирование структуры телекоммуникационной системы поэтапно, обеспечив оптимальный вариант каждой части и интеграцию частей, учитывая независимость их друг от друга по совокупности параметров и критериев оптимальности каждого элемента.

Кампусные сети включают в себя множество локальных систем подразделений предприятия, расположенных в одном или в нескольких рядом стоящих зданиях, т. е. включают в себя множество сегментов.

Такие сети называют многосегментными кампусными сетями (МКС). При создании МКС используются высокоскоростные сетевые

технологии передачи данных. При этом, в таких сетях крайне редко используются технологии магистральных каналов, основанные на протоколах Frame Relay, ISDN, SDH и т. д. Корпоративная информационная система включает в себя все локальные вычислительные сети и ресурсы организации. Для их объединения часто используют глобальные сети передачи данных [1, 5].



Рисунок 1. Классификация вычислительных сетей

Задача проектирования МКС сложна вследствие ее высокой размерности, определяемой большим количеством пользователей и сетевых устройств, которая достигает нескольких тысяч. При проектировании гетерогенных систем возникают дополнительные трудности, связанные с тем, что при объединении узлов сети требуется определить не только способ соединения этих узлов, но и сетевую технологию, которая будет использоваться при объединении сетей. При создании мультисервисной корпоратив-

Рындин Никита Александрович – Воронежский государственный технический университет, к. т. н, доцент, hrinfaxi@icloud.com.

ной телекоммуникационной системы необходимо учитывать скорость передачи данных, стоимость аренды каналов связи и коммуникационного оборудования, параметры сетевых устройств, требования заказчика к пропускной способности каналов связи, требования к надежности сети и к задержкам передачи IP-пакетов данных.

Задачи проектирования корпоративных сетей включают в себя задачу проектирования магистральных каналов связи и задачу проектирования МКС (рис. 2).

Первая – это разработка проекта магистральной подсети, состоящей из глобальных соединений и каналов связи. Вторая – разработка проекта кампусных сетей различной сложности для отдельных объектов корпоративной структуры, т. е. МКС. Таким образом, задача оптимизации корпоративной телекоммуникационной системы отличается от задачи оптимизации МКС наличием дополнительных требований выбора способа объединения кампусных сетей при помощи глобальных соединений.

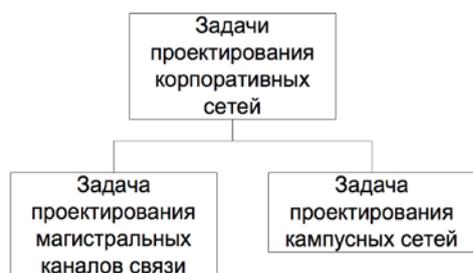


Рисунок 2. Задачи проектирования телекоммуникационных систем.

**Материалы и методы.** Рассмотрим особенности процесса проектирования много сегментных кампусных сетей (МКС). Так как, кампусные сети, обычно охватывают небольшую территорию, то при их разработке используют высокоскоростные технологии. Магистральные каналы связи внутри кампусных сетей не применяются.

Сложностью проектирования МКС является большая размерность решаемой задачи, являющейся NP-полной. Поэтому целесообразно на этапах предпроектных исследований использовать оценочные методы. МКС обычно включает в себя сетевые устройства и каналообразующее оборудование различных производителей что затрудняет использование классических моделей систем массового обслуживания (СМО), т. к. пропускная способность, задержка и другие параметры у этих устройств существенно отличаются. При изменении топологии проектируемой сети, такие математические моде-

ли перестают быть эффективными. Поэтому, при разработке проекта МКС рекомендуется учитывать гетерогенность сети, т. е. возможность использования различных сетевых технологий.

В качестве магистральных коммуникационных устройств в МКС применяют коммутаторы третьего уровня, позволяющие фильтровать широковещательный трафик, и обладающих большим быстродействием, чем сетевые маршрутизаторы.

Кабельную систему зданий, которая является основой для МКС, рекомендуется проектировать в соответствии с международными стандартами ISO/IEC 11801, TIA/EIA-568-A, в которых определены основные характеристики структурированной кабельной сети (СКС). В качестве основной топологии СКС корпоративной информационной системы рекомендуется применять древовидную структуру, узлами которой являются специализированные (кроссовые) помещения на этажах здания, соединенные между собой электрическими и оптическими кабелями [1].

Пропускные способности каналов связи МКС имеют дискретные значения (10 Мбит/с, 100 Мбит/с, 1 Гбит/с). Поэтому мы не можем проводить аппроксимацию пропускной способности каналов связи при поиске оптимальных значений параметров МКС.

В качестве критерия оптимальности структуры МКС выберем суммарные затраты на ее создание. Исходными данными для проектирования и создания МКС являются: расположение рабочих мест сотрудников, возможные места расположения коммутаторов, пути прохождения кабельных каналов, множество используемых сетевых технологий и соответствующий им набор пропускных способностей каналов связи. Сетевые технологии выбираются исходя из требований по совместимости, масштабируемости, надежности и управляемости МКС. Множество возможных типов коммутаторов описывается соответствующим модельным рядом производителя. Следующими исходными данными являются сетевые приложения, т. е. прикладное программное обеспечение пользователей, определяющие интенсивность трафика в сети.

Требуется найти наименьшую по стоимости структуру МКС: пропускные способности каналов связи; в расположение, количество и конкретные модели сетевых коммутаторов, количество и принадлежность рабочих мест к определенному сегменту сети.

При разработке математической модели МКС представим ее в виде объекта с множествами входных и выходных параметров, а также множеством ограничений. Множество входных параметров задается в виде ТЗ на этапе проектирования сети. Множество выходных параметров - это показатели производительности, надежности и суммарной стоимости МКС.

Структура кампусной сети может быть представлена в виде графа  $G=(U,K)$ , где  $U$  – вершины графа, соответствующие узлам сети;  $K$  – ребра графа, соответствующие каналам связи.  $U$  множество состоит из двух подмножеств  $U = A \cup B$ , где подмножество  $A$  соответствует абонентам кампусной сети, а подмножество  $B$  включает в себя все коммутационные устройства сети.

Входные параметры включают в себя множества параметров узлов кампусной сети, параметров каналов связи, и параметров коммуникационного оборудования выбранного модельного ряда.

Характеристиками узлов сети являются:

1.  $n$  – общее количество узлов кампусной сети  $u_i \in U$ . В число узлов кампусной сети входят абоненты кампусной сети и все места предполагаемого размещения коммутаторов.  $n = n_1 + n_2$ , где  $n_1$  – количество абонентов кампусной сети или размерность множества  $A$ ,  $n_2$  – количество коммутаторов сети или размерность множества  $B$ .

2. Каждый абонент может включать в себя множество различных устройств, имеющих различные сетевые адреса. Количество таких устройств, характеризующих абонента  $a_i$  обозначим  $m_i^a$ .

3. Предполагаемую интенсивность информационных потоков данных между узлами сети (это потоки данных между рабочими станциями и серверами сети) запишем в виде матрицы  $\|\Lambda\|$  размерностью  $n$ . Элементами матрицы являются  $\lambda_{ij}$  – средняя предполагаемая интенсивность потока данных в между узлами  $i$  и  $j$ . Если не предполагается обмен данными между какими-либо двумя абонентами, то этот элемент матрицы равен нулю. Расчет предполагаемых потоков данных информационного обмена осуществляется на основе данных о работе сетевых приложений, которые установлены у абонентов сети.

4. Множество скоростей передачи данных, которые используются абонентом  $a_i$  обозначим как  $V(a_i)$ . В это множество входит набор сетевых технологий, с которыми работает абонент  $a_i$ .

5. Множество имеющихся и используемых для проектирования сети коммутаторов

$$M = \{m_1, m_2 \dots m_{n_m}\},$$

где  $n_m$  – размерность множества  $M$ .

Характеристиками каналов передачи данных являются:

1.  $V$  – множество возможных скоростей передачи данных. Скорости  $v_i$  зависят от выбранной сетевой технологии, используемой при проектировании МКС. Для Ethernet сетей скорости передачи данных составляют 10 Мбит/с, 100 и 1 Гбит/с. Если выбрана технология Token Ring, то в это множество добавляются скорости 4 Мбит/с и 16Мбит/с. Размерность множества  $V$  обозначим  $n_v$ .

2.  $\|c(u_i)\|$  – стоимости каналов передачи данных между всеми узлами МКС для скорости  $v_i$ , определяемой выбранной сетевой технологией. Выбор сетевой технологии определяется заданными скоростями передачи данных. Стоимость канала  $c_{ij}(u_i)$  зависит от длины кабельной трассы, категории кабеля, общей длины канала связи. Она задается для каждой сетевой технологии, которая используется при проектировании МКС. Идентификатором выбранной сетевой технологии для канала передачи данных  $k_{ij}$  является скорость передачи данных  $v(k_{ij})$ . Таким образом, необходимо задать стоимости каналов передачи данных для каждого значения из возможного множества скоростей  $v_i \in V$ . При формировании ТЗ необходимо составить  $n_v$  таких матриц для каждого значения скорости. Если между отдельными элементами сети невозможно проложить канал связи (например, отсутствие кабельной трассы) то считается что стоимость связи равна  $\infty$ .

Каждая модель коммутатора  $m_i \in M$  характеризуется следующими параметрами:

1.  $c_j^c$  – стоимость модели  $m_i$
2.  $m_i^c$  – общее число портов модели  $m_i$ .
3. Поддержка возможности объединения устройств в стек задается величиной  $s_i^c$ :

$$s_i^c = \begin{cases} 1, & \text{если возможно подключение в стек} \\ 0, & \text{если подключение в стек не возможно} \end{cases}$$

4.  $l_i^c$  – средняя длина кадра модели  $m_i$  в битах.
5.  $l^p$  – средняя длина пакета в сети.
6.  $(vk)_i^{\max}$  – максимальная скорость продвижения кадров модели  $m_i$ .

7.  $P_i^c$  - пропускная способность системной шины модели  $m_i$  в битах/с

8.  $m_i^c(v_i)$  - число портов модели  $m_i$ , работающих со скоростью  $v_i$ .

9. Возможность обобщения связей  $m_i$

задается переменной  $\alpha_i^c$ :  $\alpha_i^c = 1$ , если коммутатор поддерживает агрегирование связей и  $\alpha_i^c = 0$ , в противном случае.

10.  $W_i^c$  - мощность адресной таблицы модели  $m_i$ .

Определим теперь управляющие параметры МКС.

1. Топология сети описывается с помощью симметричной квадратичной матрицы количества связей  $\|Y\|$  размерностью  $n$ . Элементы матрицы  $y_{ij}$  - это число каналов между узлами  $u_i$  и  $u_j$ . При разработке проекта сети необходимо учитывать, что, если между двумя узлами сети агрегирование связей допустимо, то при этом возможна установка нескольких каналов связи между ними.

2. Пропускную способность каналов связи зададим с помощью матрицы показателей скоростей передачи данных в каналах  $\|P\|$ . Причем элементы  $P_{ij}$  равны значению скорости передачи данных в одном канале связи между узлами  $u_i$  и  $u_j$ :  $P_{ij} = v(k_{ij})$ .

При этом скорость передачи данных между узлами сети  $u_i$  и  $u_j$  определяется как сумма скоростей:

$$P_{ij} \sum = y_{ij} P_{ij} \quad (1)$$

3. Опишем множество коммуникационных устройств SW, в котором каждому коммутатору соответствует один элемент из множества возможных моделей M:

$$sw_i = m_j, i = 1, \dots, n_c; j = 1, \dots, n_m \quad (2)$$

Для оценки эффективности методов приоритизации трафика в МКС в контексте базовой модели канала передачи данных будем использовать систему массового обслуживания (СМО) с неоднородным потоком пакетов  $n$  типов, поступающих в канал связи с интенсивностями  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$ .

Обозначим через  $V$  - пропускную способность канала передачи данных, а через  $L_i$  - среднюю длину IP-пакета  $i$ -типа. Для слу-

чая, когда IP-пакеты одного класса имеют одинаковую длину, а потоки являются простейшими, задержка пакета  $i$ -типа при использовании метода управления трафиком на основе относительных приоритетов рассчитывается по формуле:

$$\tau_i = \frac{\sum_{j=1}^n \lambda_j L_j^2}{(V - \sum_{j=1}^{i-1} \lambda_j L_j)(V - \sum_{j=1}^i \lambda_j L_j)} + \frac{L_i}{V} \quad (3)$$

**Обсуждение.** Таким образом, можно сделать следующий вывод: для обеспечения минимальной задержки IP- пакетов всех типов в канале связи необходимо предоставлять приоритет пакетам с минимальной длиной. Как видно из (3), при большой загрузке канала низкоприоритетные IP-пакеты имеют практически недопустимые задержки. При увеличении пропускной способности канала передачи данных в 1,5 раза задержки для высокоприоритетных IP-пакетов уменьшаются более чем в два, а для низкоприоритетных - более чем в десять раз.

Одной из важных задач, решаемых на этапе проектирования МКС, является определение требований к пропускным способностям каналов передачи данных [4,5]. Эти требования определяются нагрузкой, создаваемой передаваемыми IP- пакетами приложений пользователей МКС, и ограничениями, налагаемыми на задержки высокоприоритетных пакетов, к которым относятся, например, видео и голосовые IP- пакеты.

Рассмотрим случай, когда ограничения заданы на среднее время задержки видео IP-пакетов, имеющих высший (первый) приоритет, в виде  $\bar{\tau}_i < \tau_i^*$ .

Допустим, что длины IP-пакетов всех типов одинаковы ( $L_i = L$  для всех  $i=1, \dots, n$ ), а доля видео пакетов в общей нагрузке составляет  $k$  ( $0 \leq k \leq 1$ ), т. е.  $\lambda_1 = k\Lambda$ . Тогда, решая, квадратное неравенство  $\bar{\tau}_i < \tau_i^*$  с учетом (3) получим, что пропускная способность канала связи должна выбираться из условия:

$$V > \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{\tau_1^*} + k\Lambda + \left[ \left( k\Lambda - \frac{1}{\tau_1^*} \right)^2 + \frac{4\Lambda}{\tau_1^*} \right]^{1/2} \right\} \quad (4)$$

Выражение в правой части неравенства (4) представляет собой нижнюю границу пропускной способности  $V_k$  канала передачи данных, требующейся для передачи ви-

део IP-пакетов с требуемым качеством в сети с приоритизацией трафика.

В процессе разработки корпоративной сети достаточно сложно определить долю голосовых пакетов  $k$  в общем трафике сети. К тому же эта доля может существенно меняться в течении суток. Поэтому предлагается оценивать требуемую пропускную способность МКС для всего диапазона изменения  $k$ . Рассмотрим предельные случаи, когда  $k \rightarrow 0$  и  $k \rightarrow 1$ . Тогда из выражения (4) найдем нижнюю и верхнюю границу пропускной способности канала связи:

$$V_{\min} = \frac{L}{2} \left\{ \frac{1}{\tau_1^*} + \left[ \frac{1}{(\tau_1^*)^2} + 4 \frac{\Lambda}{\tau_1^*} \right]^{1/2} \right\} \quad (5)$$

$$V_{\max} = L \left( \frac{1}{\tau_1^*} + \Lambda \right) \quad (6)$$

Можно показать, что выражение для  $V_{\max}$  определяет требуемую пропускную способность канала при отсутствии приоритизации трафика в сети. Тогда эффект от введения приоритизации трафика составит  $\delta = (V_{\max} - V_k) / V_k$ .

**Результаты.** Анализ полученных результатов показывает, что введение управления приоритизацией трафика в канале позволяет существенно снизить требования к ширине полосы пропускания канала и его пропускной способности. При этом:

- уменьшение допустимой задержки в  $A$  раз не требует увеличения пропускной способности канала в  $A$  раз, а гораздо меньше;

- с увеличением общего трафика (интенсивности  $\Lambda$ ) эффект от приоритетного управления трафиком увеличивается;

- с уменьшением доли видео пакетов  $k$  в общей нагрузке МКС этот эффект также увеличивается.

Таким образом, предложенная математическая модель управления приоритетом пакетов в канале связи МКС позволяет определить требуемую ширину полосы пропускания канала и рассчитать эффект, достигаемый за счет приоритетного управления трафиком.

Рассмотрим выходные параметры МКС.

1. Суммарные затраты на создание МКС, которые включают в себя затраты на создание структуры системы телекоммуникаций (каналы связи) и на используемое каналообразующее оборудование (коммутаторы):

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n y_{ij} c_{ij}(p_{ij}) + \sum_{i=1}^{nc} c_i^c \quad (7)$$

2. Задержка передачи пакетов между каждой парой пользователей сети. Для расчета задержек в МКС воспользуемся моделью СМО, в которой каналы связи описываются законом М/М/1 [6,7]. Каналы связи и узлы МКС считаем абсолютно надежными. В узлы поступает пуассоновский поток заявок на обслуживание. Тогда в соответствии с такой моделью средняя задержка IP-пакета в канале связи  $k^{pv}$  будет определяться как:

$$t_{pv}^k = \frac{1}{\frac{p_{pv}^{\Sigma}}{l^p} - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij}^{pv}(Y) \lambda_{ij}} \quad (8)$$

где  $d_{ij}^{pv}(Y) = 1$ , если ребро  $k_{ij} \in \pi_{pv}$  и  $d_{ij}^{pv}(Y) = 0$ , если ребро  $k_{ij} \notin \pi_{pv}$

Здесь  $\pi_{pv} \in \Pi$  – путь от вершины  $u_p$  до  $u_v$ .  $\Pi$  – множество возможных путей.

Введем еще одну вспомогательную переменную  $g_i^{pv}(Y)$ : множество  $G$ , элементы которого определяются следующим образом:  $g_i^{pv}(Y) = 1$ , если коммутатор  $sw_i \in \pi_{pv}$  и  $g_i^{pv}(Y) = 0$  в противном случае.

Тогда суммарная задержка продвижения пакета в коммуникационном оборудовании на пути  $\pi_{pv}$  будет равна:

$$t_{pv}^c = \sum_{i=1}^{nc} \frac{1}{(vk)_i^{\max}} g_i^{pv}(Y) \quad (9)$$

где  $\frac{1}{(vk)_i^{\max}}$  – время, затрачиваемое коммутатором  $sw_i$  на продвижение одного IP-пакета.

Полная задержка передачи пакета на пути  $\pi_{pv}$  будет рассчитываться, как сумма задержек в каналах связи и в коммуникационном оборудовании на данном пути:

$$t_{pv}^{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij}^{pv} t_{ij}^k + t_{pv}^c \quad (10)$$

3. Надежность МКС. В качестве показателя надежности будем использовать величину, равную числу коммутаторов отключаемых от основной сети при отказе одного

канала передачи данных  $m_i^a(U_{ij}^{is})$ .  $U_{ij}^{is}$  – множество узлов, отседаемых от сети при отказе канала связи  $k_{ij}$ .

Ограничения на приведенные параметры запишем в следующем виде:

1. Ограничение на пропускную способность канала связи. Скорость передачи любого из каналов связи в сети должна быть достаточной для передачи суммарного трафика всех путей передачи данных, в которые входит этот канал связи. Ограничение на скорость передачи канала связи  $k_{ij}$  запишем в виде неравенства:

$$P_{pv} \geq \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n d_{ij}^{pv}(Y) \lambda_{ij} l^p}{Y_{pv}} \quad (11)$$

Это ограничение должно выполняться для каждого из каналов передачи данных в сети.

2. Запишем ограничения на задержку передачи IP-пакета в виде неравенства:

$$t_{pv}^{\Sigma} \leq t_{\max}^{\Sigma} \quad (12)$$

где  $t_{\max}^{\Sigma}$  – допустимое время задержки передачи IP-пакета.

3. Запишем ограничения на производительность в кадрах коммутатора  $SW_p$  в виде неравенства:

$$(vk)_p^{\max} \geq \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \lambda_{ij} g_p^{ij}(Y) \quad (13)$$

При этом, ограничение на максимальную производительность системной шины коммутатора  $SW_p$  будет иметь вид:

$$P_p^c \geq \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \lambda_{ij} l^p g_p^{ij}(Y)}{2} \quad (14)$$

4. Определим ограничения на число портов коммутаторов выбранного ряда.

Общее число портов коммутатора  $SW_p$  должно быть не меньше, чем число подключаемых к нему каналов связи:

$$m_p^c \geq \sum_{i=1}^n y_{ip} \quad (15)$$

Рассмотрим теперь множество  $D'$ . Элементы этого множества определяются скоростью передачи данных в канале  $v_s$ :  $d'_{ij}(v_s) = 1$ , если канал связи  $k_{ij}$  работает

на скорости  $v_s$  и  $d'_{ij}(v_s) = 0$ , если канал связи  $k_{ij}$  работает на другой скорости.

Тогда для каждого значения скорости  $v_s$  число портов коммутатора  $SW_p$ , работающих на этой скорости, не должно превышать максимального значения:

$$\sum_{j=1, \dots, n_q} y_{ip} d'_{ip}(v_j) \leq m_p^c(v_j) \quad (16)$$

5. Сформулируем ограничение на размер адресной таблицы коммутаторов.

Введем вспомогательное множество  $\Pi' \subseteq \Pi$ . Элементами этого множества являются пути  $\pi'_{ij}$ , по которым передается ненулевой трафик, т. е.  $\pi_{ij} \in \Pi'$ , если  $\lambda_{ij} \neq 0$ . Создадим множество  $U'$ , элементы которого равны 1 в том случае, если абонент  $a_i$  использует для передачи данных любому другому абоненту коммутатор  $SW_s$ :

$$u_i^s = 1, \text{ если } \exists \pi_{ij} \in \Pi', \text{ такой что } SW_s \in \pi_{ij} \text{ } j=1, \dots, n \text{ и } u_i^s = 0 \text{ если } \forall \pi_{ij} \in \Pi' SW_s \notin \pi_{ij} \text{ } j=1, \dots, n, i=1, \dots, n_a$$

В таком случае ограничение на размер адресной таблицы коммутатора  $SW_s$  запишем в виде неравенства:

$$\sum_{i=1}^{n_a} u_i^s m_i^a \leq M_s^c \quad (17)$$

6. Рассмотрим ограничения на топологию сети. Они вытекают из требований древовидности сети.

В графе сети не должно быть изолированных вершин:

$$\forall (i, j) \exists \pi_{ij} \in \Pi, \pi_{ij} \neq 0 \\ i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, i \neq j$$

В структуре сети не должно быть циклов:

$$\forall (i, j) \exists \text{ только один } \pi_{ij} \in \Pi, \\ i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, n, i \neq j$$

При этом, вершина-абонент может соединяться только с одной вершиной-коммутатором:

$$\forall a_i n_v(a_i) = 1, i = 1, \dots, n_a \\ \forall a_i \text{ если } \exists v_{ij} \text{ то } u_j \in SW$$

где  $n_v(a_i)$  – число ребер графа  $\Gamma$ , инцидентных вершине  $a_i$ .

7. Запишем ограничения по надежности сети в виде:

$$m_i^a (U_{ij}^{is}) \leq n_{\max}^a, i=1, \dots, n_a \quad (18)$$

где  $n_{\max}^a$  – максимально допустимое число коммуникационных устройств и АРМ пользователей, отключаемых при единичном обрыве в сети.

В случае требований повышенной надежности, подсеть, объединяющая коммутаторы, после приведения к древовидной форме может дополняться до двусвязной сети. При этом дополнительные связи при рабочем состоянии всех узлов сети отключаются либо вручную, либо автоматически с помощью специальных протоколов, например Spanning Tree.

**Заключение.** Решением задачи оптимизации структуры МКС будет граф

$$\Gamma^* = \arg \min E(\Gamma) \quad (19)$$

$$\Gamma \in G$$

где  $G$  – множество всех возможных структур проектируемой МКС, для которых выполняются ограничения (11–18);  $E(\Gamma)$  – функция суммарных затрат на создание и обслуживание МКС. Найдя оптимальное решение для сформулированной задачи, мы получим наименее затратную структуру МКС, удовлетворяющую заданным техническим характеристикам.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Семенов, А. Б. Структурированные кабельные системы. Стандарты, компоненты, проектирование, монтаж и техническая

эксплуатация / А. Б. Семенов, С. К. Стрижаков, И. П. Сунчелей. – М.: КомпьютерПресс, 1999. – 482 с.

2. Optimization models for communication network design / L. Berry, B. Murtagh, G. McMahon, S. Sugden. Proceedings of the Fourth International Meeting Decision Sciences Institute, Sydney Australia, 1997.

3. Пятаев, О. В. Математическое представление задачи оптимизации структуры кампусной сети / О. В. Пятаев, А. В. Семашко // Радиоэлектронные и телекоммуникационные системы и устройства: Межвузовский тематический сборник научных трудов. – 2000. – С. 49-55.

4. Griffith, P. S., Proestaki, A. & Sinclair, M. C., Heuristic Topological Design of Low-cost Optical Telecommunication Networks, Proc. 12th UK Performance Engineering Workshop, Edinburgh, September 1996, pp.129-140.

5. Проектирование корпоративных информационных систем / А. А. Рындин, А. В. Хаустович, Д. В. Долгих, А. И. Мугалев, С. В. Сапегин / Под ред. А. А. Рындина. – Воронеж; Издательство «Кварта», 2003. – 447 с.

6. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Пер. с англ. Под ред. В. И. Нейман. М.: Машиностроение. 1979.- 432 с.

7. Саати, Т. Л. Элементы теории массового обслуживания и её приложения / Т. Л. Саати. – М.: Либроком, 2010.

## OPTIMISATION OF A MULTI-SERVICE TELECOMMUNICATION SYSTEM STRUCTURE WITH THE EVALUATION OF THE EFFECT FROM INTRODUCTION OF TRAFFIC PRIORITISATION

© 2019 N. A. Ryndin

Voronezh State Technical University (Voronezh, Russia)

*The paper considers the design of multi-service corporate computer networks, in particular multi-segment campus networks. At the same time, as the main criterion for optimising the structure of such networks, it is proposed to use the total costs of creating a network. A mathematical model of a multi-segment campus network is proposed in the form of an undirected graph, the vertex multiplicity of which corresponds to the nodes of the network, and the edges to corresponding communication channels. The characteristics of the nodes of the network are: the number of nodes (subscribers) and all locations of the proposed location of the switches; the expected intensity of information flows of data packets between nodes of the network; a plurality of transmission rates; a variety of commutator models available for network design. Thus, the introduction of priority traffic management can reduce the bandwidth requirements of the channels and create a network with minimal costs.*

*Key words: multiservice telecommunications system, multi-segment campus network, traffic prioritisation, criterion total costs for network creation, channel capacity model.*