

Министерство образования и науки Украины
Донбасская государственная машиностроительная академия

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе

по дисциплине

«Анализ, синтез и оптимизация информационных сетей»

(для студентов заочной формы обучения
специальностей 123 и 151)

Утверждено
на заседании кафедры
«Автоматизация
производственных процессов».
Протокол №3 от 6.11.2017 г.

Краматорск 2017

Методические указания к самостоятельной работе по дисциплине «Информационные сети» (для студентов заочной формы обучения специальностей 123 и 151) / Сост. О.В. Субботин. - Краматорск: ДГМА, 2017. – 38 с.

Рассмотрены вопросы, касающиеся синтеза и оптимизации информационных сетей. Представлена методика решения задачи оптимального размещения вычислительных центров и абонентских пунктов в региональной информационной сети. Уделено внимание выбору технических средств и оптимизации информационных потоков в сетях. Представлены принципы оценки эффективности информационных сетей.

Составитель

О.В. Субботин, доцент

Отв. за выпуск

О.В. Субботин, доцент

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ	5
1.1 Методика проектирования ИС	5
1.2 Детерминированный и вероятностный подходы в задачах анализа, синтеза и оптимизации ИС	5
2 ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ	6
2.1 Определение стоимостно-экономических характеристик ИС	6
2.2 Выбор технических средств информационной сети	7
2.3 Задача оптимального размещения вычислительных центров (ВЦ) и абонентских пунктов (АП) в региональной ИС	8
2.4 Методика решения задачи размещения	10
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТИ	14
3.1 Основные задачи оптимизации ИС	14
3.2 Анализ характеристик информационных потоков	16
3.3 Определение задержек передачи информации	18
3.4 Основные характеристики функционирования сети	20
4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИС	21
5 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВЦ И АП НА ТЕРРИТОРИИ РЕГИОНА С ЗАДАННОЙ ПЛОЩАДЬЮ	24
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	31
ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК	32
ПРИЛОЖЕНИЕ А. ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ	33
ПРИЛОЖЕНИЕ Б. ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ ВССУ	34
ПРИЛОЖЕНИЕ В. ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ	35

ВВЕДЕНИЕ

Создание информационных сетей, их разработка и исследования связаны с необходимостью решения широкого круга задач анализа и синтеза. Их основное содержание определяется методологией проектирования сетевой архитектуры и ее элементов.

В ходе процесса проектирования формируется топологическая структура сети, удовлетворяющая поставленным требованиям к ее характеристикам, выбираются технические средства, разрабатывается программное обеспечение. Выбор ЭВМ и терминалов, которые будут использоваться в сети, выполняются с учетом того, что они должны быть однотипными или могут быть разных типов. При этом выясняют, как будет осуществляться обработка информации (будет ли действовать один главный вычислительный центр и концентраторы или будет осуществляться распределенная обработка информации). Определяется также, какие будут выбраны управляющие устройства и протоколы управления процессами. Производится выбор каналов передачи данных и линии связи, которые будут применены в ИС. Устанавливаются средние значения (либо максимальные) распределения допустимых временных задержек. Выбираются значения пропускной способности каналов связи, задаются их распределением по структуре сети. При этом делается обоснование, как надо использовать линии, каковы наилучшие скорости передачи и размещения линий. Обеспечивают заданные требования надежности сети путем двукратного соединения и резервирования каналов и оборудования сетевых узлов, когда недостаточно однократного.

При проектировании сети, как правило, необходимо также определить наилучшие форматы сообщений и маршруты движения, режимы и методы передачи данных.

1 ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

1.1 Методика проектирования ИС

Во введении представлены основные задачи разработки информационных сетей, определим теперь методику их проектирования.

Общий порядок проектирования ИС и его методика предусматривают такую последовательность этапов разработки:

- определение исходных данных на основании предпроектных обследований, согласование этих данных на экспертных комиссиях;
- формирование структур входных и выходных сообщений в соответствии с содержанием запросов и задач обработки информации;
- выбор форматов и определение объемов поступающих, передаваемых и выходящих из сети сообщений;
- выбор способов коммутации;
- установление требуемых пропускных способностей каналов связи, скорости передачи информации и выбор линий связи;
- проектирование и обоснование топологической структуры;
- выбор ЭВМ, терминалов, абонентских пунктов и других технических средств ИС;
- назначение процедур управления передачей и потоками сообщений;
- определение требований к математическому обеспечению и разработка программных средств;
- определение требований к обслуживанию и ремонту оборудования; экономические расчеты и обоснования.

1.2 Детерминированный и вероятностный подходы в задачах анализа, синтеза и оптимизации ИС

Различают детерминированные и вероятностные задачи анализа, синтеза и оптимизации ИС, их элементов, моделей и структур. Примером детерминированных задач разработки являются задачи анализа и синтеза, связанные с исследованиями топологических моделей ИС. Эти задачи проще по содержанию, чем вероятностные, причем применяемые в них структуры и модели ИС довольно широко распространены на практике.

К вероятностным (стохастическим) задачам разработки сетей, требующим применения аппарата вероятностных методов и теорий, относится большая часть задач, поскольку в общем случае процессы функционирования ИС являются типичными случайными процессами, случайны потоки сообщений, отказы аппаратуры и т.д.

Вероятностные модели сетей и вероятностные методы анализа и синтеза применяют в тех случаях, когда представления ИС в виде детерминированных систем может привести к принципиальным ошибкам, как, например, для сетей с адаптивной структурой, изменяющейся под действием различных случайных факторов, сетей с адаптивными алгоритмами управления процессами,

маршрутизацией, резервированием, восстановлением и др. Рассмотрим содержание некоторых задач анализа и синтеза информационных сетей, решаемых с применением детерминированных методов. В зависимости от вида ИС, ее целевого назначения содержание задач будет несколько различным, но общий подход предполагает разделение всех их на задачи анализа (декомпозиции) и синтеза (композиции).

Процесс разработки ИС принципиально не может быть сведен только к анализу или только к синтезу, а сам вид задач не может рассматриваться изолированно один от другого.

Современные методы проектирования при реализации итерационных процедур предусматривают интерактивный режим взаимодействия пользователя – проектировщика автоматизированной системой, выполняющей расчеты и вычисления. При этом главной задачей проектировщика является четкая и правильная постановка задания для ЭВМ, основывающаяся на некоторых исходных концептуальных представлениях. В соответствии с этими представлениями задаются исходной топологией, удовлетворяющей требованиям, предъявленным к проектируемой сети.

Одной из возможных детерминированных задач может быть определение стоимостно-экономических характеристик ИС, удовлетворяющих заданным характеристикам топологической структуры.

Теоретических соотношений общего вида, применяемых для решения задачи данного типа, в настоящее время не имеется. Однако известны отдельные подходы и методики, позволяющие применить математический аппарат для расчетов синтезируемых сетей, выбора их приемлемых вариантов и при необходимости для постановки оптимизационных задач проектирования.

называемый стоимостный класс сети, в соответствии с особенностями которого составляются соотношения. Например, если задана коммуникационная сеть с каналами средней удаленности и равномерным распределением затрат, то этому случаю соответствует класс с индексами W_{222} (см. рис. 1). Общее выражение для полных затрат, включая затраты на создание сети, эксплуатационные расходы для любой ИС данного класса W_{Σ} имеет вид:

$$W_{\Sigma}(T) = n_T(C_T + R_T T) + n_K(C_K + R_K T) + n_V(C_V + R_V T) \quad (1)$$

где $W_{\Sigma}(T)$ — суммарные полные затраты на создание сети и обслуживание ее функционирования в течение времени T ; n_T, n_K, n_V — число в сети терминалов, каналов и узлов соответственно; C_T, C_K, C_V — начальная стоимость одного терминала, канала и узла соответственно; R_T, R_K, R_V — расходы денежных средств в единицу времени на эксплуатацию терминала, канала и узла соответственно; T — срок действия сети с начала функционирования.

Выражение (1) является основой для проверочных расчетов в ходе синтеза сетевой архитектуры. В частности, для сети с равномерно распределенным стоимостным классом W_{222} из него вытекает ряд следующих соотношений:

$$n_T(C_T + R_T T) \approx n_K(C_K + R_K T) \approx n_V(C_V + R_V T), \quad (2)$$

которое означает, что затраты на каждое множество элементов сети (терминалы, каналы и узлы) распределяются практически поровну;

$$C_T = R_T T; C_K = R_K T; C_V = R_V T, \quad (3)$$

т. е. эксплуатационные расходы W_{Σ} за время T достигают значения начальной стоимости;

$$W_{\Sigma}(T) \approx 6n_T C_T \approx 6n_K C_K \approx 6n_V C_V, \quad (4)$$

выражение суммарных затрат, которое получено из общего (1) и двух предыдущих (2) и (3).

Далее процесс проектирования осуществляется по схеме: выбор исходного варианта топологической структуры ИС и последующий проверочный расчет с применением соответствующих соотношений типа (1). Например, для рассматриваемого случая задана общая сумма денежных средств, выделенных на создание сети и ее обслуживание. Выбирают тип терминала, стоимость которого известна. Проверяют, превышает ли при известном общем числе терминалов n_T в сети данного типа общая их стоимость с учетом коэффициента, определяемого индексом класса сети, суммарную стоимость выделенных средств.

В данном случае

$$6n_T C_T \leq W_{\Sigma}(T).$$

Если последнее логическое условие выполняется, то можно остановиться на сделанном выборе; если нет, то решение должно быть пересмотрено, т. е. должны быть изменены либо стоимость терминала, либо их число.

Аналогично осуществляется и проверяется выбор каналов связи и оборудования сетевых узлов.

2.3 Задача оптимального размещения вычислительных центров (ВЦ) и абонентских пунктов (АП) в региональной ИС

Ввиду того, что проектирование сетей относится к числу задач исключительной сложности, становится понятным факт отсутствия единой конструктивной методики расчета всех параметров, определяющих характеристики сети. В большинстве случаев приходится применять частные методики и подходы, среди которых находят применение два основных класса, рассматривающие вычислительно-мощностной и коммуникационные аспекты.

Первый класс методик позволяет решать задачи выбора и расчета технических средств, па основе определения требований к системам обработки данных, задач информационного обслуживания и т. д.

Второй класс методик ориентирован на решение задач, связанных с разработкой топологии элементов системы обмена данными, диспетчеризации и управления информационными потоками в ИС, задач определения характеристик системы связи.

Далее рассматриваются два упрощенных варианта решения задач синтеза топологии, определяющей размещение ЭВМ и АП по территории сети [4] и описывается методика оценки характеристик ИС [3].

Постановку задачи размещения можно сформулировать следующим образом: требуется определить количество и места расположения ЭВМ и АП при заданном количестве потребителей информации для объектов управления в большом регионе с заданным объемом информационно-вычислительных работ. Примем следующие допущения: различные зоны ВЦ не имеют общих абонентов; характеристики потоков информации в сети неизменны; стохастическая природа потоков запросов не меняется; все ВЦ соединены по принципу «каждый с каждым».

За критерий оптимизации принимаем приведенные затраты на создание и функционирование сети W . Значение W зависит от объема обрабатываемых запросов или объема информационно-вычислительных работ, выполняемых каждым ВЦ для группы m_i абонентов, принадлежащих к зоне i -го ВЦ. Если определить принадлежность запросов к зоне действия ВЦ следующим образом:

$$q_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{при } m_j \in A_j \\ 0 & \text{при } m_j \notin A_j \end{cases} \quad (5)$$

(A_j - подмножество абонентов, принадлежащих зоне i -го ВЦ), то объем запросов, поступающих в ВЦ из зоны его действия, составит

$$Q_i = \sum_j m_j q_{ji} \quad (6)$$

Расстояние между i -м и k -м ВЦ обозначим R_{ik} , через Q_{ik} — среднее значение объема информации, циркулирующей между ВЦ с номерами i и k , а через W_{ik} — удельные затраты на передачу объема информации на единицу длины канала связи между этими ВЦ. Рассматриваемая задача относится к числу оптимизационных задач с детерминированными переменными, т. е. необходимо

минимизировать затраты.

$$W = \sum_i W_i + \sum_{jk} W_{jk} Q_{jk} R_{jk} \quad (7)$$

при следующих ограничениях:

$$\sum_i q_{ji} \geq 1 \quad Q_i = \sum_j m_i q_{ji} \quad (8)$$

$$m_i q_{ji} \leq d_{ji} C$$

где W_i — приведенные затраты на создание и эксплуатацию i -го ВЦ; d_{ji} — количество каналов связи между абонентами m_i и i -м ВЦ; C — пропускная способность канала связи.

Для упрощения рассматриваемой методики (что вполне приемлемо, поскольку она применяется на начальном этапе проектирования), целесообразно ввести ряд дополнительных допущений, которые позволяют получить решение в аналитическом виде, в частности с этой целью дополнительно вводятся следующие допущения: пользователи размещены по территории региона с равной плотностью; запросы пользователей однородны, а их поток имеет постоянную интенсивность во времени; преобразование, сбор и промежуточное хранение информации осуществляются в ВЦ и АП; потребители с АП и ВЦ-связаны радиально.

Общая схема размещения ВЦ в сети представлена на рис. 2, где окружностями обозначены зоны действия каждого ВЦ.

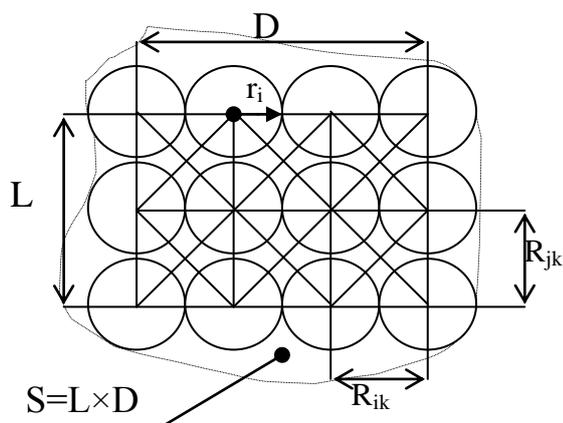


Рисунок 2 - Схема размещения узлов при синтезе оптимальной топологической структуры ИС

Отметим, что данная задача возникает при создании на базе региональной ИС территориально распределенной автоматизированной системы управления для республики или края, области. В узлах такой ИС размещают ВЦ коллективного пользования, между которыми организуется связь с целью обмена различными файлами (справочными, данными статистической обработки и т.п.). Независимо от того, как именно организована связь ВЦ, будем полагать, что затраты на создание сети связи, если ее нет, либо на эксплуатацию арендуемых каналов находятся в линейной зависимости от расстояния между узловыми ВЦ и от расстояния между ВЦ и абонентскими пунктами АП. Это еще одно допущение, необходимое для формализованной постановки задачи размещения.

2.4 Методика решения задачи размещения

Считаются заданными: площадь региона S , количество абонентов в сети N , капитальные затраты на установку одного ВЦ и АП W_1 и W_2 соответственно; стоимость 1 км магистрального канала связи между ВЦ W_3 и стоимость 1 км канала связи между АП и ВЦ W_4 . Нужно определить координаты установки ВЦ и АП, их количество в регионе, а также конфигурацию системы обмена данными, чтобы обеспечить минимум затрат и возможность обработки объемов информации.

Из очевидных геометрических соображений следует, что капитальные затраты на магистральные каналы связи между ВЦ можно определить из следующего выражения:

$$W_{ВЦ}^{кан} = W_3 \left[\sum_i (R_{jk} + R_j) + \sum_{jk} \sqrt{R_{j1}^2 + R_{j2}^2} \right] \quad (9)$$

где i — индекс рассматриваемого ВЦ; j — индексы находящегося правее и k — находящегося ниже ВЦ (см. рис. 2); R_{j1}, R_{j2} — проекция прямой, связывающей i -й ВЦ с ВЦ, находящиеся ниже по диагонали, на вертикальную и горизонтальную оси координат, жестко связанных с контурами региона.

Величина $\sum_i (R_{jk} + R_j)$ не зависит от значений R_{jk} и R_j . В то же время согласно неравенству Коши вторая сумма в квадратных скобках формулы (9) минимизируется при $R_{i1} = R_{i2} = R$ для любых i .

Основываясь на аналогичных рассуждениях, можно прийти к выводу, что минимизация суммарной длины каналов связи между ВЦ и АП также достигается при равномерном размещении АП в зоне обслуживания ВЦ.

Исходя из изложенного, определяют капитальные вложения на создание всех ВЦ ($W_{ВЦ}$) к АП ($W_{АП}$) в обслуживаемом регионе. Опуская промежуточные алгебраические преобразования в формулах, полученных из геометрических построений, приведем основное соотношение для постановки задачи минимизации затрат на проектируемую сеть:

$$W = W_2 \frac{S}{R^2} + \frac{S}{r^2} (W_2 + 0,35W_3R) + W_4 \left[2,82 \frac{S}{R} + 0,82R - 1,82(D + L) \right] + 0,35W_4Nr$$

Здесь D и L — размеры зоны, заданной в виде прямоугольника со сторонами D и L (рис. 2).

Для конкретных структур сети ЭВМ значения S , D , L и N могут быть выбраны из некоторого множества вариантов. В частности, с учетом рекомендаций о равномерном распределении ВЦ и АП в регионе значения R и r для любого варианта могут быть вычислены следующим образом:

$$r_{cp} = \frac{1}{2\sqrt{2}} R, \quad (11)$$

$$W_1 = W_3 \frac{3}{r^2} \frac{R}{2\sqrt{2}}, \quad (12)$$

$$W_2 = W_4 \frac{NR}{2\sqrt{2}}. \quad (13)$$

Найдем частные производные от полных затрат W по переменным R и r с целью определения экстремальных значений этих величин для функции W и приравняем их нулю:

$$\begin{cases} \frac{\partial W}{\partial R} = -2W_1 \frac{S}{R^3} + 0,35W_3 \frac{S}{r^2} + W_3(0,82 - 2,82 \frac{S}{R^2}) = 0 \\ \frac{\partial W}{\partial r} = -3W_1 \frac{S}{r^3} (W_2 + 0,35W_3 R) + 0,35W_4 N = 0. \end{cases} \quad (14)$$

Решая совместно эти два уравнения как систему путем подстановки, получим искомое соотношение, которое является уравнением 11-й степени относительно R :

$$a_{11}R^{11} + a_{12}R^{12} + \dots + a_2R^2 + a_1R^1 + a_0 = 0. \quad (15)$$

Выражения для коэффициентов $a_0 - a_{10}$ в общем виде необычайно громоздки, поэтому рассмотрим пример расчета со следующими данными: $S = 100$ [км²]; $N = 10^4$; $W_1 = 500$ [тыс. грн.]; $W_2 = 10$ [тыс. грн.]; $W_3 = 20$ [тыс. грн./км]; $W_4 = 10$ [тыс. грн./км].

Найдя корни алгебраического уравнения, для данных значений коэффициентов, найдем множество значений корней $R_{01} - R_0$. Из этого множества, естественно, исключаются элементы, определяющие мнимые и отрицательные значения, остальные проверяются на соответствие физическому смыслу задачи. Выбрав одно наиболее подходящее значение $R_0 = 2,49$ км, находим далее соответствующие этому значению величины, определяющие оптимальное распределение затрат для синтезируемой сети:

1) среднее расстояние между АП и ВЦ:

$$r_{cp} = \frac{1}{2\sqrt{2}} R_0 = 0,875 \text{ км};$$

2) оптимальное число узлов (ВЦ в данном случае) в сети:

$$S \approx L \times D \approx 2r_{cp}n_L 2r_{cp}n_D \approx 4r_{cp}^2 n_L n_D \approx r_{cp}^2 n_{y_0}, \quad n_{y_0} \approx S/4r_{cp}^2;$$

3) среднее число АП, подсоединяемых в каждом узле,

$$n_{АП} = \frac{N}{m_i n_y} = \frac{4Nr_{cp}^2}{m_i S},$$

где m_i — среднее число абонентов в одном узле.

Для топологического проектирования из перечисленных параметров наиболее важным является оптимальное число узлов в сети. В тех случаях, когда стоимость является главным критерием, синтез топологической структуры может быть проведен по минимуму этого критерия.

Допустим, что для некоторых значений исходных данных S , N , W_1 , W_2 ,

W_3 , W_4 был получен результат, соответствующий оптимальному числу n_y . Реальное размещение ВЦ по территории региона может не соответствовать равномерному их распределению. Но при небольшом числе узлов путем подбора конкретных мест расположения ВЦ можно выбрать наиболее близкий реальный вариант и принять его для последующего анализа.

Предположим, что в результате вычислений n_y получилось равно восьми, а реальное место расположения ВЦ, объединяемых в сеть, соответствует схеме, показанной на рис. 3.

При первоначальных предположениях, считалось, что связи между узлами образуют полносвязную структуру. Однако в ходе синтеза архитектуры такой сети можно теоретически рассмотреть и другие варианты топологических структур, оценить, насколько возможно дальнейшее уменьшение стоимости, если это требуется.

В дальнейшем при рассмотрении вопроса синтеза топологии ИС будем ориентироваться на простую структуру типа дерева, полагая, что таким образом можно понизить стоимость проектируемой сети и сравнить ее с максимальной, соответствующей полносвязной структуре.

Для решения задачи минимизации структуры воспользуемся моделью сети в виде взвешенного графа, у которого веса дуг характеризуют, например, протяженности каналов между соответствующими узлами ИС. Так как рассматривается сеть с относительно малым числом ребер, для нее удобным способом решения задачи минимизации структуры является алгоритм Краскала, который заключается в следующем [1].

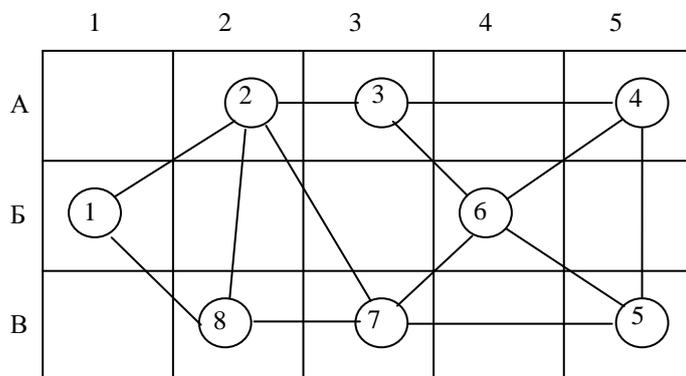


Рисунок 3 - План размещения узлов в синтезируемой сети

Упорядочим ребра по весу, выбирая из множества ребер графа, при составлении списка, каждый раз ребро минимального веса, и далее по возрастанию как показано в табл. 1.

Затем, пользуясь списком, строим минимальное покрывающее дерево, начиная с первого ребра и добавляя последующие по порядку. Если очередное выбранное ребро приводит к образованию цикла, то его отбрасываем. После выбора ребра $n - 1$ (n — число вершин графа) процесс заканчивается.

Таблица 1 – Список ребер с их весовыми значениями

Вес ребра	Ребра	Примечание
0,5	(1,2)	
1,0	(1,8), (3,6), (6,7)	
1,8	(3,7) отбрасываем	Приводит к циклу
1,9	(2,3), (2,7) отбрасываем	
2,0	(2,6) отбрасываем	
2,1	(7,8) отбрасываем	
2,2	(1,7) отбрасываем	
2,3	(1,3), (4,5) и (1,3)	(1,3) отбрасываем
2,8	(1,6) отбрасываем	
3,0	(6,4)	
3,5	(3,4) отбрасываем	
5,5	(5,6) отбрасываем	
5,8	(5,7) отбрасываем	
8,0	(1,5) отбрасываем	

3 ОПТИМИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ В СЕТИ

3.1 Основные задачи оптимизации ИС

Рассмотрим некоторые типовые варианты оптимизационных задач, связанных с топологическим проектированием ИС. Возможна следующая их классификация [2].

1. *Выбор оптимальной пропускной способности (ВСП).*

Дано: топология сети, потоки, маршруты. *Требуется:* минимизировать задержки T по переменной пропускной способности каналов C_i при ограничениях на стоимость W и пропускные способности C_i :

$$W = \sum_{i=1}^{NM} W_i(C_i) \leq W_{\max}; \quad C_i \geq f_i.$$

2. *Распределение потока.*

Дано: топология сети, потоки, пропускные способности каналов. *Требуется:* минимизировать T по переменной «маршрут движения» при заданных ограничениях на потоки.

3. *Оптимальное распределение потоков и одновременно выбор пропускных способностей.*

Дано: топология сети, потоки. *Требуется:* минимизировать W по переменным «маршрут» и «пропускная способность» при заданных ограничениях на поток и время задержки.

4. *Определение оптимальной топологии сети.*

Дано: характеристики трафика ИС. *Требуется:* минимизировать по переменным «топология», «маршрут» и «пропускная способность» при ограничениях на поток, задержки и топологию.

Рассмотрим задачу оптимизации пропускных способностей линий. Высокая пропускная способность линий приводит к увеличению затрат, а при малой происходят перегрузки и задержки сообщений. Соотношение между стоимостью и пропускной способностью линий имеет вид

$$W = \sum_i W_i(C_i),$$

где W - полная стоимость линий; W_i - стоимостный коэффициент для i -линии; C_i -пропускная способность i -линии.

Значения W_i неравные, потому что линии имеют разные длины. В частности, соотношение между стоимостью и пропускной способностью может быть задано степенным законом

$$W = \sum_i W_i C_i^2.$$

Средняя задержка для i -й линии задается временем ожидания в очереди при допущениях, что длина сообщений имеет экспоненциальное распределение:

$$T_i = 1/(\mu C_i - \lambda_i),$$

где λ_i — интенсивность потока сообщений в i -м канале; $1/\mu$ — средняя длина сообщений (в битах).

Среднее значение задержки по всем составляющим получается путём

усреднения значения T_i взятого с весовыми коэффициентами λ_i/γ , где γ - суммарная скорость поступления сообщений. Таким образом, средняя задержка T при этом определяется выражением

$$T = \sum_i \frac{\lambda_i}{\gamma} \left(\frac{1}{\mu C_i - \lambda_i} \right). \quad (16)$$

Искомые пропускные способности, которые минимизируют T при постоянном W , определяются методом неопределенных множителей Лагранжа. Опуская соответствующие математические преобразования, приведем результат в готовом виде:

$$C_i = \frac{\lambda_i}{\mu} + \frac{W_e}{W_i} \frac{\sqrt{\lambda_i W_i}}{\sum_i \sqrt{\lambda_i W_i}}, \quad (17)$$

где W_e — определяется выражением

$$W_e = W - \sum_i \frac{\lambda_i W_i}{\mu}.$$

Первое слагаемое λ_i/μ , в правой части формулы для C_i - пропускная способность линии в режиме насыщения, а второе слагаемое - дополнительная пропускная способность этой линии.

Величина результирующей транзитной задержки при передаче по линиям с пропускными способностями C_i задаваемыми вышеприведенными равенствами (43), определяется так:

$$T_{\min} = \frac{n}{\mu W_e} \left(\sum_i \sqrt{\frac{\lambda_i W_i}{\lambda}} \right), \quad (18)$$

где λ - сумма интенсивностей трафика λ_i по всем линиям.

Рассмотренная задача позволяет при заданном ограничении на стоимость каналов связи так выбрать пропускные способности, чтобы средняя задержка сообщений была минимальной.

К числу оптимизационных задач синтеза ИС относится задача распределения потоков. В предыдущей задаче выбирали пропускные способности каналов при заданной конфигурации потоков. В данной задаче пропускные способности заданы, а потоки надо распределить так, чтобы минимизировать среднюю задержку T . Предполагается, что все пропускные способности удовлетворяют требованиям трафика, а процедуры выбора пути фиксированы и однозначны.

В качестве исходного выражения для решения задачи используем приведенную выше формулу.

В этом случае задача оптимального распределения потоков представляет собой минимизацию нелинейной функции T по потокам $\{\lambda_i\}$ при условиях выполнения закона сохранения потоков в каждом узле.

Согласно этому закону суммарный трафик $(j-k)$, поступающий в узел n , равен суммарному трафику $(j-k)$, выходящему из узла, за исключением случая, когда узел $u = k$; является узлом-источником или при $n = k$ - узлом

назначения. На пропускные способности накладываются ограничения, состоящие в том, что поток λ_i / μ в канале i не должен быть отрицательным и меньшим пропускной способности, т. е. $0 \leq \lambda_i / \mu < C$.

Доказывается, что при этих условиях и ограничениях T есть выпуклая функция потоков, а множество реализуемых потоков представляется математической моделью в виде выпуклого многогранника в N -мерном пространстве параметров потоков. Рассматриваемая задача решается симплекс-методом, который упоминался выше. Если она имеет реализуемое решение, то любой локальный минимум является глобальным минимумом для T .

Часто при оптимизации ИС используется метод отклонения потока (ОП), суть которого заключается в нахождении стоимости сети для значений «длин» l_i ребер. Значения длин ребер задаются выражением

$$l_i = \frac{\partial T}{\partial \left(\frac{\lambda_i}{\mu} \right)} = \frac{C_i}{\gamma \left[C_i - \left(\frac{\lambda_i}{\mu} \right) \right]^2}, \quad (19)$$

такие «длины» или «стоимостные коэффициенты», соответствующие им, используют для формулировки задачи отыскания потоков по кратчайшим путям и выяснения вопроса о том, какая часть исходного потока должна быть отклонена. Процесс решения циклически повторяется до тех пор, пока не будут получены приемлемые значения T_s . Оптимальный алгоритм ОП дает минимальное значение T - среднюю задержку сообщения в сети.

3.2 Анализ характеристик информационных потоков

Определив план оптимального размещения узлов и абонентских пунктов сети, полученный из расчетных соотношений для различных видов капитальных затрат, расстояний между абонентскими пунктами и ВЦ, других параметров, можно рассмотреть вопросы информационного обеспечения, которые включают в себя:

- формирование структур возможных типов входных и выходных сообщений;
- определение состава запросов, их частотно-временных распределений.

Эти характеристики определяют значения объемов хранимой и обрабатываемой в сети информации, потоки сообщений, значения нагрузки. Точнее определение объективной потребности вычислительных ресурсов и масштабов информационного обслуживания не представляется возможным хотя бы потому, что данные характеристики динамически изменяются со временем, имеют особенности сложного случайного процесса.

Кроме того, для большинства существующих методик характерен субъективный фактор, заключающийся в том, что многие данные, по которым оцениваются показатели информационных потоков и характеристики информационного обслуживания, получаются на основе анкетирования, опроса компетентных специалистов и т. п. При создании новой сети информационные характеристики выступают как прогнозируемые величины, поэтому они носят вероятностный характер и, следовательно, принципиально возможны

отклонения от реально наблюдаемых значений в будущей сети.

Отметим два противоречивых момента, которые необходимо учитывать при создании сети:

- во-первых, следует иметь в виду, что техника, которая может использоваться в сети, должна быть загружена как можно полнее;

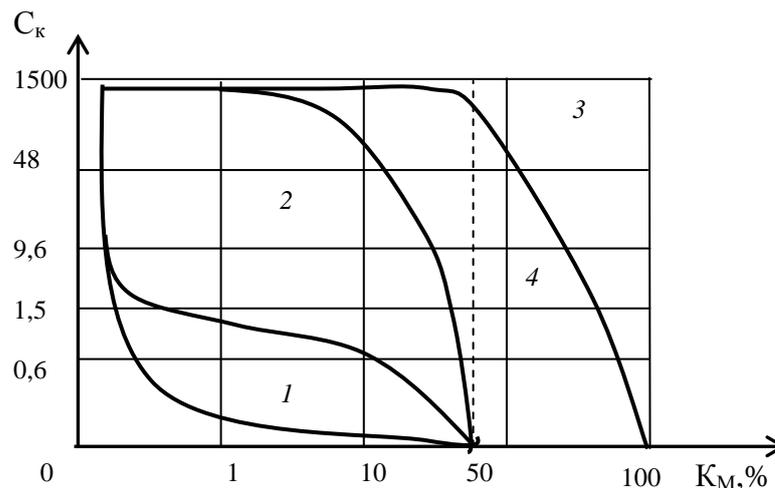
- во-вторых, необходимо предусмотреть возможности развития сети и увеличения загрузки ресурсов.

Важным вопросом в решении задач синтеза является выбор и обоснование способов коммутации, так как они сильно влияют на значения и распределения потоков информации.

Зная структуру сети и требования к скорости передачи информации по каналам, можно определить рациональный способ коммутации. Основными параметрами, влияющими на выбор способа коммутации, являются средние объемы передаваемой информации, а также величины отклонений реальных объемов от средних значений. На распределение потоков влияют также продолжительность этих отклонений и коэффициент загрузки каналов. При постоянной потребности в большом объеме обмена информацией между ВЦ и АП целесообразно применить кроссовую коммутацию каналов.

При большом колебании нагрузки, когда нет высоких требований к максимально допустимой задержке в передаче сообщений, способ коммутации сообщений обеспечивает высокое использование каналов и позволяет выравнивать нагрузку, причем он может применяться при любых скоростях передачи информации. Особенно он эффективен при применении адаптивных методов управления потоками сообщений.

Для выбора метода коммутации можно воспользоваться диаграммой распределения областей применения различных методов коммутации в зависимости от пропускной способности C_k каналов сети и коэффициента K_n использования канала. Эти зависимости представлены на рис. 4 [3].



1 – коммутация каналов; 2 – пакетная коммутация;
3 – прямая связь с ЭВМ; 4 – кроссовая коммутация

Рисунок 4 - К вопросу выбора способов коммутации при синтезе ИС

Данное распределение соответствует техническому уровню аппаратуры связи и средств вычислительной техники, а также их стоимости при реализации различных способов коммутации, осуществляемых в настоящее время.

3.3 Определение задержек передачи информации

Средние задержки являются одним из важнейших показателей, характеризующих производительность конкретной информационной сети. Для определения средних задержек задается структура графа, отображающего топологию проектируемой сети, для чего пользуются различными матрицами, например матрицей смежности. Матричное представление графа удобно при решении сетевых задач на ЭВМ. Для рассматриваемой сети, например (см. рис. 3), матрица смежности имеет вид:

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccccccc}
 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
 \begin{array}{c} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{array} & \left| \begin{array}{cccccccc}
 - & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & - & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
 0 & 1 & - & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & - & 1 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & - & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & - & 1 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & - & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & - \end{array} \right.
 \end{array}
 \end{array}$$

Далее для расчета задержек должна быть задана матрица внешних интенсивностей потока сообщений $\|\gamma_{ij}\|$, где элемент матрицы γ_{ij} — есть внешняя интенсивность поступления сообщения в узел J из i узла.

По этой матрице и следующей формуле можно определить полный внешний график сети:

$$\gamma = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \gamma_{jk} \quad (20)$$

Это необходимо в дальнейшем для оценки значений средних задержек.

Исходя из соображений скорейшей доставки информации, часто задаются матрицей маршрутов $\|r_{ij}\|$, если она не задана. Элемент r_{ij} — это номер узла, в который должно поступить сообщение, если оно находится в узле с номером i .

$$\begin{matrix}
& 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
1 & \parallel 1 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 2 & 8 \parallel \\
2 & \parallel 1 & 2 & 3 & 3 & 3 & 3 & 7 & 1 \parallel \\
3 & \parallel 2 & 2 & 3 & 4 & 6 & 6 & 6 & 2 \parallel \\
4 & \parallel 3 & 3 & 3 & 4 & 5 & 6 & 6 & 6 \parallel \\
5 & \parallel 7 & 4 & 4 & 4 & 5 & 6 & 7 & 7 \parallel \\
6 & \parallel 3 & 3 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 7 \parallel \\
7 & \parallel 3 & 3 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \parallel \\
8 & \parallel 1 & 2 & 2 & 7 & 7 & 7 & 7 & 8 \parallel
\end{matrix} = \|r_{ij}\|.$$

На основании матрицы маршрутов $\|r_{ij}\|$ строится также матрица рангов путей $\|n_{ij}\|$, где элемент n_{ij} — число каналов связи, составляющих $(1-k)$ - путь.

$$\begin{matrix}
& 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 \\
1 & \parallel 0 & 1 & 2 & 4 & 5 & 3 & 4 & 1 \parallel \\
2 & \parallel 1 & 0 & 1 & 3 & 4 & 2 & 3 & 2 \parallel \\
3 & \parallel 2 & 1 & 0 & 2 & 3 & 1 & 2 & 3 \parallel \\
4 & \parallel 4 & 3 & 2 & 0 & 1 & 1 & 2 & 5 \parallel \\
5 & \parallel 5 & 4 & 3 & 1 & 0 & 2 & 3 & 6 \parallel \\
6 & \parallel 3 & 2 & 1 & 1 & 2 & 0 & 1 & 4 \parallel \\
7 & \parallel 4 & 3 & 2 & 2 & 3 & 1 & 0 & 6 \parallel \\
8 & \parallel 1 & 2 & 3 & 5 & 6 & 4 & 5 & 0 \parallel
\end{matrix} = \|n_{ij}\|.$$

В данной матрице равенство ее элемента 1 означает, что одно звено (один канал связи) лежит между соответствующими узлами; 2 — это два звена образуют путь от одной из заданных вершин к другой и т. д.

Для оценки характеристик внутренних потоков в сети необходимо воспользоваться таблицей маршрутов, учитывающей связи узлов и направления передачи информации между ними. В простейшем варианте эти связи детерминированы и однозначны; тогда таблицу маршрутов $\|u_{ij}\|$ (табл. 2) составляют путем перечисления дуг, соединяющих соответствующие вершины, или поочередным указанием номеров вершин (узлов ИС).

Таблица 2 - Таблицу маршрутов $\|u_{ij}\|$

	Номера узлов ИС							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	1-2	1-2-3	1-2-3-4	1-2-3-4-5	1-2-3-6	1-2-3-6-7	1-8
2	2-1	0	2-3	2-3-4	2-3-4-5	2-3-6	2-7	2-1-8
3	3-2-1	3-2	0	3-4	3-6-5	3-6	3-6-7	0
4	4-3-2-1	4-3-2	4-3	0	4-5	4-6	4-6-7	4-6-7-8
5	5-7-2-1	5-4-6-3-2	5-4-3	5-4	0	5-6	5-4-6-7	5-7-8
6	6-3	6-3-2	6-3	6-4	6-4-5	0	6-7	6-7-8
7	7-6-3-2-1	7-6-3-2	7-6-3	7-6-4	7-4-5	7-6	0	7-1-8
8	8-1	8-2	8-2-3	8-2-3-4	8-7-5	8-7-6	8-7	0

Примечание. Номера строк таблицы соответствуют номерам узлов, из которых сообщения поступают в сеть, а номера колонок узлам, в которые эти сообщения адресованы. Элементы таблицы обозначают пути, по которым сообщения проходят через соответствующие узлы.

Интенсивность потока сообщений по i -му каналу, используя построенные матрицы, определим по формуле

$$\lambda = \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^n \lambda_{jk}$$

Для n -узловой сети существует следующая формула для определения средней задержки сообщения в i -м канале [2]:

$$T_i = 1/(v_i - \lambda_i). \quad (21)$$

Так как все каналы в сети работают независимо, то для вычисления средней задержки сообщения в сети можно пользоваться формулой

$$T = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\gamma} \frac{1}{v_i - \lambda_i}. \quad (22)$$

где $1/v$ - среднее время передачи; v - средняя длина одного сообщения.

Если результаты расчетов задержек удовлетворяют требуемым значениям (причем стоимость сети выдерживалась в ходе проектирования в минимально возможных пределах), то полученная топологическая структура может быть принята за основу дальнейшей разработки, заключающейся в определении конкретных типов технических средств, реализации выбранных протоколов, способов управления, коммутации, в составлении программного обеспечения и в решении других вопросов технического проектирования.

3.4 Основные характеристики функционирования сети

В процессе решения указанных выше задач, получаемых на основе применения численных методов, реализуемых на ЭВМ, определяются основные характеристики функционирования сети:

1. Пропускные способности сети для заявок различных классов:

$$I_r(N) = \frac{C(\bar{N} - \bar{I}_r)}{C(\bar{N})}. \quad (23)$$

Данная характеристика определяет среднее количество заявок класса r , прошедших полный цикл обслуживания в единицу времени, а $\bar{I}_r = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0)$ — вектор, у которого r — компонента $j_r = 1$ и $j_k = 0, k \neq r$.

2. Средние времена задержки заявок различных классов на круговом маршруте замкнутой сети:

$$D_r = \frac{N_r}{T_r(\bar{N})}, \quad r = \overline{1, R}. \quad (24)$$

Данная характеристика выражает среднее время, требующееся для

прохождения полного цикла обслуживания заявки класса r .

3. Коэффициенты использования станций:

$$u_i^{(r)} = y_{ri} \tau_i T_r(\bar{N}), \quad r = 1, \overline{R}, \quad i = 1, \overline{R}. \quad (25)$$

Если k_i (число каналов на станции i) равно единице, то $u_i^{(r)} < 1$.

Если $k_i > 1$, то $u_i^{(r)}$ равна среднему числу занятых каналов на станции i заявками класса r . В этом случае коэффициент использования отдельного канала на станции i

$$C_i^{(r)} = u_i^{(r)} / k_i. \quad (26)$$

4. Средние времена пребывания заявок на отдельных станциях:

$$d_i^{(r)} = \begin{cases} l_i^{(r)} / y_{ri} T_r(\bar{N}), & \text{если } y_{ri} \neq 0 \\ 0, & \text{если } y_{ri} = 0 \end{cases},$$

где $l_i^{(r)}$ — среднее число заявок на отдельных станциях.

Коэффициент мощности сети:

$P(\bar{N}) = T(\bar{N})D(\bar{N})$ —общая мощность,

$P_r(\bar{N}) = T_r(\bar{N})D_r(\bar{N})$ —мощность по классу.

Указанные в п. 1 — 5 характеристики могут быть определены для случая, когда в сети обслуживаются заявки только одного класса: пропускная способность $T(N) = C(N-1)/C(N)$; средняя задержка $D(N) = N/T(N)$; коэффициенты использования станций (при $k_i = 1$) или число занятых каналов (при $k > 1$) $u_i = y_i T(N) \tau_i$ среднее число заявок

$$l_i = \frac{1}{C(N)} \sum_{k=1}^N k \Delta(k) y_i C_{M-1}(N-k),$$

где N — общее число заявок; M — число станций.

Среднее время пребывания заявки на станции i :

$$t_i = l_i / (y_i T(N)).$$

Практическое решение рассматриваемой задачи оценки вероятностных характеристик ИС может быть выполнено только с применением ЭВМ при реализации специальных вычислительных методов и алгоритмов, а также на основе имитации исследуемых процессов на ЭВМ, принципы которых рассматриваются в [1].

4 МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИС

Важнейшими из числа основных характеристик ИС являются экономические показатели, характеристики качества и эффективности ИС, например, такие, как средняя стоимость доставки информации между двумя пунктами, тарифы за пользование услугами сети, эффективность ИС и др. Между этими показателями существует определенная взаимосвязь и зависимость от других характеристик: надежности от стоимости, надежности от пропускаемой способности, достоверности передаваемой информации от надежности и т. д. Надежность и достоверность характеризуют качество функционирования ИС. Желательно при проектировании сети учитывать факторы, определяющие эффективность и качество, иметь возможность оценить и рассчитать соответствующие характеристики.

Исходными данными для анализа эффективности и качества функционирования являются: финансовые затраты на разработку, создание и эксплуатацию системы, включая зарплату персонала и расходы на обслуживание; параметры надежности отдельных устройств системы, период безотказной работы, время восстановления, вероятность отказа и т. д.; параметры достоверности процессов преобразования информации, возможность и способы исправления ошибок; параметры быстродействия системы, пропускная способность устройств и звеньев, скорости ввода и считывания информации и т. д.; параметры входных информационных потоков, интенсивность поступления документов, законы распределения потоков, их структура.

Основное содержание методики можно рассмотреть на примере задачи выбора одного из двух возможных вариантов информационной сети. На первом этапе исследования выполняется расчет экономической эффективности для каждого из рассматриваемых вариантов систем (методика анализа экономических показателей изложена подробно в п.1). При этом полагается, что сети идеализированы, т. е. обеспечивают стопроцентную надежность функционирования, а эффективность каждой из них зависит только от экономических показателей.

В результате экономического расчета определяются такие показатели, как, например, полные годовые затраты на создание (капитальные вложения) и затраты на функционирование системы (эксплуатационные расходы). Вводится так называемый относительный показатель эффективности, представляющий отношение полных затрат на одну и другую системы.

На *первом* этапе выбор системы анализа делается на основе минимума затрат или по значению относительного показателя, меньшего единицы.

На *втором* этапе определяется значение поправки в величине относительного показателя, для чего составляется имитационная программа. В результате структурного анализа технических и программных, средств исследуемый ИС выделяется и устанавливается соотношение между ее элементами и объектами системы моделирования.

На *третьем* этапе производится проверка достоверности модели по показателям адекватности, точности и сходимости (см. п.2). Это дает возможность оценить, насколько эффективна предложенная имитационная программа и насколько целесообразно ее использовать для анализа системы. По

указанной методике оценки эффективности и качества функционирования системы проводят ряд экспериментов, позволяющих определить важнейшие показатели (пропускную способность, результирующую надежность, достоверность).

Определим возможное значение экономии \mathcal{E}_m , которую можно получить при анализе и оценке эффективности и качества функционирования ИС.

За вычетом затрат на создание и использование программ и проведения их испытаний эта экономия складывается из трех основных составляющих:

$$\mathcal{E}_m = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_3 - W_m,$$

где \mathcal{E}_1 - эффект при выборе одного из нескольких вариантов технической реализации ИС; \mathcal{E}_2 - эффект, получаемый в результате моделирования ИС; \mathcal{E}_3 - эффект от оптимизации ИС.

Пусть \mathcal{E}_i — суммарный годовой экономический эффект, который можно получить при реализации i -го варианта системы. Он представляет собой разность между доходом D , получаемым объектом в процессе работы каждой из систем, и полными затратами на функционирование i -го варианта: $\mathcal{E}_i = D - W_i$.

Аналогично для j -го варианта системы: $\mathcal{E}_j = D - W_j$.

Относительный показатель эффективности идеализированной системы представляет собой отношение полных затрат на каждую из систем:

$$\eta_{ij} = W_i / W_j = 1 / \eta_{ji}$$

Дополнительная годовая экономия при правильном выборе варианта обусловлена снижением полных затрат на этот вариант, т. е.

$$\mathcal{E}_1 = \mathcal{E}_i - \mathcal{E}_j.$$

Это первая составляющая эффекта при внедрении ИС.

Вторая составляющая \mathcal{E}_2 обусловлена возможностью поиска режима согласованной работы элементов и звеньев системы, при котором потери информации, перерабатываемой ИС, минимальны в пределах данного варианта.

Значение относительного показателя эффективности изменяется при изменении величины потерь информации сложным образом, но максимальное относительное его изменение оказывается пропорциональным максимальным потерям, имеющим место в системе, т. е.

$$\gamma_{\max} = \frac{\Delta \eta_{\max}}{\eta} = \frac{\Delta I_{\max}}{I}.$$

Если максимальное значение потерь информации изменилось, например снизилось с $\Delta I_{\max H}$ до $\Delta I_{\max K}$, то относительный показатель эффективности η увеличился до величины η' , равной:

$$\eta' = \eta \left(1 - \frac{\Delta I_{\max H}}{I} + \frac{\Delta I_{\max K}}{I} \right).$$

Ниже следует вывод этой формулы.

Для системы без потерь имеем показатель эффективности η . Учет потерь ΔI_{\max} приводит к результату:

$$\eta_1 = \eta - \eta \frac{\Delta I_{\max H}}{I} = \eta \left(1 - \frac{\Delta I_{\max K}}{I} \right).$$

Уменьшение потерь происходит на величину $\Delta I_{\max H} - \Delta I_{\max K}$.

Тогда

$$\eta'_1 = \eta \left(1 - \frac{\Delta I_{\max H} - \Delta I_{\max K}}{I} \right)$$

До снижения потерь информации имел место эффект

$$\mathcal{E}_1 = W \left(\eta - 1 - \eta \frac{\Delta I_{\max}}{I} \right).$$

С уменьшением потерь реальный показатель увеличился на величину

$$\frac{\Delta I_{\max}}{I}$$

и вследствие этого изменился результирующий эффект до величины \mathcal{E}'_1 .

Отсюда

$$\mathcal{E}_2 = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}'_1 = W \eta \frac{\Delta I_{\max H} - \Delta I_{\max K}}{I}.$$

Следующий этап состоит в определении наибольшего значения показателя в пределах заданного стоимостного класса ИС, т. е. оптимизации ее структуры и организации управления.

В такой системе потери минимальны, показатель максимален. Дополнительный эффект \mathcal{E}_3 , получаемый при этом, определяется следующим образом:

$$\mathcal{E}_3 = W(\eta_{\max} - \eta_i) \left(1 - \frac{\Delta I_{\min}}{I} \right),$$

где η_{\max} — показатель эффективности оптимального варианта; η_i — показатель эффективности произвольного i -го варианта; ΔI_{\min} — минимальные потери в системе.

Таким образом, методика позволяет повысить эффективность работы ИС за счет правильного варианта системы, при котором обеспечивается минимум потерь информации, т. е. обеспечивается требуемое качество функционирования, и получить дополнительную экономию.

5 ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОПТИМАЛЬНОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВЦ И АП НА ТЕРРИТОРИИ РЕГИОНА С ЗАДАННОЙ ПЛОЩАДЬЮ

Пример решения указанной задачи представим с численными значениями, чтобы оценить полученные в результате расчетов величины.

Исходными данными для расчета являются:

- D, L - ширина и длина региона, определяемая согласно площади региона ($S = D \cdot L$).
- Принимаем $D=10, L=8$ км;
- $N=8000$ – число абонентов сети;
- $W_1=350$ - капитальные затраты на установку одного ВЦ, тыс. грн.;
- $W_2=15$ - капитальные затраты на установку одного АП, тыс. грн.;
- $W_3=20$ - стоимость 1 км канала связи между ВЦ, $\frac{\text{тыс.грн.}}{\text{км}}$;
- $W_4=10$ - стоимость 1 км канала связи между АП и ВЦ, $\frac{\text{тыс.грн.}}{\text{км}}$;
- $W_5=5$ - удельные затраты на передачу объема информации на единицу длины канала связи между ВЦ, $\frac{\text{тыс.грн.}}{\text{км}}$;
- $W_\Sigma = 15000$ - суммарные расходы на производство и обслуживание сети, тыс.грн.

Приняты обозначения: ВЦ – вычислительный центр, АП – абонентский пункт.

Решение.

1. Дадим рекомендации по выбору технических средств проектируемой информационной сети.

Определимся, что задана коммуникационная сеть с каналами средней удаленности и равномерным распределением затрат. На основании анализа начальных условий проектирования выбирается один из возможных вариантов исходной топологической структуры или стоимостной класс сети (рис. 1). Для неё составляются соответствующие расчетные соотношения. Так как задана коммуникационная сеть с каналами средней удаленности и равномерным распределением затрат, то этому случаю соответствует класс с индексами W_{222} . Общее выражение для полных затрат, включая затраты на создание сети, эксплуатационные расходы для любой ИС данного класса W_Σ имеет вид:

$$W_\Sigma (T) = n_T (C_T + R_T T) + n_K (C_K + R_K T) + n_Y (C_Y + R_Y T),$$

где $W_\Sigma (T)$ - полные суммарные затраты на создание сети и обслуживание ее функционирования в течение времени T ; n_T, n_K, n_Y - число в сети терминалов, каналов и узлов соответственно; C_T, C_K, C_Y - начальная стоимость одного терминала, канала и узла соответственно; R_T, R_K, R_Y - расходы денежных средств в единицу времени на эксплуатацию терминала, канала и узла соответственно; T - срок действия сети с начала функционирования.

Для сети с равномерно распределенным стоимостным классом W_{222} из него вытекает ряд следующих соотношений:

$$n_T(C_T + R_T T) \approx n_K(C_K + R_K T) \approx n_Y(C_Y + R_Y T),$$

$$C_T = R_T T; C_K = R_K T; C_Y = R_Y T,$$

откуда выражение суммарных затрат:

$$W_{\Sigma}(T) \approx 6n_T C_T \approx 6n_K C_K \approx 6n_Y C_Y.$$

Далее процесс проектирования продолжается выбором исходного варианта топологической структуры ИС, терминалов n_T , каналов связи и оборудования сетевых узлов, стоимость которых известна и последующий проверочный расчет в соответствии с полученными соотношениями.

Если стоимостные логические условия выполняются, то можно остановиться на сделанном выборе; если нет, то решение должно быть пересмотрено, т. е. должны быть изменены либо стоимость терминала, каналов связи и оборудования сетевых узлов, либо их число.

2. Решение задачи оптимального размещения узлов сети.

Введём ряд допущений, которые позволят получить решение в аналитическом виде - пользователи размещены по территории региона с равной плотностью; запросы пользователей однородны, а их поток имеет постоянную интенсивность во времени; преобразование, сбор и промежуточное хранение информации осуществляются в ВЦ и АП; потребители с АП и ВЦ связаны радиально.

Общая схема размещения ВЦ в сети представлена на рис. 2, где окружностями обозначены зоны действия каждого ВЦ.

Поиск R производится следующим образом: на большом интервале с заданным шагом берутся точки (значения R). Производится подстановка R в выражение минимизации затрат:

$$W = W_1 \cdot \frac{S}{R^2} + \frac{S}{r^2} (W_2 + 0,35 \cdot W_3 \cdot R) +$$

$$+ W_3 \left[2,82 \frac{S}{R} + 0,82 \cdot R - 1,82(D + L) \right] + 0,35 \cdot W_4 \cdot N \cdot r.$$

Находим частные производные от полных затрат W по переменным R и r с целью определения экстремальных значений этих величин для функции W и приравняв их нулю, решаем совместно полученные уравнения. Определяем корни полученного алгебраического уравнения. Для заданных значений коэффициентов найдем множество значений корней $R_{01} \dots R_{0i}$. Из этого множества, естественно, исключаются элементы, определяющие мнимые и отрицательные значения, остальные проверяются на соответствие физическому смыслу задачи.

Полученные значения затрат сортируются по возрастанию, наименьшие значения выводятся в списке найденных значений. Произведя вычисления, например, при помощи программы MathCad, получаем массив значений:

$$R = \{5,120 \ 5,200 \ 5,280 \ 5,360 \ 5,440 \ 5,520 \ 5,600 \ 5,680 \ 0,960 \ 5,760 \dots\}.$$

Выбрав одно из наиболее подходящих значений $R=5,12$ км, находим далее соответствующие этому значению величины, определяющие оптимальное

распределение затрат для синтезируемой сети:

- r_{CP} - среднее расстояние между АП и ВЦ:

$$r_{CP} = \frac{R}{2\sqrt{2}} = 1.81 \text{ км};$$

- n_{yO} - оптимальное число узлов (ВЦ):

$$n_{yO} = \frac{S}{4 \cdot r_{CP}^2} = 7;$$

- $n_{АП}$ - среднее число АП, подсоединенных к каждому узлу:

$$n_{АП} = \frac{N}{m \cdot n_{yO}} = 23,$$

где $m = N / (n_{yO} \cdot n_{АП}) = 50$ - среднее число абонентов на 1 АП.

После расчета основных параметров необходимо приступить к синтезу топологии ИС (рис 5).

Для топологического проектирования из перечисленных параметров наиболее важным является оптимальное число узлов в сети. В тех случаях, когда стоимость является главным критерием, синтез топологической структуры может быть проведен по минимуму этого критерия.

При решении поставленной задачи можно для пунктов расположения абонентов построить минимальное покрывающее дерево, обеспечивающее минимальное значение суммарной длины линий передачи сообщений между ВЦ, для этого применяется, как правило, алгоритм Литтла [1]. В некоторых случаях, когда задана исходная матрица расстояний, она может быть принята в качестве весовых значений дуг.

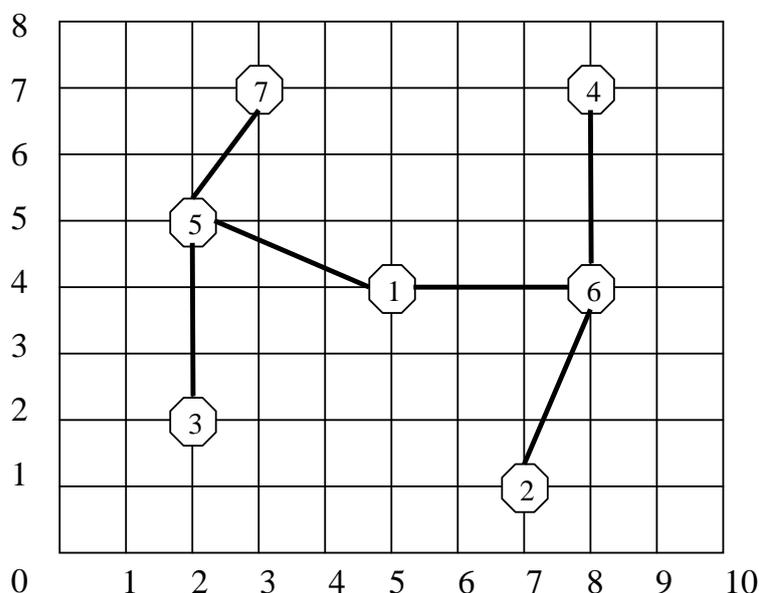


Рисунок 5 - Синтез топологии ИС

Координаты ВЦ согласно полученной топологической структуре сети сводим в таблицу (табл. 3).

Таблица 3 - Координаты ВЦ

Номер ВЦ	X, км	Y, км
1	5	4
2	7	1
3	2	2
4	8	7
5	2	5
6	8	4
7	3	7

3. Проведем простейший топологический анализ полученной сети.

При анализе сетевых топологических структур выделяют особенности их построения, характеризующие функционирование сети: определяют центральный узел сети и оптимально размещают коммутационные узлы.

Центр сети должен располагаться в таком узле, от которого сумма значений путей до всех остальных (коммутационных) была бы минимальной. Определив «вершину» сети, определяем функции узлов в рамках полученной топологии сети – определяем так называемые полярные пары типа «периферия-центр», «управляющий-подчиненный». Это позволяет рассматривать направления обмена данными, находить максимальные значения потоков и их распределение в принятой топологии сети.

Достижение цели топологического анализа осуществляется решением задачи о максимальном потоке (достижение максимально возможной эффективности связи).

Выделим функции узлов в рамках принятой топологии, как показано на рис.6 и определим объем обрабатываемых запросов (исходное распределение потоков по дугам сети) или объем информационно-вычислительных работ, выполняемых каждым ВЦ для группы m_i абонентов, принадлежащих к зоне i -го ВЦ. Если определить принадлежность запросов к зоне действия ВЦ следующим образом:

$$q_{ji} = \begin{cases} 1 & \text{при } m_j \in A_j \\ 0 & \text{при } m_j \notin A_j \end{cases},$$

где A_j - подмножество абонентов, принадлежащих зоне i -го ВЦ, то объем запросов, поступающих в ВЦ из зоны его действия, составит

$$Q_i = \sum_j m_j q_{ji}.$$

Тогда, согласно принятой топологии сети и проведенным ранее расчетам, получим: $Q_1=50$; $Q_2=50$; $Q_3=100$; $Q_4=50$; $Q_5=150$; $Q_6=50$; $Q_7=150$.

Очевидно, что значение m_i в данном случае приобретает смысловую нагрузку минимальной пропускной способности дуги (канала).

Найдем максимальный поток для нашего графа (см. рис. 6), на котором числа, указанные рядом с дугами, обозначают их минимальные пропускные способности, равные в нашем случае m_i . Поочередно будем выделять направленные пути графа, ведущие от периферии (самого удаленного узла) к центру.

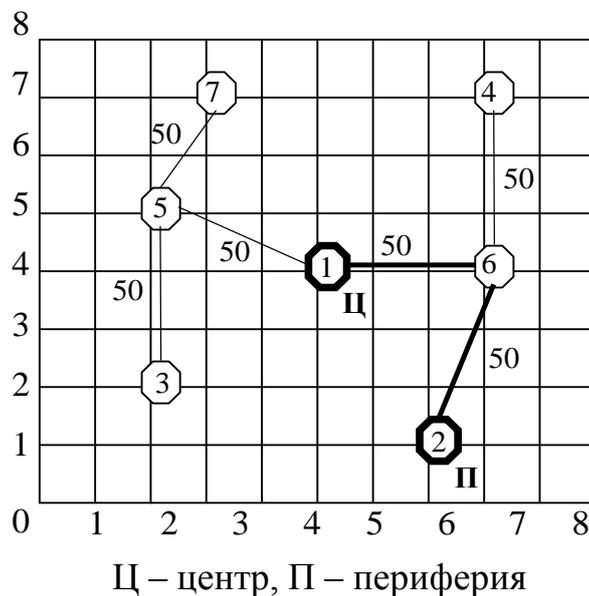


Рисунок 6 - Функции узлов проектируемой сети

В данном случае существует только один направленный путь, помеченный жирной линией. Тогда, минимальная пропускная способность M разреза $П-Ц$ равна:

$$M_{П-Ц} = m_{2-6} + m_{6-1} = 100.$$

Это и соответствует максимальному потоку.

4. *Проведем функционально-стоимостной анализ сети.*

После получения топологии сети необходимо рассчитать оптимальные затраты на установку сети в регионе и ее функционирование. За критерий оптимизации принимаем приведенные затраты на создание и функционирование сети $W = W' + W''$, где W' - затраты на производство сети, а W'' - затраты на ее функционирование.

Для этого строятся вспомогательные матрицы: матрица смежности $|C_m|$ и матрица расстояний $|R|$.

Матрица смежности заполняется по следующим соображениям:

- $C_{m_{ij}} = 0$, если нет связи между узлами i и j ;
- $C_{m_{ij}} = 1$, если есть связь между узлами i и j ;
- $C_{m_{ij}} = \langle - \rangle$, если $i = j$.

Матрица смежности $|C_m|$:

$$\begin{matrix}
 & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\
 \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} & \left| \begin{array}{ccccccc}
 - & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & - & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & - & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & - & 0 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 1 & 0 & - & 0 & 1 \\
 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & - & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -
 \end{array} \right. & = C_{m_{ij}} .
 \end{matrix}$$

Матрица $|R|$ показывает относительное расстояние между узлами и заполняется по следующим соображениям:

- $R_{ij} = 0$, если нет связи между узлами i и j ;
- $R_{ij} = \frac{\text{Dist}_{ij}}{R}$, если есть связь между узлами i и j ,

где $\text{Dist}_{ij} = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$ - расстояние между узлами i и j ;

- $R_{ij} = \langle - \rangle$, если $i = j$.

Матрица расстояний $|R|$:

$$\begin{array}{c|ccccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \\ \hline 1 & - & 0 & 0 & 0 & 0,62 & 0,70 & 0 \\ 2 & 0 & - & 0 & 0 & 0 & 0,62 & 0 \\ 3 & 0 & 0 & - & 0 & 0,44 & 0 & 0 \\ 4 & 0 & 0 & 0 & - & 0 & 0,59 & 0 \\ 5 & 0,62 & 0 & 0,44 & 0 & - & 0 & 0,44 \\ 6 & 0,70 & 0,62 & 0 & 0,59 & 0 & - & 0 \\ 7 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0,44 & 0 & - \end{array} = R_{ij} .$$

Результирующие расходы W' получаются как сумма капитальных затрат на установку АП и ВЦ, и капитальных затрат на прокладку каналов связи

$$W' = W_{\text{КАП}} + W_{\text{КАН}}, \text{ где:}$$

- затраты на установку АП и ВЦ:

$$W_{\text{КАП}} = n_{\text{ВО}} \cdot (W_1 + W_2 \cdot n_{\text{АП}}) = 4865 \text{ тыс. грн.};$$

- затраты на проведение каналов связи:

$$W_{\text{КАН}} = \sum_{ij} \frac{R_{ij} \cdot R \cdot W_3}{2} + n_{\text{ВО}} \cdot n_{\text{АП}} \cdot r_{\text{СР}} \cdot W_4 = 3262,456 \text{ тыс. грн.}$$

Следовательно,

$$W' = 4865 + 3262,456 = 8127,456 \text{ тыс. грн.}$$

Определим расходы на функционирование сети W'' .

Расстояние между i -м и k -м ВЦ обозначим R_{ik} , через Q_{ik} - среднее значение объема информации, циркулирующей между ВЦ с номерами i и k , а через $W_{ik} = W_5$ - удельные затраты на передачу объема информации на единицу длины канала связи между этими ВЦ. Рассматриваемая задача относится к числу оптимизационных задач с детерминированными переменными, то есть необходимо минимизировать затраты

$$W'' = \sum_{ik} W_{ik} Q_{ik} R_{ik} .$$

Очевидно, что расстояния между ВЦ будут определены из матрицы расстояний $|R|$, удельные затраты W_5 заданы, а среднее значение объема информации, циркулирующей между ВЦ, определяется объемом запросов, поступающих в ВЦ из зоны его действия - Q_i и было рассчитано ранее, тогда:

$$\begin{aligned} W'' = W_5 \sum_{ik} Q_{ik} R_{ik} = & 5 \times (100 \times (R_{15} + R_{16})) + \\ & + 5 \times (50 \times (R_{35} + R_{26} + R_{75} + R_{46})) + \\ & + 5 \times (150 \times (R_{53} + R_{62} + R_{57} + R_{64} + R_{51} + R_{61})) = 4047.5 \text{ тыс. грн.} \end{aligned}$$

Тогда, приведенные затраты на создание и функционирование сети будут:

$$W = W' + W'' = 8127.456 + 4047.5 = 12174.956 \text{ тыс.грн.}$$

Вывод. По условию, суммарные расходы не должны превышать $W_{\Sigma} = 15000$ тыс.грн. Очевидно, что суммарные расходы не превышают расчетные на производство и обеспечение функционирования сети:

$$W_{\Sigma} > W, \\ 15000 > 12174.956,$$

следовательно, выбор оборудования и расчеты проведены корректно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Очевидно, диапазон применения ИС необычайно широк, однако чтобы внедрение любой из них в той или иной сфере было экономически целесообразным и социально оправданным, необходимы основательная научная и инженерно-конструкторская проработка, хорошее технико-экономическое обоснование предлагаемых решений. В этом плане вполне понятна роль теории ИС, позволяющей установить закономерности, свойства и возможности разрабатываемых сетей, основные положения которой излагаются в данном пособии.

Для изучения теории основ информационных (вычислительных) сетей необходимы знания исходных понятий и положений фундаментальных разделов теории сетей, которые уходят в область математики. Это, в частности, теория графов, теория матриц, теория массового обслуживания и др. Они представлены в пособии в форме, ориентированной на прикладное значение. В тоже время, изучив основные понятия сейчас и самостоятельно углубив свои знания по фундаментальным направлениям, можно научиться в дальнейшем эффективно применять их в инженерных расчетах и научных исследованиях, связанных с разработками и построением информационных и вычислительных сетей.

ПЕРЕЧЕНЬ ССЫЛОК

- 1 Морозов В.К. Основы теории информационных сетей: Учеб. для студентов вузов спец. “Автоматизация и механизация процессов обработки и выдачи информации”/ В. К. Морозов, А. В. Долганов. – М.: Высш. шк. , 1987. – 271с.
- 2 Бери Нанс. Компьютерные сети. - М.: Биномб, 2001 – 440 с
- 3 Технологии корпоративных сетей: Энциклопедия. – СПб.: Питер, 1994. – 304 с., ил.
- 4 Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. Учебник для вузов./В.Г Олифер, Н.А. Олифер. – СПб.: Питер, 2003. – 864 с.
- 5 Нейлор Т. Имитационные эксперименты с моделями экономических систем. - М., 1975.
- 6 Дэвис Д. Вычислительные сети и сетевые протоколы. / Дэвис Д., Барбер А., Прайс У. - М., 1982.
- 7 Рогинский В.Н. Теория сетей связи./ Рогинский В.Н., Харкевич А.Д., Шнепс М.А. - М., 1981.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ К САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ

Решить задачу размещения ВЦ и АП на территории региона с заданной площадью – синтезировать топологию сети и провести функционально-стоимостной анализ спроектированной сети.

Исходные данные к задаче представлены в табл. А.1.

Таблица А.1 - Исходные данные для задачи размещения ВЦ и АП

№ П/П	Площадь региона, S , км ²	Число абонентов сети, N	Капитальные затраты на установку одного ВЦ, W_1 , тыс.грн.	Капитальные затраты на установку одного АП, W_2 , тыс.грн.	Стоимость 1км канала связи между ВЦ, W_3 , тыс.грн./км	Стоимость 1км канала связи между АП и ВЦ, W_4 , тыс.грн./км	Суммарные выделенные средства, W_5 , тыс.грн.
1	100	10000	500	20	20	10	10000
2	100	8000	500	20	20	10	10000
3	100	7000	500	20	20	10	10000
4	100	6000	500	20	20	10	10000
5	100	5000	500	20	20	10	10000
6	100	4000	500	20	20	10	10000
7	100	3000	500	20	20	10	10000
8	100	2000	500	20	20	10	10000
9	100	1000	500	20	20	10	10000
10	100	500	500	20	20	10	10000
11	80	10000	350	15	20	10	50000
12	80	8000	350	15	20	10	50000
13	80	7000	350	15	20	10	50000
14	80	6000	350	15	20	10	50000
15	80	5000	350	15	20	10	50000
16	80	4000	350	15	20	10	50000
17	80	3000	350	15	20	10	50000
18	80	2000	350	15	20	10	50000
19	80	1000	350	15	20	10	50000
20	80	500	350	15	20	10	50000
21	50	10000	250	10	20	10	10000
22	50	8000	250	10	20	10	10000
23	50	7000	250	10	20	10	10000
24	50	6000	250	10	20	10	10000
25	50	5000	250	10	20	10	10000
25	50	4000	250	10	20	10	10000
27	50	3000	250	10	20	10	10000
28	50	2000	250	10	20	10	10000
29	50	1000	250	10	20	10	10000
30	50	500	250	10	20	10	10000

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ ПО КУРСУ «АСОИС»

1 Общая характеристика протоколов локальных сетей

- Топология и структура стандартов IEEE 802.x
- Протокол и процедуры уровня LLC
- Структура кадров LLC и процедура LLC2

2 Технология Ethernet

- Метод и этапы доступа CSMA/CD, MAC-адреса
- Время двойного оборота, возникновение и распознавание коллизий
- Максимальная производительность сети Ethernet
- Форматы кадров технологии Ethernet

3 Спецификации физической среды Ethernet

- Стандарты 10Base-x(5,2,T). Общие характеристики стандартов Ethernet 10 Мбит/с
- Оптоволоконная сеть Ethernet, домен коллизий

4 Методика расчета конфигурации сети Ethernet

- Расчет PDV
- Расчет PW

5 Технология Token Ring

- Маркер и маркерный метод доступа к разделяемой среде
- Форматы кадров Token Ring. Кадр данных и прерывающая последовательность
- Приоритетный доступ к кольцу. Физический уровень технологии Token Ring

6 Технология FDDI

- Основные характеристики технологии. Особенности метода доступа FDDI
- Отказоустойчивость технологии FDDI. Физический уровень технологии FDDI
- Сравнение FDDI с Ethernet и Token Ring

7 Развитие технологии Ethernet

- Fast Ethernet
- Физический уровень технологии Fast Ethernet. Физический уровень 100Base-x (FX, TX, T4)
- Правила построения сегментов Fast Ethernet при наличии повторителей. Ограничения длины сегментов DTE-DTE. Ограничения сетей Fast Ethernet, построенных на повторителях
- Особенности технологии IOGVG-AnyLAN

8 Gigabit Ethernet

- Средства обеспечения диаметра сети в 200 м на разделяемой среде

9 Спецификации физической среды стандарта 802.3z

- Многомодовый кабель. Одномодовый кабель. Твинаксиальный кабель. Gigabit Ethernet на витой паре категории 5.

ПРИЛОЖЕНИЕ В

ВОПРОСЫ К ЗАЧЕТУ

1. Понятие многопользовательских систем и сетевых объединений
2. Развитие вычислительных сетей
3. Преимущества распределенной обработки информации
4. Основные элементы сети
5. Основные понятия теории сетей
6. Определение сети
7. Узлы сети
8. Классификация сетей
9. Локальная вычислительная сеть
10. Способы коммутации каналов
11. Способы коммутации сообщений
12. Способы коммутации пакетов
13. Передача данных в сетях
14. Виды связи и режимы работы сетей передачи сообщений
15. Протоколы
16. Эталонная модель взаимосвязи открытых систем (ЭМВОС)
17. Основные элементы сети передачи данных (СПД)
18. Коммуникационные средства вычислительных сетей
19. Линии передачи данных
20. Каналы передачи данных
21. Межсетевые устройства
22. Назначение сетевых операционных систем
23. Структура сетевой операционной системы
24. Одноранговые сетевые ОС и ОС с выделенными серверами
25. ОС для рабочих групп и ОС для сетей масштаба предприятия
26. Требования, предъявляемые к ОС
27. Вычислительные сети систем управления техническими процессами
28. Иерархическая структура технических процессов
29. Сбор данных и потоки информации в управлении процессами
30. Протокол автоматизации производства (MAP)
31. Служба производственных сообщений
32. Шины локального управления (Fieldbus)

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

к самостоятельной работе
по дисциплине
«Анализ, синтез и оптимизация информационных сетей»

(для студентов заочной формы обучения
Специальностей 123 и 151)

Составитель

Олег Владимирович Субботин

Без редактирования.

Подписано в печать

Формат 60×90/16

Ризограф. печать. Усл. печ. л. 2,25

Уч.-изд. л. 1,63

Тираж 10 экз.

Заказ №

ДГМА. 84313, Краматорск, ул. Шкадинова, 72