

# **МОДЕЛЬ И МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ СТРУКТУРИРОВАННЫХ КАБЕЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Исполнитель **Галямов В.А.**

Научный руководитель д.ф.м.н., профессор **Попков В.К.**

---

# Цель диссертационной работы

- **Цель диссертационной работы** состояла в исследовании и разработке математических моделей СКС, разработке на их основе методики, алгоритмов построения оптимальных сетей СКС, а также анализа и синтеза объектов сетевых структур.

## Задачи исследования

- Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:
- Разработка структуры и принципов построения системы моделирования сетей и автоматизированного поиска проектных решений.
- Исследование способов представления математических моделей СКС.
- Разработка алгоритмов для задач анализа, синтеза и исследования СКС.

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложения.

В первой главе были введены основные термины и определения.

Рассмотрены основные варианты топологического построения СКС.

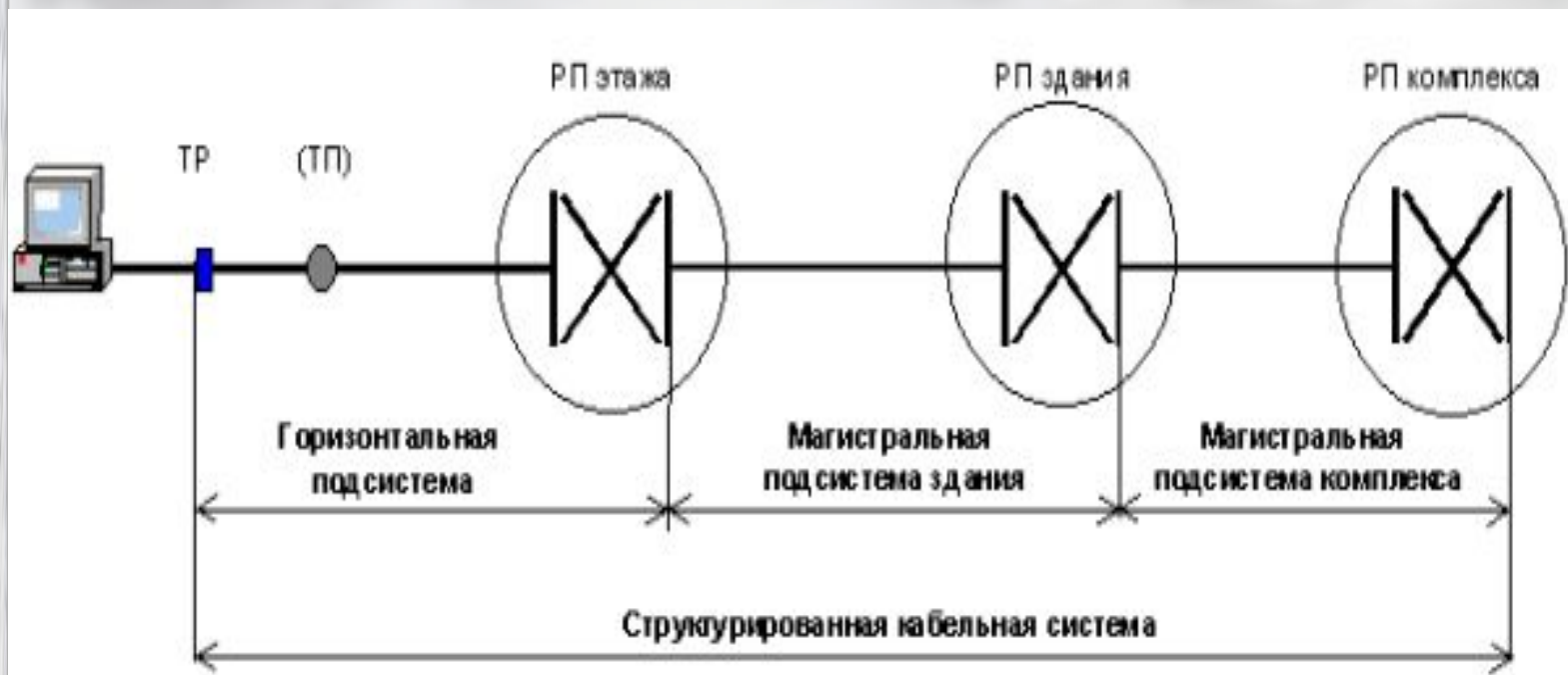
Обозначены общие задачи оптимизации, возникающие при проектировании.

## Подсистемы СКС

Международные / европейские стандарты подразделяют СКС на **три подсистемы**: магистральная подсистема комплекса, магистральная подсистема здания, горизонтальная подсистема.

Распределительные пункты обеспечивают возможность создания топологии каналов типа "шина", "звезда" или "кольцо".

*Рис. 1. Подсистемы СКС*



## Топология СКС

Топология СКС - "иерархическая звезда", допускающая дополнительные соединения распределительных пунктов одного уровня. Однако такие соединения не должны заменять магистрали основной топологии. Число и тип подсистем зависит от размеров комплекса или здания и стратегии использования системы. Например, в СКС одного здания достаточно одного РП здания и двух подсистем - горизонтальной и магистральной. С другой стороны, большое здание можно рассматривать как комплекс, включающий все три подсистемы, и в том числе, несколько РП здания.

Рис. 2. Топология СКС

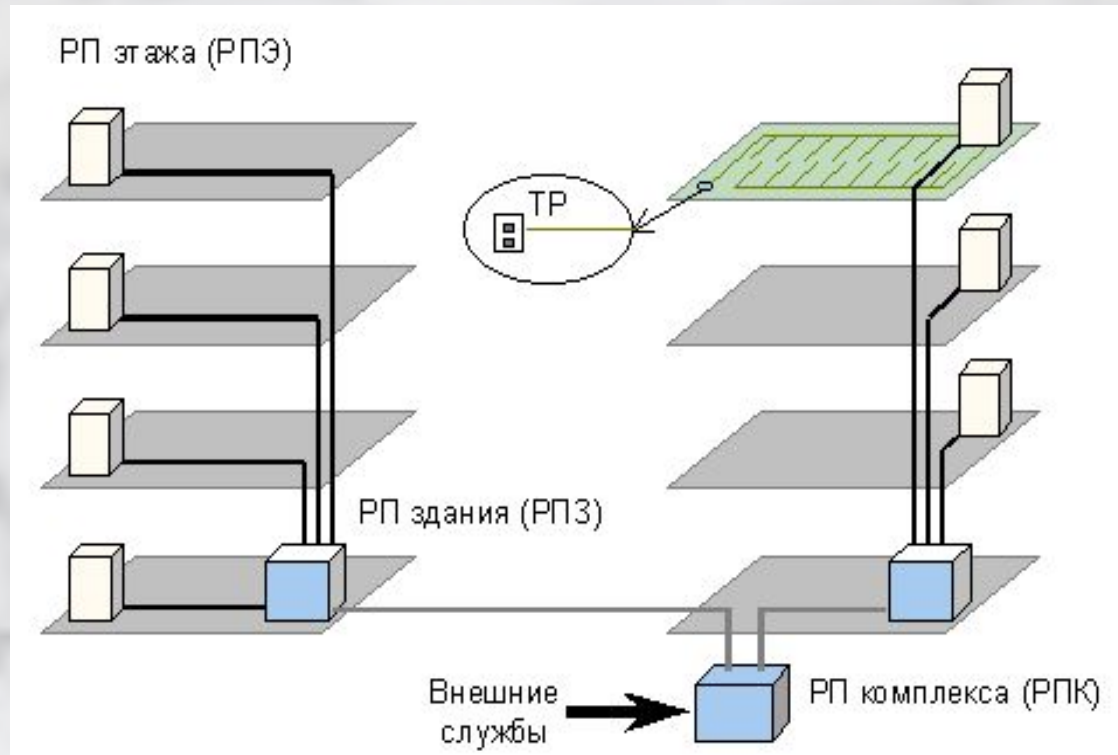
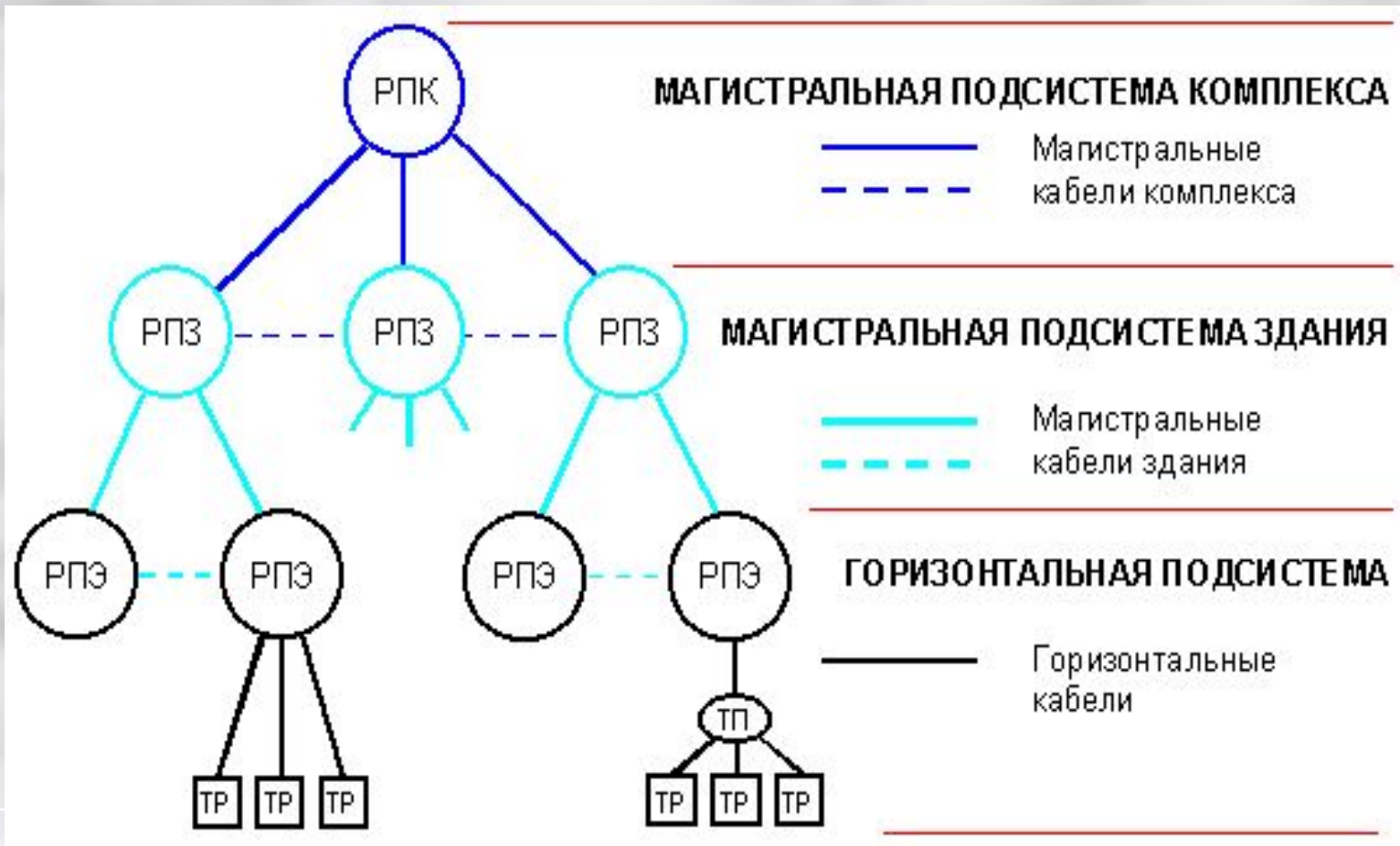


Рис. 3. Топология "иерархическая звезда"



- Задачи оптимизации проектирования СКС состоят в следующем:
- Разработка математических моделей для задачи оптимизации структур СКС с учётом архитектурных и градостроительных факторов.
- Определение этапов создания кабельных систем для эффективной реализации проектируемых на длительный срок структур.
- Разработка методов оптимизации СКС. При этом учитываются не только интересы заказчиков, но и следующие моменты:
  - может минимизироваться стоимость СКС и достигаться большой эффект при соответственно высоких затратах;
  - могут разрабатываться такие структуры СКС, которые при тех же затратах обладают наибольшей надёжностью.



Вторая глава посвящена методологическим вопросам оптимизации СКС:

- Рассмотрен процесс проектирования
- Сделано морфологическое и формальное описание
- Приведена технология формулировки задач проектирования
- Описаны методы и алгоритмы для поиска оптимальных структур
- Кратко изложена технология мультидиалогового моделирования

Проектирование СКС, представляет собой весьма сложную проблему. Процесс проектирования сети целесообразно разделить на несколько этапов:

- 1. Постановка задачи, в результате которой выбираются критерии планирования сети и формируются исходные данные, формализованные по заранее заданным правилам.
- 2. Краткосрочное и долгосрочное прогнозирование исходных данных и выбор номенклатуры услуг.
- 3. Декомпозиция задачи, состоящая в постановке вопросов по архитектурной и телекоммуникационной фазе проектирования.
- 4. Разработка возможных сценариев по созданию или развитию фрагмента телекоммуникационной системы,
- 5. Анализ возможных сценариев с учетом финансовых, технических и иных ограничений; выбор тех сценариев, которые могут быть реализованы.
- 6. Решение поставленной задачи путем использования соответствующих математических методов.
- 7. Интерпретация результатов решения с учетом неформализуемых ограничений и составление необходимой проектной документации.

В третьей главе ставится содержательная постановка задачи построения СКС.

Описывается математическая модель и основные процедуры синтеза СКС.

Решена задача оптимизации структуры СКС при заданной схеме организации структуры.

Решена задача оптимизации структуры СКС, как задача размещения.

Описывается построение оптимального варианта топологии типа 'кольцо' путем решение задачи поиска циклического маршрута в гиперсетях.

- сформулируем в общем виде задачу оптимального построения СКС.
  - Пусть известны:
    - .Граница района проектируемой сети.
    - .Типы застроек в этом районе и типовые планы зданий.
    - .Заявки на услуги связи (телефонная связь, передача данных, кабельное телевидение), виды возможных приложений.
    - .Типы кабелей и коммутационного оборудования (выпускаемые производством на день проектирования).
    - .Стоимостные характеристики: кабелей, систем передачи, коммутационного оборудования, подготовки помещений для станций и узлов, строительных работ по канализации (если отсутствует телефонная) и пр.
    - .Нормы на категории и длины кабелей и шнуров СКС.
    - .Возможные места расположения коммутационного и другого оборудования.
    - .Предельную ёмкость телефонной станций и максимальную пропускную способность ЛВС и требование на конфиденциальность.
    - .Сеть ситуационных трасс и существующая кабельная канализация для внешних магистралей.

Требуется определить:

1. Число сетевых узлов.
2. Номенклатуру оборудования.
3. Места расположения аппаратных и кроссовых, а также коммутационного оборудования и соответствующие им границы влияния.
4. Сеть канализации.
5. Трассы горизонтальной и магистральных подсистем
6. Типы коммутационного оборудования и типы кабелей и их стоимость прокладки.

При следующих требованиях и ограничениях:

- минимизация капитальных суммарных затрат на сетевые узлы и линейные сооружения.

достаточная для всех сетей пропускная способность.

удовлетворение всех каналов электросвязи определённым характеристикам (норма затухания, ёмкость)

ограниченная в пределах стандартных градаций ёмкость коммутационного оборудования, а также удовлетворение ёмкости систем передач заданным потребностям абонентов сети.

Анализ текущих затрат по всем вариантам реализации СКС показал, что эти затраты в основном зависят от капитальных вложений. Следовательно, при оптимизации СКС достаточно в целевую функцию включить только капитальные затраты.

Общая величина капвложений на строительство сети определяется по формуле:

$$S_{\text{сети}} = S_{\text{об}} + S_{\text{каб.АБ.сети}} + S_{\text{к}}$$

где,  $S_{\text{об}}$  - стоимость приобретения и монтажа оборудования коммутации,

$S_{\text{каб.сети}}$  - общая стоимость приобретения, прокладки и монтажа кабелей сети СКС,

$S_{\text{к}}$  - общая стоимость кабельных каналов, канализации, земляных работ, оборудования технических помещений на участках сети, по которым проходят трассы кабелей сети СКС.

Окончательно, содержательную постановку задачи построения оптимальной структурированной кабельной системы можно сформулировать следующим образом:

Требуется, найти структуру СКС такую, чтобы капитальные затраты на её строительство были минимальными и при этом были выполнены все выше перечисленные условия и ограничения.

В качестве математической модели СКС будем использовать гиперсеть .

Одним из основных понятий у нас будет фигурировать гиперсеть с иерархической вторичной сетью.

Формально гиперсеть можно определить шестёркой  $AS = (X, V, R, P, F, W)$

Абстрактной гиперсетью  $AS$  назовём совокупность, включающую такие объекты:

$X = (x_1, \dots, x_n)$  - множество вершин;

$V = (v_1, \dots, v_g)$  - множество ветвей;

$R = (r_1, \dots, r_m)$  - множество рёбер;

$P: V \rightarrow 2^X$  - отображение, сопоставляющее каждому элементу  $v \in V$  множество  $P(v)$  из  $X$  его вершин.

Тем самым отображение  $P$  определяет гиперграф  $PS = (X, V, P)$ .

$F: R \rightarrow 2^V_{PS}$  - отображение, сопоставляющее каждому элементу  $r \in R$  множество  $F(r)$  его ветвей.

Причём семейство подмножеств ветвей  $2^V_{PS}$  содержит такие подмножества, ветви которых

составляют связную часть гиперграфа  $FS = (V, R, F)$ ;

Для любого  $r \in R$   $W: r \rightarrow 2^{P(F(r))}$  - отображение, сопоставляющее каждому элементу  $r \in R$  подмножество  $W(r) \in P(F(r))$  его вершин, где  $P(F(r))$  - множество вершин в  $PS$ , инцидентных ветвям  $F(r)$  из  $V$ . Таким образом, отображение  $W$  определяет гиперграф  $WS = (X, R, W)$ .

Абстрактная гиперсеть называется гиперсетью, если для любых  $v, r$  принадлежащих  $V, R$   $|P(v) \cap W(r)| = 2$ . А для любых  $r$  из  $R$  множество  $F(r)$  входящее в  $V$  составляет маршрут в графе  $PS = (X, V)$ .

Таким образом, первичная  $PS$  и вторичная сети  $WS$  гиперсети  $S$  являются графами, а  $F$  отображает рёбра  $WS = (X, R)$  в маршруты графа  $PS = (X, V)$ .

Рассмотрим теперь структуру СКС с учётом деления её на подсистемы. Зададим структурированную кабельную систему гиперсетью  $N = (X, V, A, B, C)$ , где:

$X = (x_1, \dots, x_n)$  - множество вершин

$V = (v, \dots, v)$  - множество ветвей

$A = (a, \dots, a)$  - множество рёбер внешней магистрали

$B = (b, \dots, b)$  - множество рёбер внутренней магистрали

$C = (c, \dots, c)$  - множество рёбер горизонтальной магистрали

$R = A + B + C$  .

Для полного описания математической модели определим параметры элементов сети различного назначения.

*Метрические характеристики*

$p(v)$  – длина участка ситуационной трассы (длины ветвей  $v \in V$ ).

$r_{ij}$  – длина ребра,  $r \in R$

*стоимостные характеристики:*

стоимости  $a(v)$  строительных работ на единицу длины ветви  $v$ ;

стоимости  $b(r)$  монтажных работ на единицу длины ребра.

$d_i$  - затраты на размещение распределительной этажа в  $i$ -м пункте.

$a_{ijk}$  – стоимость кабельной линии категории  $k$  от  $j$ -й точки подключения до  $i$ -й распределительной этажа, включая стоимость розеточного модуля той же категории.

$c_k$  – стоимость коммутационного оборудования типа  $k$ , включая стоимость её монтажа.

*Целевая функция СКС*

Линейные сооружения:

$\Psi(S) = \sum \sum a(v)p(v) + \sum b(r)p(r)$ ,  $v \in V, r \in R = A+B$  – стоимость монтажных и строительных работ для магистралей, первое слагаемое определяет затраты на кабельную канализацию и кабельные каналы, а второе на монтаж и стоимость кабеля.

$\sum a_{ijk}, r_{ijk} \in C$  – стоимость кабельных линий категории  $k$  от  $j$ -х точки подключения до  $i$ -х распределительных этажа, включая стоимость розеточного модуля той же категории. Определяет затраты на горизонтальную подсистему.

Узловые сооружения:

$\sum d_i$  – суммарные затраты на размещение распределительных этажа в  $i$ -х пунктах.

$\sum c_k$  – суммарная стоимость коммутационного оборудования типа  $k$ , включая стоимость её монтажа.

$$U = \sum d_i + \sum c_k$$

Таким образом, вся сеть будет оцениваться функцией:  $Q = \Psi(S) + U$ .

Следовательно, задача построения оптимальной СКС заключается в следующем:

**Q стремится к Min**

**При выполнении следующих требований и ограничений**

1.  $r_{ijk} \in R$  – кабельные линии типа k меньше верхней оценки длины линии, характеризующей выполнения норм по затуханию.

2. Прокладка внешней магистрали осуществляется согласно топооснове, сети ситуационных трасс и с учётом существующей канализации.

3. Предполагаемые нагрузки на услуги телефонной связи и передачи данных и других услуг не превышает возможности коммутационного оборудования. Напротив, осуществляется резервирования ресурсов линейных трактов и коммутационного оборудования.

**Требуется определить:**

1. Число сетевых узлов СКС, их границы влияния и места расположения.

2. Номенклатуру оборудования коммутации.

3. Сеть канализации и кабельных каналов.

4. Тип кабелей.

5. Полную сеть кабельных линий.

Рис. 3.1 Ограничения на длины

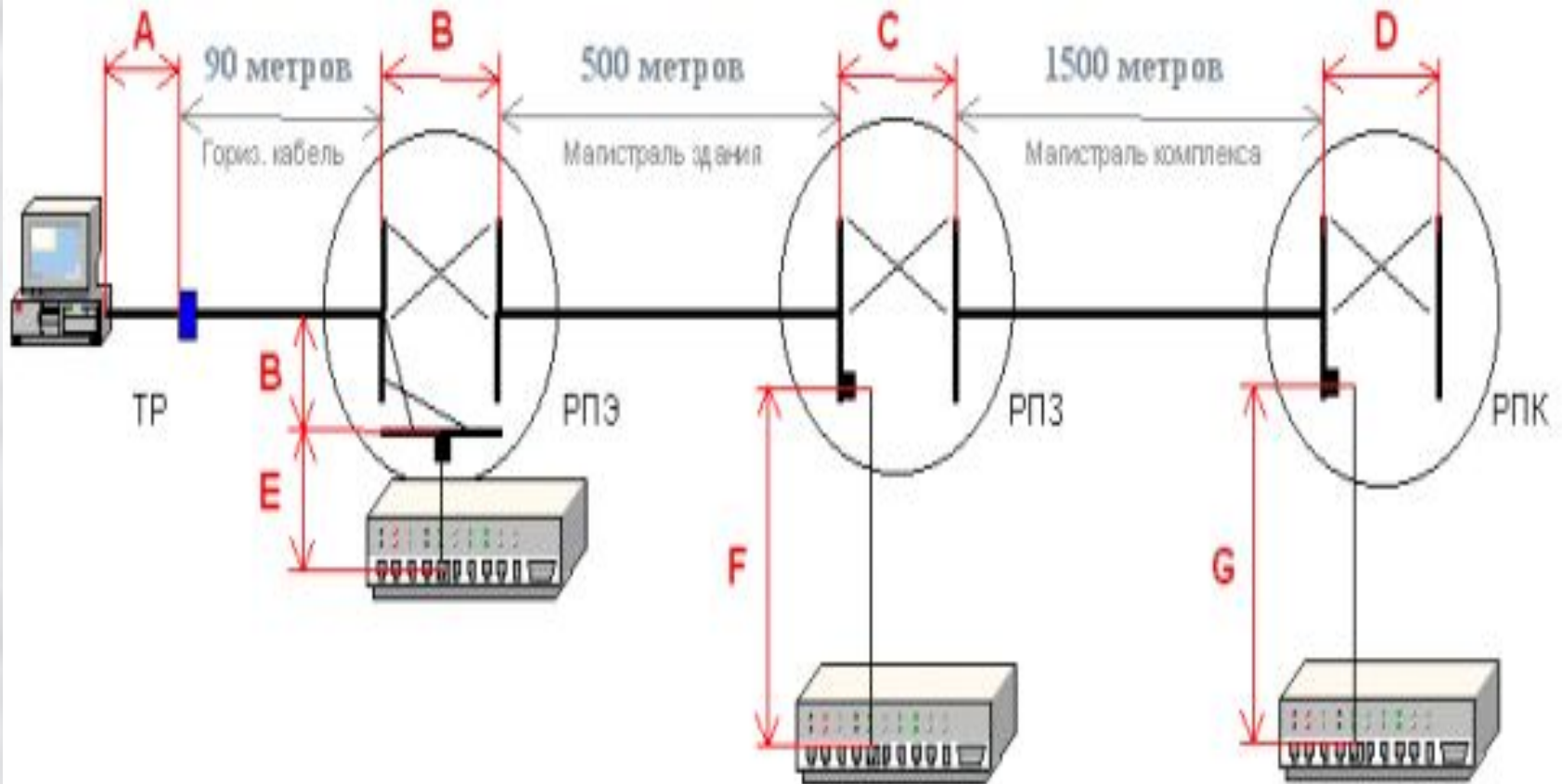




Рис. 3.2 модель с электрическим кабелем

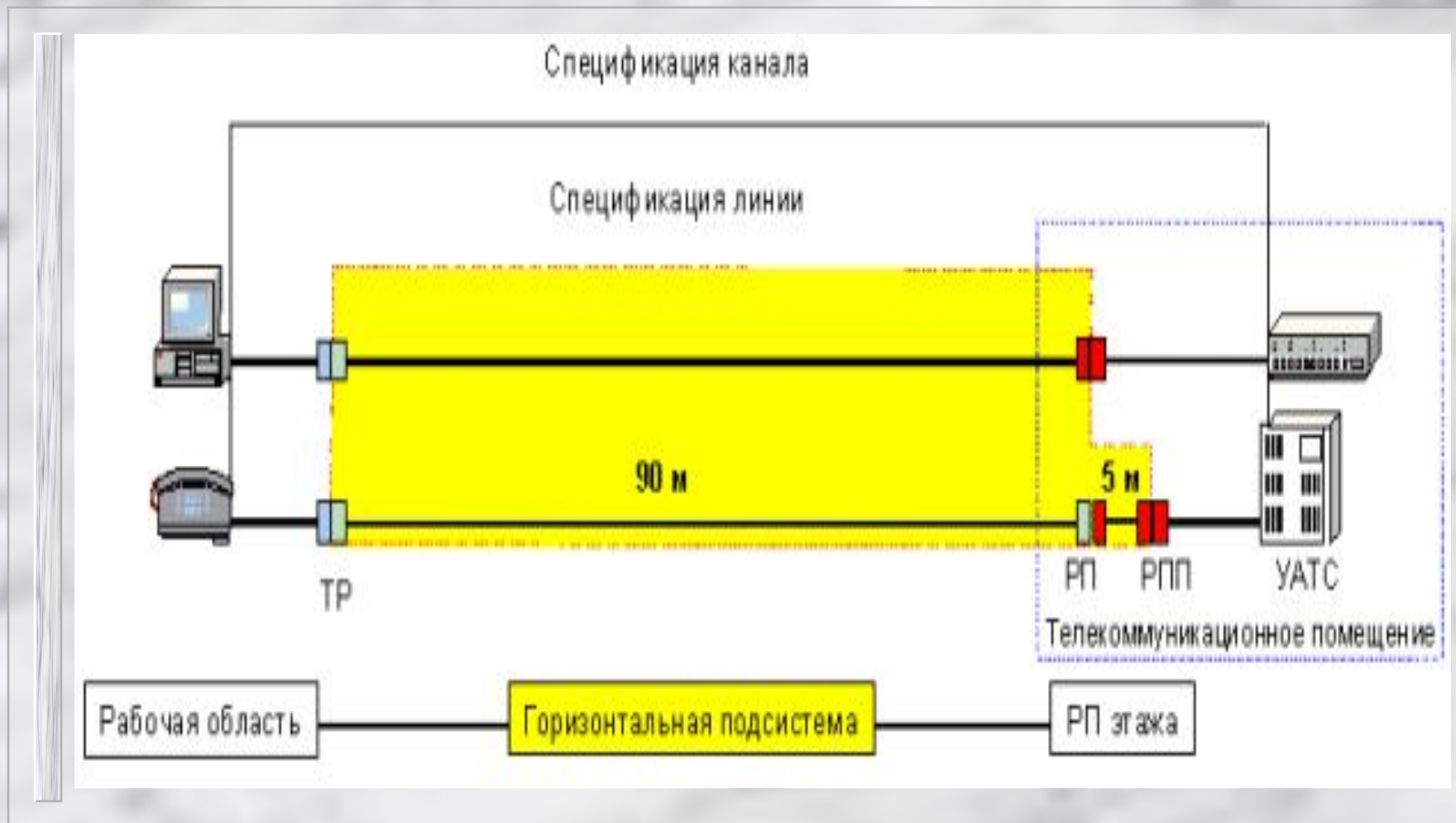
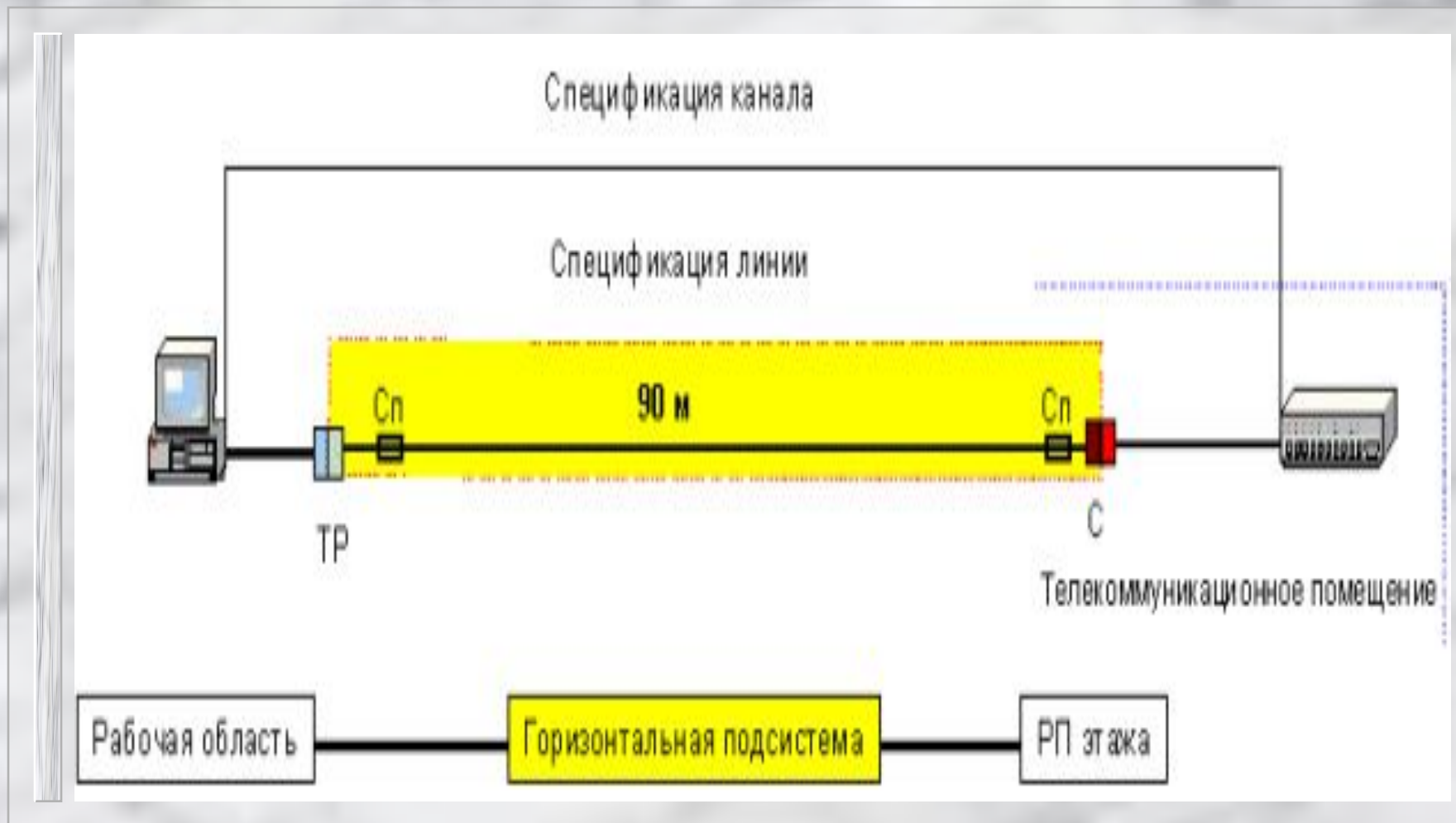


Рис. 3.3 модель с оптоволокном



В четвёртой главе речь идёт о реализации генетического алгоритма.

Здесь были введены основные понятия теории генетических алгоритмов. Рассказано о реализации классического генетического алгоритма и о разработке нового для использования при решении задач синтеза.

Далее было проведено экспериментальное сравнение разработанных алгоритмов для задачи оптимизации структуры СКС при заданной схеме организации сети

Рис. 4 Блок- схема классического алгоритма

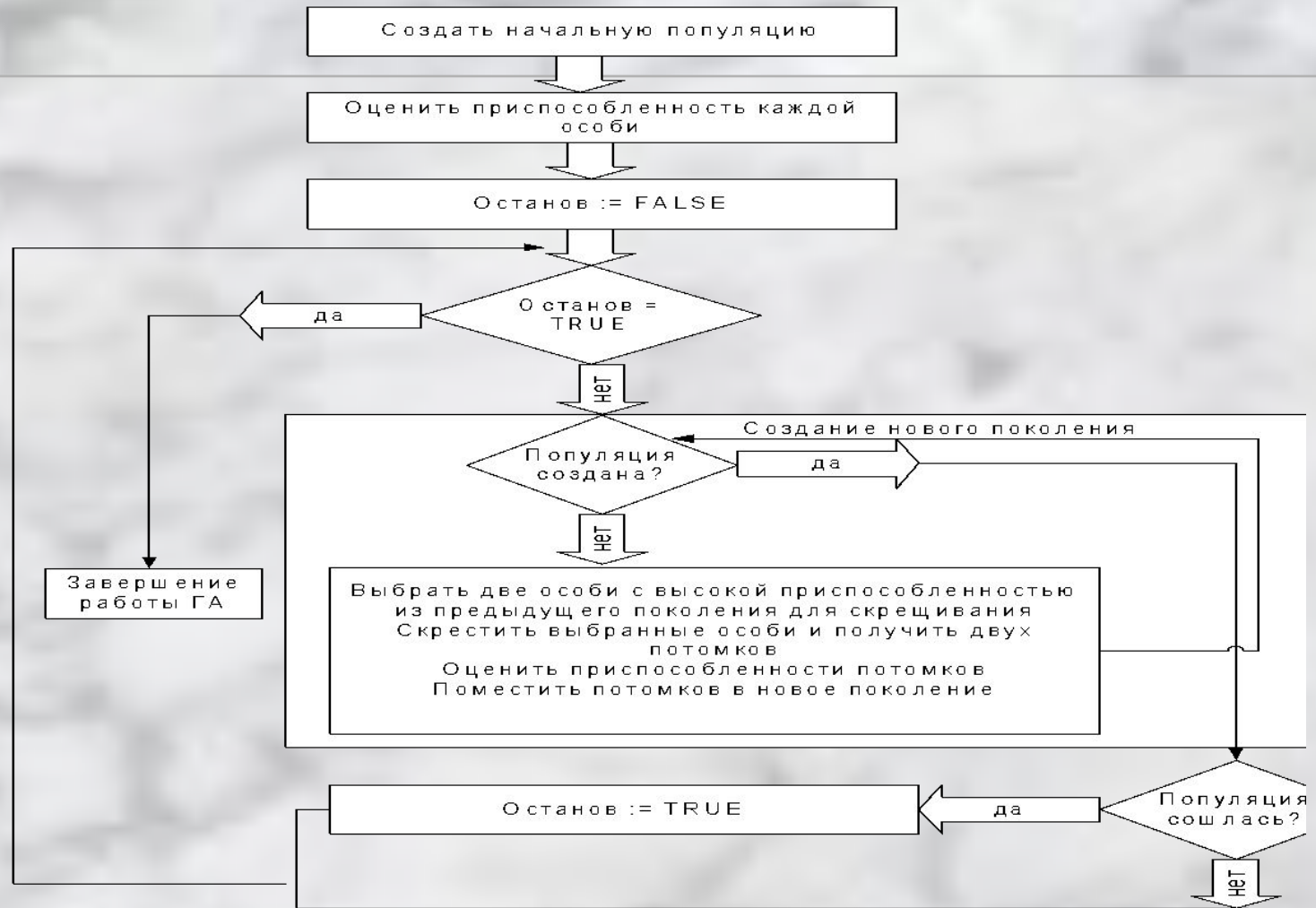
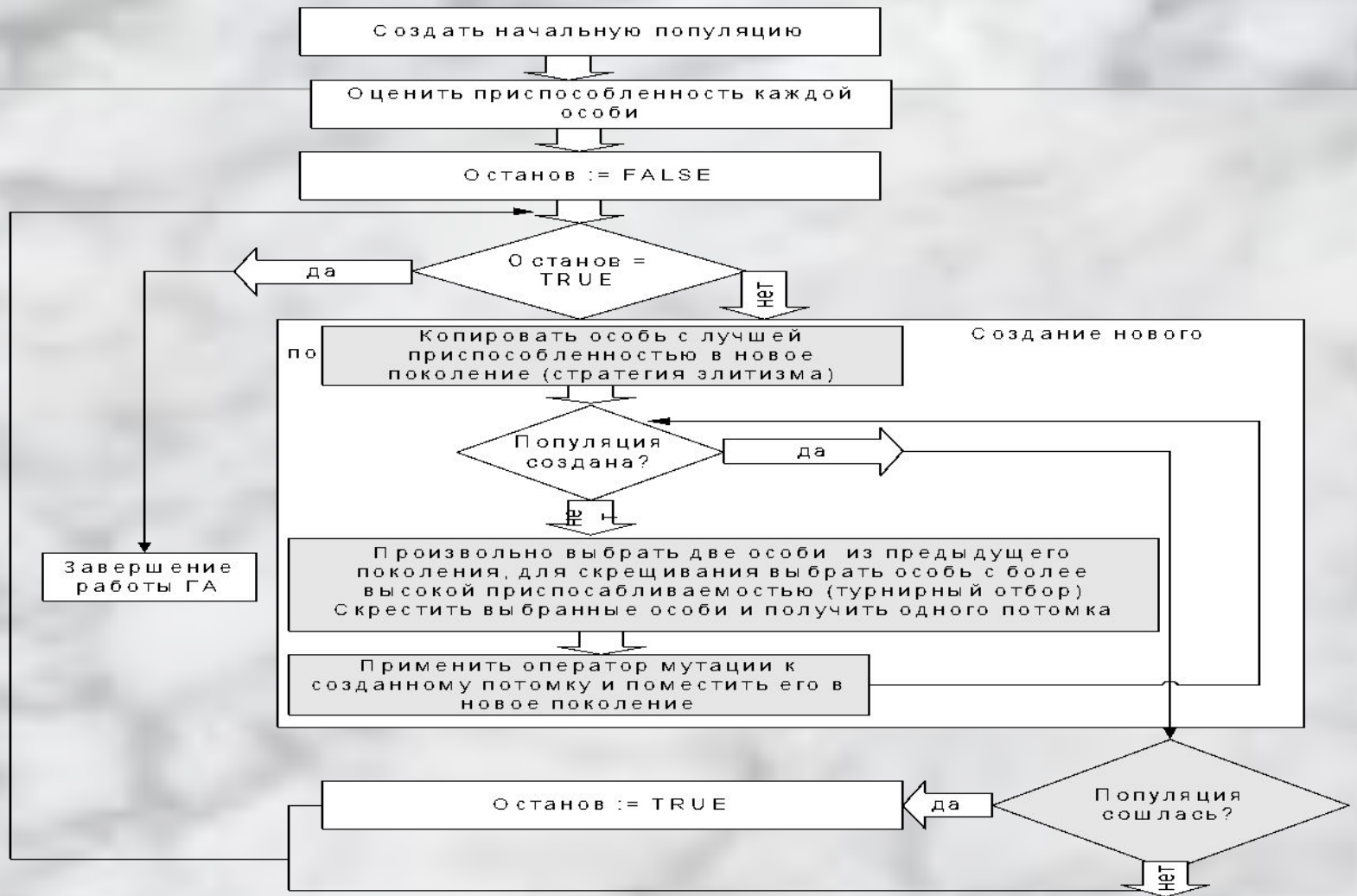
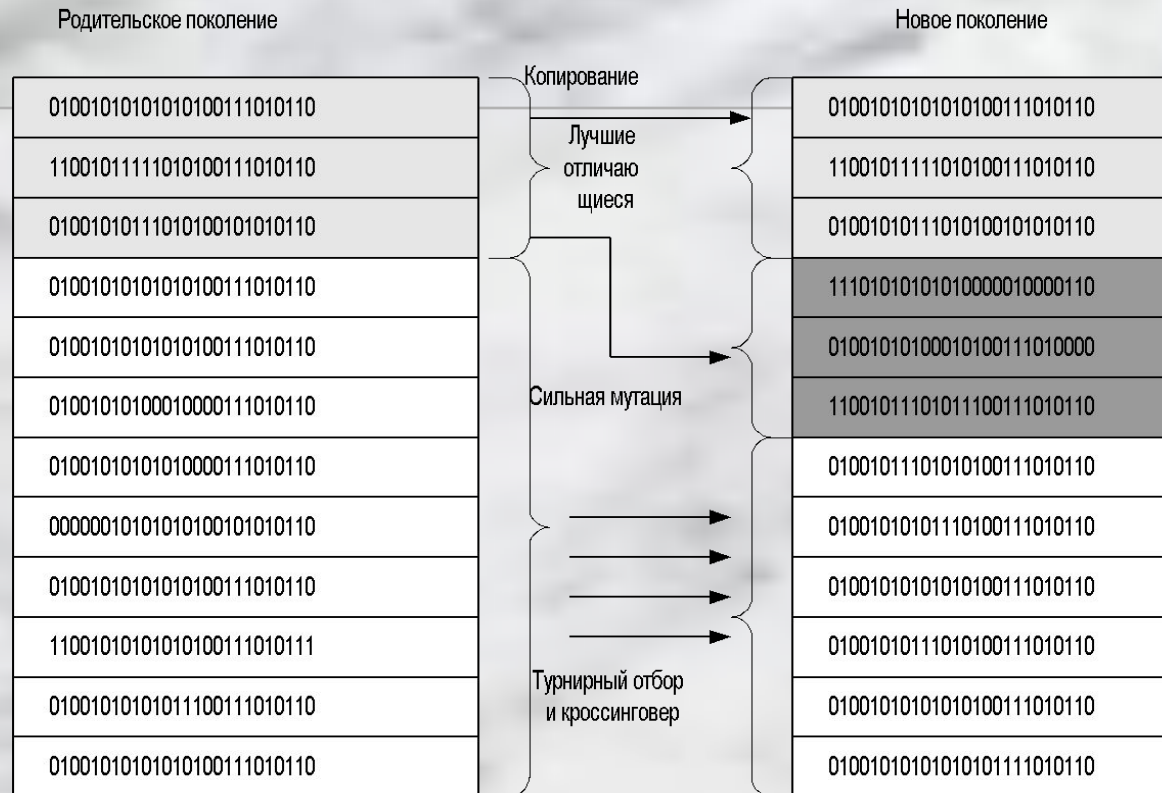


Рис.5 Блок-схема модифицированного алгоритма



# Рис. 6 Формирование нового поколения



## Основные результаты и выводы

Основные результаты диссертационной работы состоят в следующем:

1. Проведен анализ современных требований, предъявляемых к проектируемым структурированным кабельным системам
2. Показано применимость гиперсетей для моделирования СКС, доказывающая универсальность модели для многих объектов сетевых структур.
3. Предложена методика поиска проектных решений по построению оптимальных СКС, на основе гиперсетей и применения генетических алгоритмов.
4. Приведена системная постановка задачи синтеза СКС.
5. Разработаны алгоритмы для задач синтеза СКС.
6. В ходе разработки получен новый генетический алгоритм, успешно применимый к решению основных задач синтеза.