

# Система автоматизации проектирования мнемосхемы диспетчерского щита электрической сети

*выполнил: Кузьмин А.А., кафедра РК-6 САПР  
научный руководитель: д.т.н., проф. Норенков И.П.*

# Цель и задачи исследования

Цель работы - разработка и обоснование метода автоматизированного проектирования мнемосхем диспетчерских щитов (ДЩ) электрических сетей.

Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

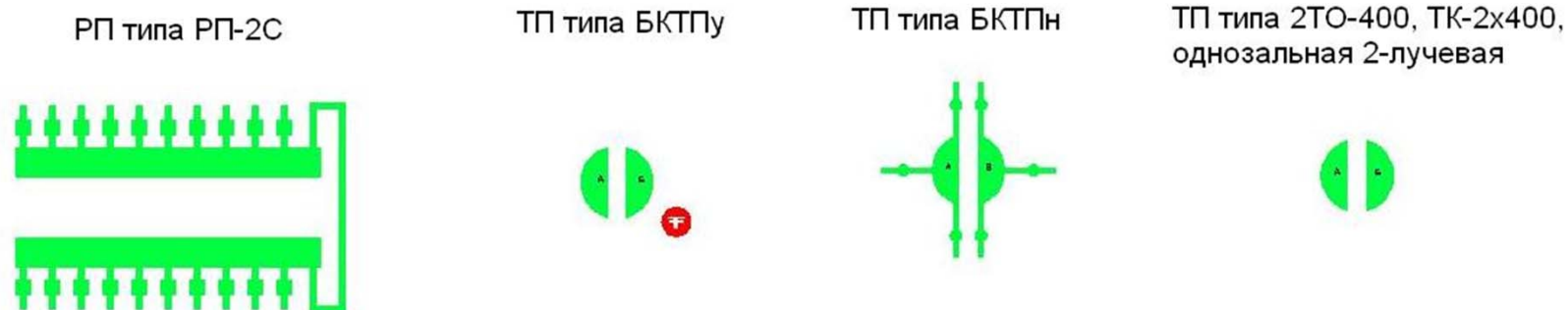
- Исследовать требования к ДЩ, формализовать критерий наглядности, и на этой основе выполнить постановку задачи оптимального проектирования ДЩ.
- Проанализировать существующие методы решения аналогичных задач в смежных приложениях.
- Разработать метод оптимального проектирования ДЩ и выполнить анализ его эффективности.
- Разработать алгоритмы и программное обеспечение для решения задач проектирования ДЩ.

# Научные положения

- Формализация критерия «наглядности» мнемосхемы ДЩ
- Разработка множества эвристик, отражающих специфику решаемой задачи (Для решения задачи выбран генетический метод комбинирования эвристик)
- Разработка генетического метода решения задачи автоматизированного проектирования мнемосхем ДЩ электрических сетей

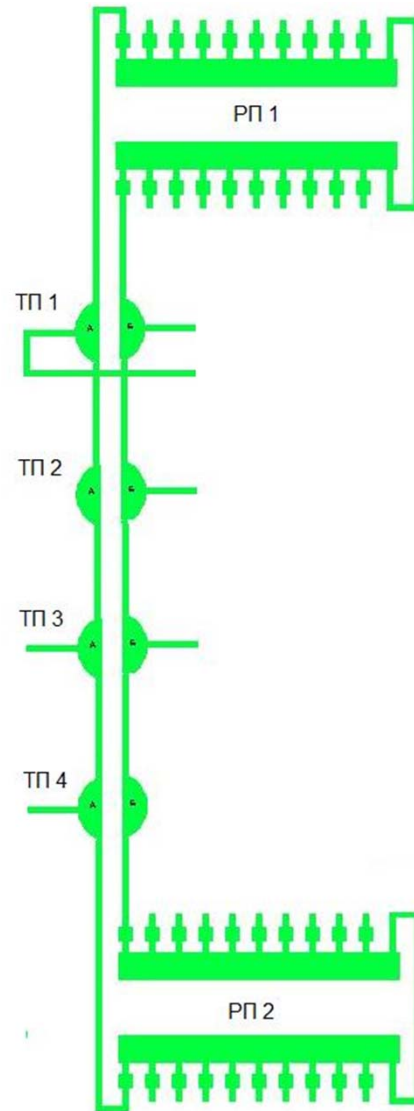
# Общие сведения о сети

- Элементы сети – трансформаторные и распределительные подстанции (ТП и РП соответственно). Для обозначения объектов типа ТП или РП на мнемосхеме ДЩ используются мнемознаки, например:



- Соседние элементы могут быть соединены одной или двумя линиями;
- Характерной структурой сети является «цепочка», которая представляется на мнемосхеме последовательностью элементов типа «ТП», размещенных между двумя элементами типа «РП».

Рисунок 1. Пример группировки элементов в цепочку



Основная проблема, возникающая при эксплуатации ДЩ - потеря схемой «наглядности».

Причины потери «наглядности»:

1. Увеличение числа размещенных объектов

Решение: Разбиение электросетевого хозяйства компании на районы

2. Неверный выбор метода проектирования мнемосхемы ДЩ

Решение: Разработка метода автоматизированного проектирования мнемосхем ДЩ с учетом критерия «наглядности»

# Постановка задачи автоматизированного проектирования мнемосхемы диспетчерского щита

Размерность задачи: 1000 – 2000 элементов

Исходные данные:

## 1. **Схема соединения элементов**

- множество конструктивных элементов:  $\mathcal{E} = \{e_i \mid i = 1, n\}, n \in \mathbb{Z}$
- множество соединяющих их цепей:  $\mathcal{C} = \{c_i \mid i = 1, k\}, k \in \mathbb{Z}$
- структура электрической сети представляется неориентированным графом  $G(X, U)$ :  $\mathcal{E} \leftrightarrow X, \mathcal{C} \leftrightarrow U$

## 2. **Параметры элемента**

- тип (определяет габариты, количество возможных присоединений),
- географическая привязка (разместим карту города с размещенными на ней объектами в монтажном пространстве, тогда географическая привязка - номер фиксированной позиции меньше других отстоящей от фактического положения объекта на карте);

## 3. **Параметры монтажного пространства**

- модель монтажного пространства – неориентированный граф  $G_r$  (граф решетки)
- габариты,
- шаг (определяет множество фиксированных позиций для установки элементов:  $T = \{t_i \mid i = 1, m\}, m > n, m \in \mathbb{Z}$ );

Ограничения:

1. Пространство размещения ограничено размерами щита
2. Размещенные объекты не должны пересекаться
3. Элементы в цепочке размещаются с заданным шагом
4. Минимальное расстояние между цепочками задано
5. Минимальное расстояние между параллельными линиями связи задано
6. Максимальное число параллельно идущих линий связи на минимальном расстоянии друг от друга задано

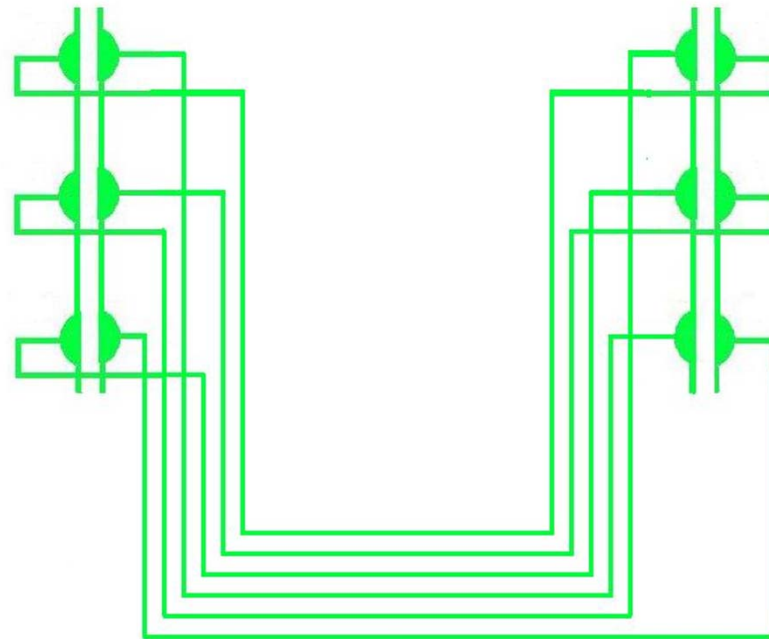


Рисунок 2. Пример потери наглядности при параллельной прокладке большого числа трасс



Частные критерии оптимальности:

**1. Оптимальное взаимное расположение элементов ( $K_1$ )**

Наиболее характерной структурой мнемосхемы является «цепочка» мнемознаков. Данная структура обладает следующими особенностями:

1. объекты типа «ТП» размещаются между двух объектов типа «РП» вдоль горизонтальных или вертикальных направляющих,
2. объекты одного типа внутри одного участка цепочки (в случае, если цепочка состоит из нескольких чередующихся горизонтальных и вертикальных участков) должны быть одинаково ориентированы (горизонтально или вертикально),
3. соседние объекты внутри цепочки располагаются на минимально допустимом расстоянии (для цепочки определяется шаг размещения объектов) и соединяются отрезками прямой (кроме соединения с объектами типа «РП»);

Можно выделить следующие критерии оптимального взаимного расположения элементов с точки зрения наглядности:

$K_{11}$ : количество объединенных в цепочки объектов,

$K_{12}$ : длина самой короткой цепочки,

$$K_1 = \max(\alpha_1 K_{11} + \alpha_2 K_{12})$$

Рисунок 3. Влияние ориентации элементов на наглядность схемы

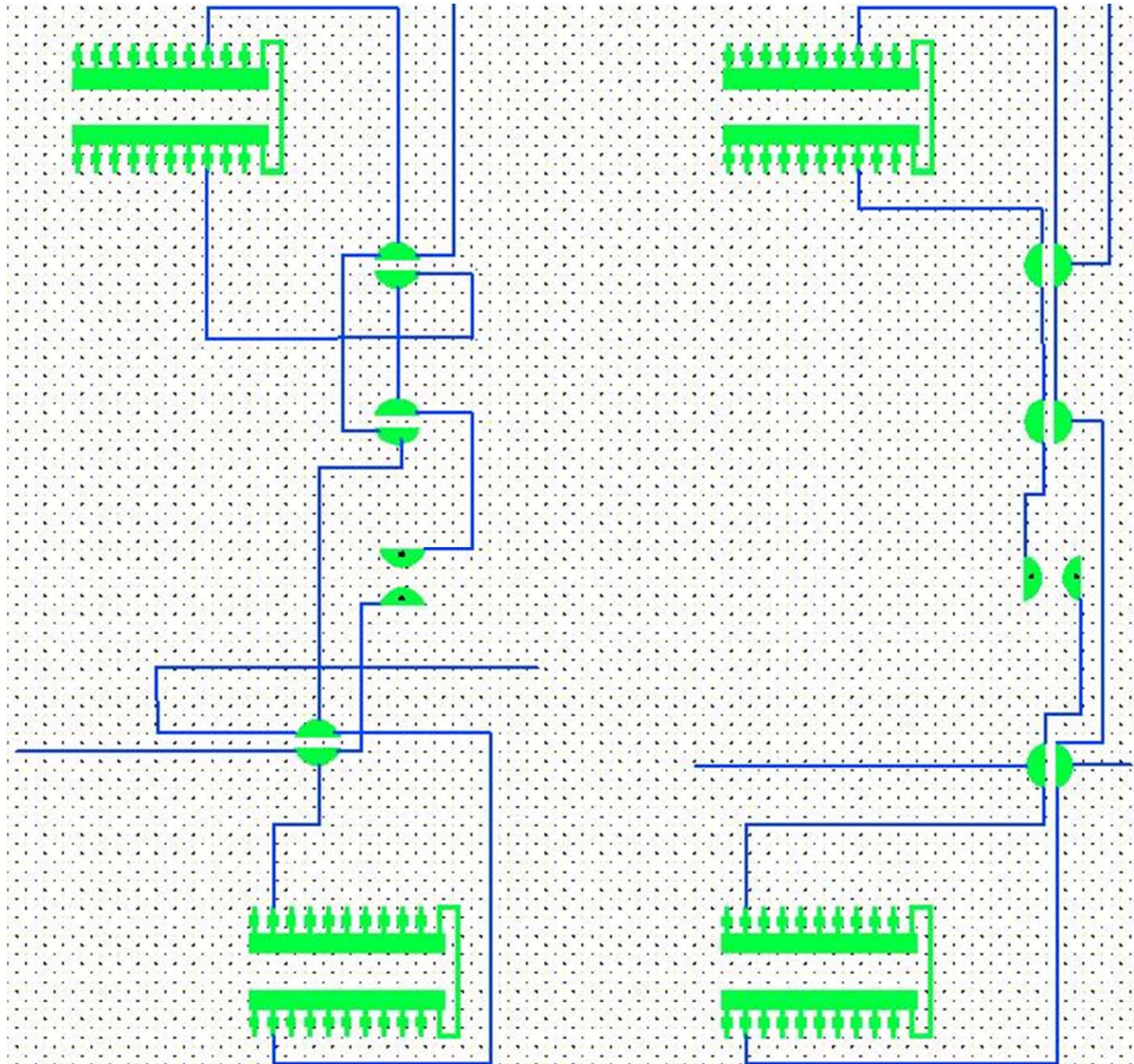
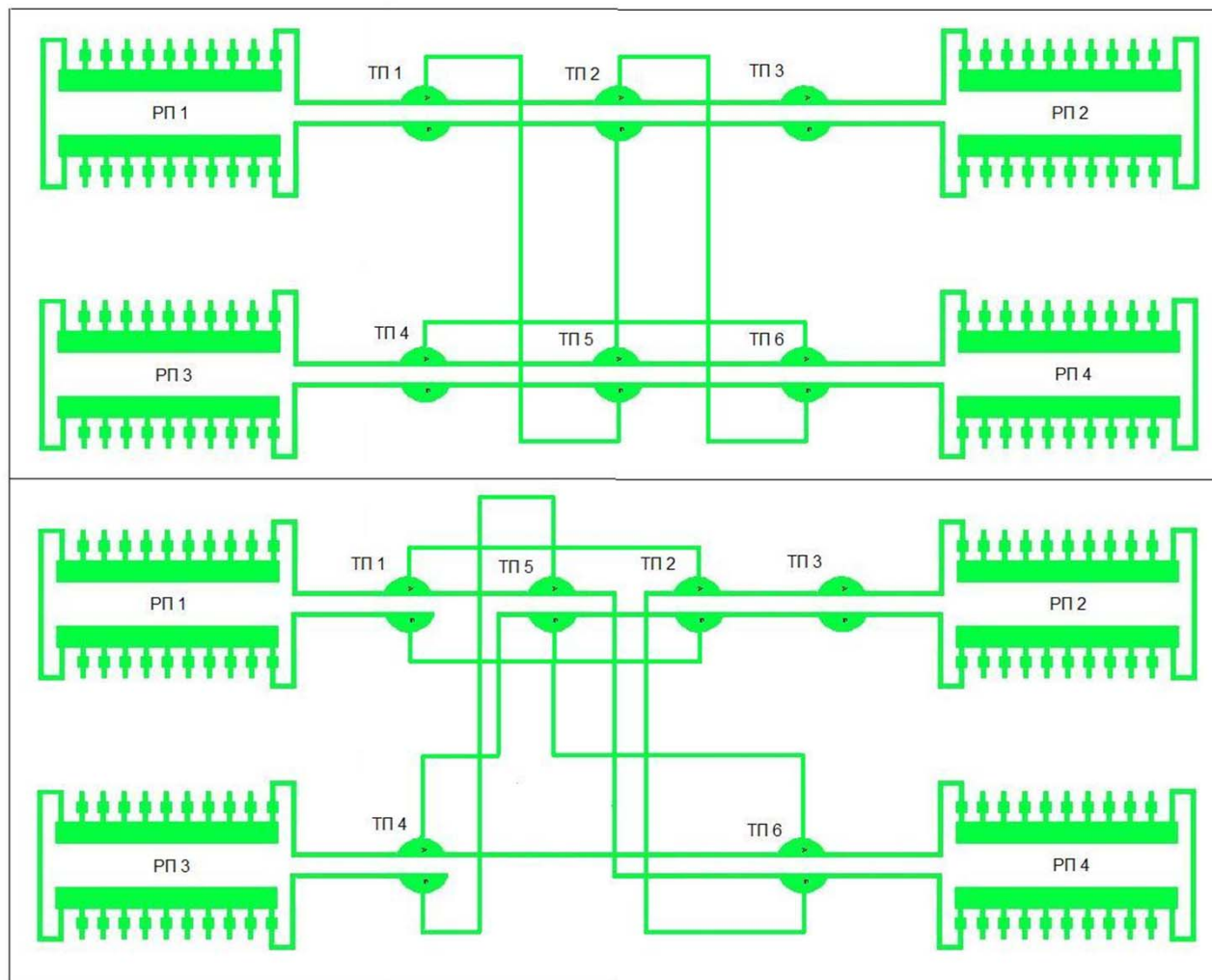


Рисунок 4. Иллюстрация различных вариантов группировки элементов в цепочки



## **2. Суммарное минимальное отклонение позиций размещения от географической привязки объектов ( $K_2$ )**

Карта города с размещенными на ней объектами масштабируется в размер ДЩ и размещается в монтажном пространстве.

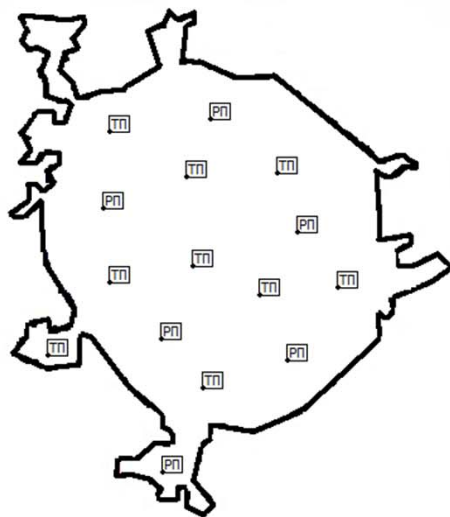
**Географическая привязка** - номер фиксированной позиции монтажного пространства, которая меньше других отстоит от положения объекта на карте города в указанном масштабе;

**Тогда критерий  $K_2$  можно сформулировать так: сумма расстояний от размещения элементов до их географических привязок минимальна.**

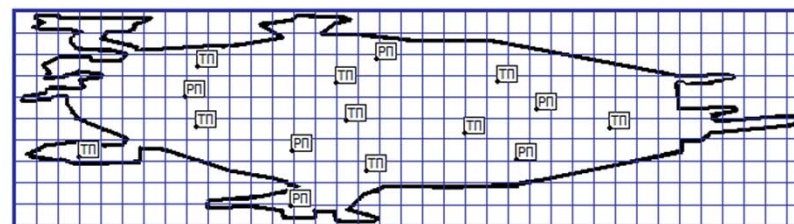
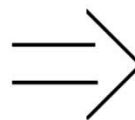
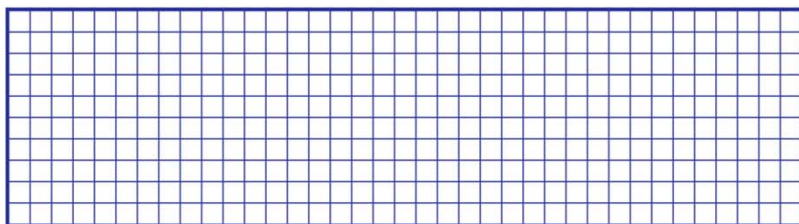
$$K_2 = \sum_{i=1}^n \sqrt{(x_{ri} - x_{di})^2 + (y_{ri} - y_{di})^2} \longrightarrow \min$$

где  $x_{ri}, y_{ri}$  – координаты размещения  $i$ -элемента,  $x_{di}, y_{di}$  – координаты географической привязки  $i$ -элемента

Рисунок 5. Географическая привязка



Диспетчерский щит



- 3. Максимальное число цепей с возможно более простой конфигурацией (минимумом изломов) ( $K_3$ )**
- 4. Минимальное число пересечений линий связи ( $K_4$ )**
- 5. Минимальная суммарная длина линий связи ( $K_5$ )**

Целевая функция:

$$F(X) = \sum_{j=1}^5 \beta_j K_j(X) \rightarrow \max$$

$\beta_j$  - весовые коэффициенты,  $X$  – управляемые параметры

Постановка задачи:

Необходимо найти отображение множества Э конструктивных элементов и множества С соединяющих их цепей во множество Т фиксированных позиций для установки элементов, при котором достигается максимум целевой функции F.

# Анализ существующих методов решения аналогичных задач

Наиболее близкими к проблеме визуализации мнемосхемы ДЩ являются задачи размещения и трассировки в микроэлектронике.

Существующие методы решения задачи размещения:

1. Сведение к задаче целочисленного программирования (получение решения за приемлемое время не представляется возможным)
2. Силовые алгоритмы размещения (метод Линского)  
(трудоемкость подбора коэффициентов для силовых связей)
3. Последовательный и параллельный алгоритмы размещения  
(не учитывают специфики данной задачи, не позволяют получить оптимальное решение)

Существующие методы решения задачи трассировки:

1. Волновые алгоритмы (Алгоритм Ли)  
(гарантируют построение трассы, если она существует, требуют больших вычислительных затрат)
2. Ортогональные алгоритмы (высокое быстродействие, применение – многослойные платы, не гарантируют построение трассы)
3. Алгоритмы эвристического типа



## Алгоритм решения задачи автоматизированного проектирования мнемосхемы диспетчерского щита

Особенностью данной задачи является наличие плохо формализуемого критерия – «наглядность» представления мнемосхемы (частные критерии:  $K_1$ ,  $K_3$ ,  $K_4$ ). Учитывая большую размерность задачи (2000 элементов), решение ее полным перебором не представляется возможным. В данной работе для решения поставленной задачи предлагается использовать генетический метод комбинирования эвристик с применением последовательного алгоритма размещения элементов и волнового алгоритма трассировки.

Описание алгоритма:

1. гены – эвристики, определяющие размещение очередного элемента в монтажном пространстве и проведение линий связи на текущем шаге,
2. аллели генов – номера соответствующих эвристик,
3. количество локусов соответствует числу размещаемых элементов.

Таким образом, каждая хромосома представляет собой решение исходной задачи, которое получено путем последовательного размещения элементов в монтажном пространстве в соответствии с используемой на каждом шаге эвристикой.

## Комментарий:

Допустимые решения, представляемые хромосомами, в данной задаче получаются в результате применения последовательного алгоритма размещения. Структура хромосомы может быть разработана как на основе последовательного так и на основе итерационного алгоритма размещения элементов. Однако следующие особенности задачи делают алгоритм последовательного размещения более предпочтительным:

1. Возможность горизонтального и вертикального расположения элементов позволяет присоединять новые элементы к уже размещенному фрагменту схемы отрезками прямой, в то время как парные перестановки элементов будут приводить к включению горизонтально ориентированных элементов в вертикальные цепочки и наоборот, тем самым увеличивая суммарную протяженность линий и усложняя конфигурацию линий.
2. Размещение элементов цепочки на минимальном расстоянии друг от друга обеспечивает минимальную длину 2...4 соединений элемента с соседями при среднем числе соединений, равном 6 (до 67% оптимально проложенных линий в соответствии с критериями  $K_3$  и  $K_5$ ).
3. Парные перестановки приводят к разрыву 2 цепочек существенно увеличивая суммарную длину линий, входящих в них элементов.

### Описание эвристик:

1. Выбрать элемент, максимально связанный с размещенными.
2. Выбрать элемент, который возможно разместить максимального близко к его географической привязке.
3. Выбрать элемент типа РП (завершение/начало цепочки).
4. Разместить элемент в цепочке с элементом, с которым он имеет максимальное число связей.
5. Разместить элемент максимально близко к его географической привязке.

## Алгоритм решения задачи

```
Формирование исходного
поколения;
WHILE пока не выполнится
условие останова
{ Определение перспективности
членов популяции;
FOR  $k$  от 1 до  $N_{\text{pop}}$ 
{ Выбор родителей;
Кроссовер;
Мутации;
Оценка полезности потомков;
Отбор членов в новое поколение;}
Смена поколения; }
```

**Благодарю за внимание!**