

Документ подписан простой электронной подписью  
Информация о владельце:  
ФИО: Емельянов Сергей Геннадьевич  
Должность: ректор  
Дата подписания: 13.06.2022 21:40:01  
Уникальный программный ключ:  
9ba7d3e34c012eba476ffd2d064cf2781953be730df2374d16f3c0ce536f0fc6

## МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Юго-Западный государственный университет»  
(ЮЗГУ)

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ  
Проректор по учебной работе  
*О.Г. Локтионова*  
« 1 » 06



## АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Методические указания к выполнению лабораторных работ  
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и  
электротехника

Курск 2022

УДК 621.31(075.32)

Составители: В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина, И.В. Ворначева

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»

*В.Н. Алябьев*

**Автоматизация проектирования систем электроснабжения:**  
методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап.  
гос. ун-т; сост.: В.И. Бирюлин, Д.В. Куделина, И.В. Ворначева. – Курск,  
2022. – 53 с.: ил. 13, табл. 5. – Библиогр.: с. 53.

Содержат сведения по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Автоматизация проектирования систем электроснабжения», приведены указания для создания программы расчета электрических нагрузок, выбора проводов, кабелей, электрических аппаратов в цеховой электрической сети, по решению оптимизационных задач.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.  
Усл.печ.л. 3,08. Уч.-изд.л. 2,78. Тираж 100 экз. Заказ 526 Бесплатно.  
Юго-Западный государственный университет.  
305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 .....	4
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 .....	8
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3 .....	18
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 .....	21
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5 .....	24
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6 .....	28
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7 .....	33
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8 .....	36
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9 .....	39
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10 .....	46
ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11 .....	50
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК .....	53

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### Основы создания блок-схем алгоритмов для автоматизированного проектирования

*Цель работы: ознакомиться с основами создания алгоритмов для автоматизированного проектирования.*

#### Краткие методические указания

Алгоритм – конечный набор правил, позволяющий чисто механически решить поставленную задачу. Алгоритм должен обладать следующими основными требованиями:

1. Массовостью (массивностью) – исходные данные, изменяющиеся в определенных пределах, заданных постановщиком задачи, не должны нарушать действие алгоритма.

2. Детерминированностью – процесс применения правил к исходным данным должен быть определен однозначно.

3. Результативностью – на каждом шаге алгоритма известно, что считать результатом процесса и окончательный результат должен получаться после конечного числа шагов.

Основным свойством алгоритма является результативность. Основным этапом составления алгоритма является получение закономерностей исследуемого явления. Наиболее распространенным методом выявления закономерностей является составление таблиц с выделением повторяющихся логических зависимостей или математических вычислений.

Алгоритмы, как правило, представляют в виде блок-схем. Количество блоков схемы зависит от степени детализации операций при решении рассматриваемой задачи. Большое количество элементов блок-схем затрудняет понимание алгоритма в целом. Недостаточное число элементов делает алгоритм непонятным.

При составлении блок-схем алгоритмов применяют модульный принцип. Он предусматривает возможность представления любого блока в виде самостоятельного алгоритма.

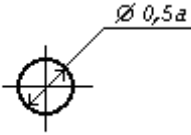
При выполнении схем алгоритмов и программ отдельные функции алгоритмов и программ с учетом степени их детализации отображаются

в виде условных графических обозначений-символов по ГОСТ 19.0.03-80.

Перечень, наименование, обозначение и размеры обязательных символов и отображаемые ими функции в алгоритме и программе обработки данных представлены в табл. 1.

Таблица 1.1. Наименование, обозначение символов и отображаемые ими функции

Наименование	Обозначение и размеры, мм	Функция
1. Процесс		Выполнение операции или группы операций, в результате которых изменяется значение, форма представления или расположения данных
2. Решение		Выбор направления выполнения алгоритма или программы в зависимости от некоторых переменных условий
3. Ввод-вывод		Преобразование данных в форму, пригодную для обработки (ввод), или отображение результатов обработки (вывод)
4. Линия потока		Указание последовательности связей между символами
5. Параллельные действия		Начало или окончание двух или более одновременно выполняемых операций

Наименование	Обозначение и размеры, мм	Функция
6. Комментарий		Связь между элементом схемы и пояснением
7. Пуск - останов		Начало, конец, прерывание процесса обработки данных или выполнения программы
8. Соединитель		Указание связи между прерванными линиями потока, связывающими символами

Размер  $a$  должен выбираться из ряда 10, 15, 20 мм. Допускается увеличивать размер  $a$  на число, кратное 5. Размер  $b$  равен  $1,5a$ . Пример алгоритма выбора сечения проводов приведен на рис.1.1.

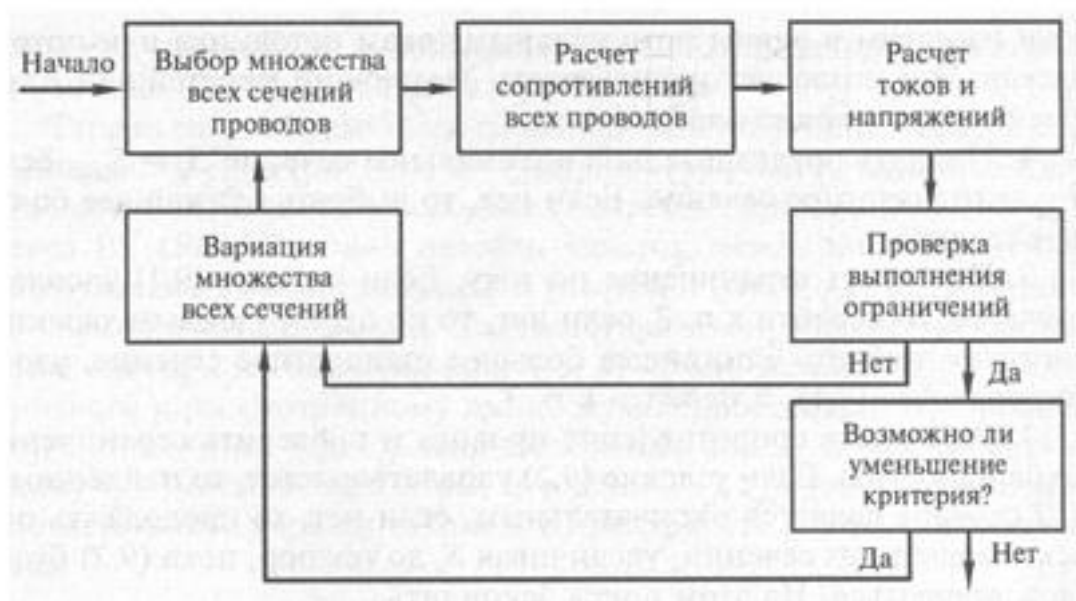


Рисунок 1.1. Алгоритм выбора сечений проводов

## **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем задачи составить математическую модель ее решения.
2. Разделить решение задачи на основные этапы.
3. Определить основные блоки составляемого алгоритма.
4. Построить блок-схему составляемого алгоритма.

## **Содержание отчета**

1. Математическая модель решения задачи.
2. Основные этапы решения задачи.
3. Блок-схема алгоритма.
4. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. Что такое алгоритм?
2. Какие требования предъявляются к алгоритму?
3. Какие направления линий потока принимают за основные?
4. Когда направление линии потока обозначать стрелкой не обязательно?
5. Какие основные блоки используются при построении блок-схем?
6. Какое минимальное расстояние между символами схемы?
7. Какое минимальное расстояние между параллельными линиями потока?
8. Как называется связь между элементом схемы и пояснением?





Для решения таких задач могут быть использованы известные классические методы – метод неопределенных множителей Лагранжа, численные методы и методы линейного и нелинейного программирования.

Развитие современной вычислительной техники позволяет производить решение таких задач достаточно просто.

Так, в широко распространенном табличном процессоре (электронных таблицах) Excel поиск оптимизирующего решения производится в следующем порядке.

1. В меню **Сервис** выберите команду **Поиск решения**.

2. При первоначальном обращении к инструменту поиска решения в главном меню **Сервис** можно не обнаружить операции **Поиск решения**. Это означает, что компонент поиска решения в программе MS Excel не установлен. Для установки компонента необходимо выбрать в меню **Сервис** команду **Надстройки** и в открывшемся диалоговом окне установить галочку в строке **Поиск решения**, рисунок 2.1.

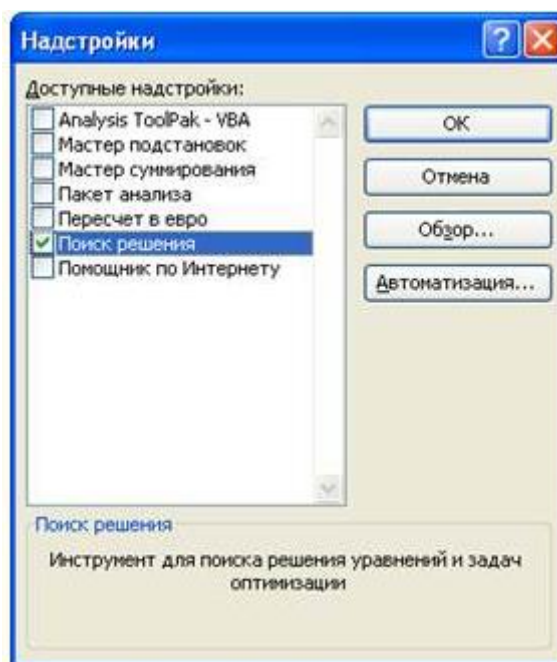


Рисунок 2.1. Диалоговое окно установки дополнительных компонент MS Excel

Для решения задач оптимизации определенного класса необходима установка конкретных параметров поиска решения. Для этого нужно нажать кнопку **Параметры** и заполнить некоторые поля окна «Параметры поиска решения» (рисунок 2.2).

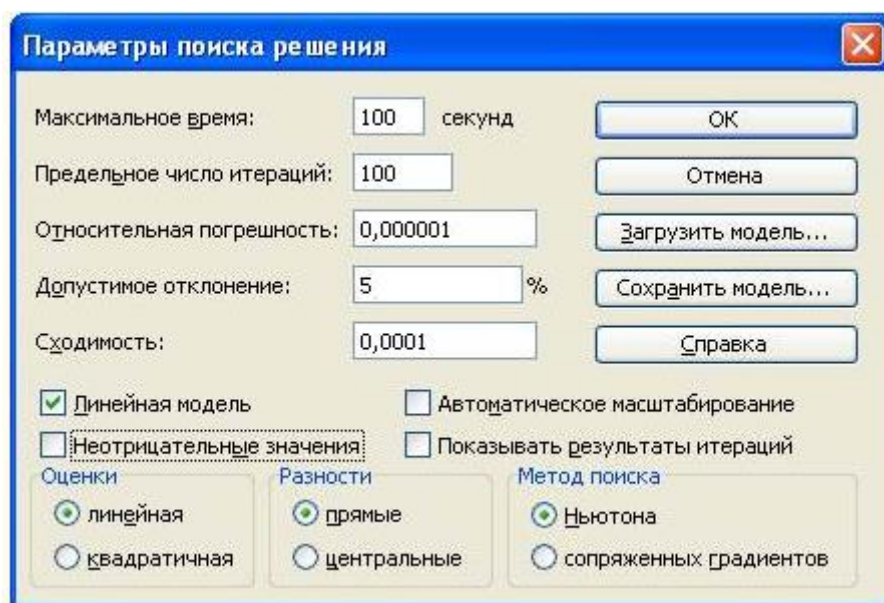


Рисунок 2.2. Диалоговое окно «Параметры поиска решения»

Параметр «**Максимальное время**» служит для назначения времени (в секундах), выделяемого на решение задачи. В поле можно ввести время, не превышающее 32 767 секунд (более 9 часов).

Параметр «**Предельное число итераций**» служит для управления временем решения задачи путем ограничения числа промежуточных вычислений. В поле можно ввести количество итераций, не превышающее 32 767.

Параметр «**Относительная погрешность**» служит для задания точности, с которой определяется соответствие ячейки целевому значению или приближение к указанным границам. Поле должно содержать число из интервала от 0 до 1. Чем меньше количество десятичных знаков во введенном числе, тем ниже точность. Высокая точность увеличит время, которое требуется для того, чтобы сошелся процесс оптимизации.

Параметр «**Допустимое отклонение**» служит для задания допуска на отклонение от оптимального решения в целочисленных задачах. При указании большего допуска поиск решения заканчивается быстрее.

Параметр «**Сходимость**» применяется только при решении нелинейных задач.

Установка флажка «**Линейная модель**» обеспечивает ускорение поиска решения линейной задачи за счет применения симплекс-метода.

Установленные по умолчанию значения параметров подходят для большинства решаемых задач. Оставим их без изменения, отметив галочкой «**Линейная модель**».

3. В поле **Установить целевую ячейку** введите адрес или имя ячейки, в которой находится формула оптимизируемой модели.

4. Чтобы максимизировать значение целевой ячейки путем изменения значений влияющих ячеек, установите переключатель в положение **максимальному значению**.

5. Чтобы минимизировать значение целевой ячейки путем изменения значений влияющих ячеек, установите переключатель в положение **минимальному значению**.

6. Чтобы установить значение в целевой ячейке равным некоторому числу путем изменения значений влияющих ячеек, установите переключатель в положение **значению** и введите в соответствующее поле требуемое число.

7. В поле **Изменяя ячейки** введите имена или адреса изменяемых ячеек, разделяя их запятыми. Изменяемые ячейки должны быть прямо или косвенно связаны с целевой ячейкой. Допускается установка до 200 изменяемых ячеек.

8. Чтобы автоматически найти все ячейки, влияющие на формулу модели, нажмите кнопку **Предположить**.

9. В поле **Ограничения** введите все ограничения, накладываемые на поиск решения.

10. Нажмите кнопку **Выполнить**. Чтобы сохранить найденное решение, установите переключатель в диалоговом окне **Результаты поиска решения** в положение **Сохранить найденное решение**.

На экране появляется окно «**Результаты поиска решения**», представленное на рисунке 2.3.

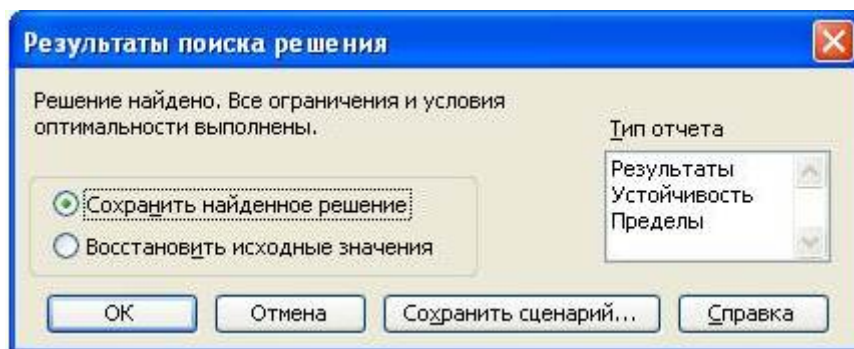


Рисунок 2.3. Диалоговое окно «Результаты поиска решения»



- б) ввести исходные данные в **экрannую форму**
- коэффициенты целевой функции,
  - коэффициенты при переменных в ограничениях,
  - правые части ограничений;
- в) ввести зависимости из математической модели в **экрannую форму**
- формулу для расчета целевой функции,
  - формулы для расчета значений левых частей ограничений;
- г) задать целевую функцию(в окне "**Поиск решения**"):
- целевую ячейку,
  - направление оптимизации ЦФ;
- д) ввести ограничения и граничные условия(в окне "**Поиск решения**"):
- ячейки со значениями переменных,
  - граничные условия для допустимых значений переменных,
  - соотношения между правыми и левыми частями ограничений.

## **2. Решить задачу:**

- а) установить параметры решения задачи (в окне "**Поиск решения**"),
- б) запустить задачу на решение (в окне "**Поиск решения**");
- в) выбрать формат вывода решения (в окне "**Результаты поиска решения**").

## **Решение задач НЕлинейного программирования**

Решение задач нелинейного программирования принципиально ничем не отличается от решения задач линейного и целочисленного программирования. Единственное отличие заключается в том, что при установке параметров поиска решения в диалоговом окне «**Параметры поиска решения**», необходимо снять галочку в строке «**Линейная модель**».

Кроме того, процедура поиска решения задач нелинейного программирования более критична к исходным начальным данным.

Для решения задач нелинейного программирования в Excel реализовано два метода: метод Ньютона и метод сопряженных градиентов Флетчера-Ривса. Выбор метода решения производится в диалоговом окне «**Параметры поиска решения**». В качестве критерия останова поиска решения в Excel используется следующее условие:

$$\Delta f_k = \left| \frac{f(x^{k-1}) - f(x^k)}{f(x^k)} \right| \leq \varepsilon. \quad (7)$$

Значение  $\varepsilon$  вводится в окне «**Параметры поиска решения**» в строке «**Относительная погрешность**».

В соответствии с выражением (7) начальные значения переменных желательно назначать близкими к оптимальным значениям, что значительно ускорит процесс решения задачи. Обязательным условием является требование неравенства целевой функции в начальной точке нулю, иначе при вычислении погрешности по выражению (7) возможно деление на ноль.

## **Решение ТРАНСПОРТНОЙ ЗАДАЧИ**

Транспортная задача (ТЗ) является частным типом задачи линейного программирования и определяется как задача разработки наиболее экономичного плана перевозки продукции одного вида из нескольких пунктов отправления в пункты назначения. При этом величина транспортных расходов прямо пропорциональна объему перевозимой продукции и задается с помощью тарифов на перевозку единицы продукции.

Задачи транспортного типа широко распространены в практике. К ним сводятся многие задачи линейного программирования – задачи о назначениях, сетевые, календарного планирования и др.

И хотя ТЗ может быть решена одним из методов решения любой задачи линейного программирования, ее математическая модель и структура ограничений имеют ряд специфических особенностей.

Стандартная ТЗ формулируется следующим образом. Имеется  $m$  пунктов отправления (или пунктов производства)  $A_1, \dots, A_m$ , в которых сосредоточены запасы однородных продуктов в количестве  $a_1, \dots, a_m$  единиц. Имеется  $n$  пунктов назначения (или пунктов потребления)  $B_1, \dots, B_n$ , потребность которых в указанных продуктах составляет  $b_1, \dots, b_n$  единиц. Известны также транспортные расходы  $C_{ij}$ , связанные с перевозкой единицы продукта из пункта  $A_i$  в пункт  $B_j$ ,  $i = 1, 2, \dots, m$ ;  $j = 1, 2, \dots, n$ .

Требуется составить такой план перевозок (откуда, куда и сколько единиц продукта везти), чтобы удовлетворить спрос всех пунктов потребления за счет реализации всего продукта, произведенного всеми пунктами производства, при минимальной общей стоимости всех перевозок.

Пусть  $x_{ij}$  – количество единиц продукта, поставляемого из пункта  $A_i$  в пункт  $B_j$ . Подлежащие минимизации суммарные затраты на перевозку продуктов из всех пунктов производства во все пункты потребления выражаются формулой:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} \cdot x_{ij} \rightarrow \min. \quad (8)$$

Таким образом, целевая функция ТЗ представляет собой транспортные расходы на осуществление всех перевозок в целом.

Математическая модель ТЗ содержит также две группы ограничений. Первая группа ограничений указывает, что запас продукции в любом пункте отправления должен быть равен суммарному объему перевозок продукции из этого пункта

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = a_i. \quad (8)$$

где  $i=1, \dots, m$ .

Вторая группа ограничений указывает, что суммарные перевозки продукции в некоторый пункт потребления должны полностью удовлетворить спрос на продукцию в этом пункте.

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = b_j. \quad (9)$$

где  $j=1, \dots, n$ .

Объемы перевозок – неотрицательные числа, так как перевозки из пунктов потребления в пункты производства исключены:

$$x_{ij} \geq 0, i=1, \dots, m; j=1, \dots, n. \quad (10)$$

Из (8), (9) следует, что сумма запасов продукции во всех пунктах отправления должна равняться суммарной потребности во всех пунктах потребления, то есть

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j. \quad (11)$$

Если условие (11) выполняется, то ТЗ называется сбалансированной (замкнутая модель), в противном случае – несбалансированной (открытая модель). Поскольку ограничения модели ТЗ (8), (9) могут быть выполнены только при сбалансированной ТЗ, то при построении транспортной модели необходимо проверять условие баланса (11). В случае, когда суммарные запасы превышают суммарные потребности,



необходим дополнительный фиктивный пункт потребления, который будет формально потреблять существующий излишек запасов, то есть

$$b_{\phi} = \sum_{i=1}^m a_i - \sum_{j=1}^n b_j. \quad (12)$$

Если суммарные потребности превышают суммарные запасы, то необходим дополнительный фиктивный пункт отправления, формально восполняющий существующий недостаток продукции в пунктах отправления:

$$a_{\phi} = \sum_{i=1}^n b_i - \sum_{j=1}^m a_j. \quad (13)$$

Введение фиктивного потребителя или отправителя повлечет необходимость формального задания фиктивных тарифов  $C_{ij}^{\phi}$  (реально не существующих) для фиктивных перевозок.

Так как нас интересует суммарная стоимость всех перевозок, можно принять величину фиктивного тарифа равной нулю  $C_{ij}^{\phi} = 0$ , что не изменит значение искомой целевой функции.

---

GNU Octave - свободно распространяемая система для математических вычислений, использующая совместимый с MATLAB язык высокого уровня.

Octave позволяет решать задачи линейной оптимизации с ограничениями в общей формулировке.

Для решения задач линейного программирования в Octave существует функция:

`[хопт, fmin, status, extra] = glpk( c, a, b, lb, ub, ctype, vartype, sense, param).`

Аргументами функции являются вектор  $f$ , содержащий коэффициенты заданного уравнения целевой функции; матрица  $A$  и вектор  $b$ , определяющие заданные ограничения как

$$A \cdot x \leq b. \quad (14)$$



## **Порядок выполнения работы**

1. Для заданного преподавателем задания сформировать оптимизационную задачу.
2. Произвести поиск оптимизирующего значения в табличном процессоре Excel.
3. Произвести поиск оптимизирующего значения в системе научно-технических расчетов Octave.
4. Сравнить полученные результаты и сделать выводы.

## **Содержание отчета**

1. Задание на выполнение работы.
2. Формулировка оптимизационной задачи.
3. Результаты решения задачи, полученные в табличном процессоре Excel.
4. Результаты решения задачи, полученные в системе научно-технических расчетов Octave.
5. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. Основные методы оптимизации проектных решений, их достоинства и недостатки, области применения.
2. Порядок решения оптимизационных задач в табличном процессоре Excel.
3. Порядок решения линейных оптимизационных задач в системе научно-технических расчетов Octave.
4. Порядок решения нелинейных оптимизационных задач в системе научно-технических расчетов Octave.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### Создание баз данных электроприемников, проводов, электрических аппаратов

*Цель работы: ознакомиться с порядком создания баз данных электроприемников, проводов и электрических аппаратов для использования созданных баз при выборе основных элементов системы электроснабжения.*

#### Краткие методические указания

Система электроснабжения состоит из многих элементов – электроприемников; электрических аппаратов, предназначенных для подключения и защиты электроприемников и питающих их линий; различных проводников. При проектировании системы электроснабжения достаточно большое время уходит у проектировщиков на поиск и проверку выбранных элементов системы электроснабжения.

Снизить трудоемкость выполнения поставленной задачи возможно при использовании баз данных соответствующего оборудования, которые позволяют легко автоматизировать поиск необходимой информации по выбираемому оборудованию и выполнить необходимую проверку.

Для электрооборудования и электроприемников существует большое количество информации и поэтому очень важно при создании баз данных использовать ограниченный объем информации, чтобы избежать избыточности информации, сократить время поиска и обработки данных и объем памяти компьютера, необходимый для хранения информации.

Для электроприемников при проектировании системы электроснабжения может быть использован следующий объем информации:

- номинальная мощность, кВт;
- номинальное напряжение, В;
- коэффициент реактивной мощности  $\cos\varphi(\operatorname{tg}\varphi)$ ;
- коэффициент использования;

- продолжительность включения, % (если рассматриваемый электроприемник работает в повторно-кратковременном режиме).

Для предохранителей при проектировании системы электроснабжения может быть использован следующий объем информации:

- номинальное напряжение, В;
- номинальный ток предохранителя, А;
- номинальные токи плавких вставок, которые могут быть использованы в данном предохранителе;
- номинальный ток отключения, кА.

Аналогичным образом выбирается информация и по другому оборудованию. Перед созданием той или иной базы данных следует проанализировать в каком виде удобнее хранить ту или иную информацию, или определить состав структуры создаваемой базы. Например, для базы данных электроприемников, целесообразно применить следующую структуру.

Для хранения информации о номинальной мощности используется числовое поле (типа Numeric), общее число разрядов поля – 7, из которых 4 разряда отводится на целую часть, один разряд на знак раздела между целой частью и дробной, два разряда на дробную часть числа.

Для хранения информации о номинальной напряжении используется также числовое поле (типа Numeric), общее число разрядов поля – 5, из которых все 5 разрядов отводятся на целую часть.

Коэффициент реактивной мощности ( $\cos\varphi$ ) и коэффициент использования имеют значения меньше единицы (в пределе равны единице), поэтому для них также используется числовое поле, содержащее 4 разряда, из них один разряд на целую часть числа, один – на знак деления, два разряда на дробную часть.

Для продолжительности включения используется числовое поле с двумя разрядами для целой части числа.

Аналогично создается структура и для других баз данных, которые будут использоваться при автоматизированном выборе электрооборудования и проводников.

## **Порядок выполнения работы**

1. Для заданного преподавателем оборудования определить структуру создаваемых баз данных.
2. Создать, используя команду CREATE системы управления базами данных, базу данных и заполнить ее информацией.
3. Повторить пункты 1 и 2 для другого оборудования, заданного преподавателем несколько раз.

## **Содержание отчета**

1. Структуры баз данных, созданных в лабораторной работе.
2. Команды системы управления базами данных, использованные при создании баз данных.
3. Выводы по работе.

## **Контрольные вопросы**

1. Основные элементы структуры базы данных.
2. Порядок создания структуры базы данных.
3. Порядок внесения информации в созданные базы данных.
4. Организация просмотра информации в базе данных в диалоговом режиме.
5. Организация просмотра информации в базе данных в программном режиме.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### Создание программы расчета электрических нагрузок

*Цель работы: разработка и тестирование программы, обеспечивающей автоматизацию расчета электрических нагрузок.*

#### Краткие методические указания

Определение расчетной нагрузки является основой проектирования системы электроснабжения. Известно несколько методов расчета электрических нагрузок, но основным из них является метод коэффициента использования ( $K_{и}$ ) и коэффициента расчетной нагрузки ( $K_{р}$ ), применение которого будет рассмотрено в данной работе.

Для нахождения расчетной нагрузки используется база данных электроприемников с названием ELPR. Эта база содержит информацию об электроприемниках одного цеха и имеет следующую структуру (табл. 1).

Таблица 1. Структура базы данных ELPR

Наименование поля	Тип данных	Назначение поля
NEL	N	Номер электроприемника
NAZV	C	Название электроприемника
NUZL	N	Номер узла питания, к которому подключен электроприемник
PN	N	Номинальная активная мощность, кВт
KI	N	Коэффициент использования
COSFI	N	Коэффициент реактивной мощности ( $\cos \varphi$ )

Для расчета электрической нагрузки того или иного узла питания следует ограничить обработку записей в базе данных условием, что

номер выбранного узла питания совпадает с значением находящимся в поле NUZL.

После этого программа должна определить сумму вспомогательных расчетных величин:  $K_U \cdot P_H$ ,  $K_U \cdot P_H \cdot \cos \varphi$ ,  $n \cdot P_H^2$

Затем находится коэффициент использования для всей группы электроприемников, подключенных к рассматриваемому узлу питания и эффективное число электроприемников.

По этим значениям находится коэффициент расчетной нагрузки и определяются расчетные активная, реактивная, полная мощности и расчетный ток.

Примерный текст программы приведен ниже.

```
CLEAR
CLOS ALL
USE ELPR
NUZ = 0
CALC MAX (NUZLA) TO NMAX
@ 2,10 SAY «ВВЕДИТЕ НОМЕР УЗЛА»;
GET NOZ RANGE 0, NMAX
READ
PS = 0
PNS = 0
PNKV = 0
QS = 0
SCAN FOR NUZL = NUZ
PS = PS + PN*KI
PNS = PNS – PN
PNKV = PNKV + PN ^ 2
QS = QS + PN * KI * COSFI
ENDSCAN
KIS = PS/PNS
NEF = INT (PNS ^ 2/PNKV)
@ 4,10 SAY «КОЭФФЕЦИЕНТ ИСПОЛ-Я» GET KIS DISA
@ 6,10 SAY «ЭФФЕКТ. ЧИСЛО ЭЛЕКТ.» GET NEF DISA
KR = 0
@ 8,10 SAY «РАСЧЕТ. КОЭФФ-Т» GET KR;
PICT «# #.  # #»
READ
```

```

PR = PNS * KR
IF NEF > 10
QR = QS
ELSE
QR = 1.1 * QS
ENDIF
SR = (PR^2 + QR^2) ^ 0.5
IS = SR/(3^ 0.5 * 0.38)
@ 12,10 SAY «РАСЧЕТ. АКТИВНАЯ НАГРУЗКА»
GET PR PICT «# # # # #. #»
@ 14,10 SAY «РАСЧЕТ. РЕАКТИВНАЯ НАГРУЗКА»;
GET QR PIST «# # # # #. #»
@ 16,10 SAY «РАСЧЕТ. ПОЛНАЯ НАГРУЗКА»;
GET SR PICT «# # # # #. #»
@ 18,10 SAY «РАСЧЕТ. ТОК» GET IR;
PICT «# # # # #. #»

```

### **Содержание отчета**

1. Наименование работы
2. Цель работы
3. Текст разработанной программы
4. Результаты тестирования программы

### **Контрольные вопросы**

1. Основные методы расчета нагрузок
2. Когда применяются вспомогательные методы расчет нагрузок
3. Как организовать доступ в базе данных только к электроприемникам, подключенным к одному узлу питания?
4. Какие изменения следует внести в приведенный примерный текст программы для определения расчетной нагрузки всего цеха?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### Использование электронных таблиц Excel для расчета электрических нагрузок промышленных предприятий

*Цель работы: ознакомиться с автоматизацией расчетов электрических нагрузок промышленных предприятий на основе применения электронных таблиц Excel.*

#### Краткие методические указания

При расчете электрических нагрузок напряжением до 1000 В по цехам предприятия применяем метод коэффициента использования и коэффициента расчетной мощности, изложенный в РТМ-92. Исходные данные – суммарная номинальная активная мощность электроприемников (ЭП) каждого цеха, коэффициенты потребления реактивной мощности  $\cos\varphi/\operatorname{tg}\varphi$  и коэффициент использования  $K_{\text{и}}$  для всего цеха, которые определяются по справочным материалам.

Активная средняя мощность:

$$P_{\text{с}} = K_{\text{и}} \cdot P_{\text{уст}}, \quad (1)$$

где  $K_{\text{и}}$  - коэффициент использования;

$P_{\text{уст}}$  - установленная мощность ЭП цеха.

Реактивная средняя мощность:

$$Q_{\text{с}} = P_{\text{с}} \cdot \operatorname{tg}\varphi, \quad (2)$$

где  $\operatorname{tg}\varphi$  - коэффициент реактивной мощности.

Расчетная активная мощность:

$$P_{\text{р}} = K_{\text{р}} \cdot K_{\text{и}} \cdot P_{\text{уст}}, \quad (3)$$

где  $K_{\text{р}}$  - коэффициент расчетной нагрузки, равный 1.

Расчетная реактивная мощность:

$$Q_{\text{р}} = P_{\text{р}} \cdot \operatorname{tg}\varphi. \quad (4)$$

Полная расчетная мощность:

$$S = \sqrt{P_{\text{р}}^2 + Q_{\text{р}}^2}. \quad (5)$$

Расчетный ток цеха:

$$I_{\text{р}} = S_{\text{р}} / \sqrt{3} \cdot U. \quad (6)$$

Остальные цеха рассчитываются аналогично. Определение расчетной нагрузки освещения по цехам завода производится методом удельной нагрузки совместно с методом коэффициента спроса освещения.



Исходные данные для расчета осветительной нагрузки – площадь цеха, удельная осветительная нагрузка, коэффициент спроса освещения. Цель расчета – нахождение расчетной мощности, потребляемой системой электрического освещения в каждом цехе предприятия.

Значение удельной осветительной нагрузки выбирается в зависимости от индекса помещения и нормируемой освещенности. В общем случае норма освещенности определяется исходя из характера работ в рассматриваемом цехе. Коэффициент спроса освещения выбирается в зависимости от типа здания.

Исходные данные – площадь цеха (определяется по генплану, коэффициент спроса освещения и удельная осветительная нагрузка.

Установленная мощность светильников определяется как:

$$P_{устосв} = P_{уд} \cdot F_{ц} \cdot 10^{-3} \quad (7)$$

где  $P_{уд}$  - удельная осветительная нагрузка;  
 $F_{ц}$  - площадь цеха.

Затем определяется расчетная активная мощность освещения как

$$P_{росв} = K_c \cdot P_{устосв}, \quad (8)$$

где  $K_c$  - коэффициент спроса освещения.

Остальные цеха рассчитываются аналогично.

Картограмма нагрузок – ряд окружностей разного радиуса, нанесенных на соответствующие цеха на генплане предприятия. Площади этих окружностей в выбранном масштабе соответствуют нагрузкам цехов, что дает возможность наглядно представить распределение электрических нагрузок по цехам заводам. Построение этих окружностей производится для каждого цеха на генплане завода, при этом центр каждой построенной окружности должен совпадать с центром соответствующего цеха.

Центр электрических нагрузок (ЦЭН) является условным центром потребления электрической энергии.

Цель проведения расчетов – определение радиусов окружностей картограммы нагрузок и координат ЦЭН.

Исходные данные – координаты центров цехов завода, определяются по генплану, считая левый нижний угол территории предприятия началом координат; значения расчетной нагрузки силовых ЭП и осветительных ЭП.

Картограмма нагрузки основана на следующей формуле:

$$P = \pi \cdot R^2 \cdot m, \text{кВт}, \quad (9)$$

где  $P$  – расчетная активная нагрузка цеха, включающая сумму мощностей силовых и осветительных ЭП;

$R$  - радиус окружности, мм<sup>2</sup>;

$m$  - масштаб нагрузки, принимаемый от 0,5 до 1,0 кВт/мм<sup>2</sup>.

Радиус окружности из формулы (9) в мм находится как

$$R = \sqrt{P/\pi \cdot m}. \quad (10)$$

Угол осветительной нагрузки  $\alpha_{осв}$  характеризует долю осветительной нагрузки в суммарной активной мощности цеха. Он определяется как

$$\alpha_{осв} = P_{росв} \cdot 360 / (P_p + P_{росв}). \quad (11)$$

Далее для рассматриваемого цеха определяем произведения суммарной активной расчетной мощности на координаты  $X$  и  $Y$ .

### Порядок выполнения работы

1. Для заданного преподавателем примера промышленного предприятия составить расчетную таблицу и ввести исходные данные для расчета силовых нагрузок (рис. 5.1.).
2. Ввести расчетные формулы (рис. 5.2.).
3. Оценить правильность полученных результатов.
4. Повторить п.1 и 3 для осветительных нагрузок.
5. Создать таблицу для расчета картограммы нагрузок.

	A	B	C	D	E	F	G	H
1								
2								
3					Р <sub>уст</sub>	Ки	cos	
4		1	заготовит		1000	0,5	0,6	
5		2	кузнеч		1700	0,5	0,75	
6		3	свароч		3000	0,5	0,6	
7		4	механич		4200	0,35	0,75	
8		5	сбороч		5500	0,35	0,75	
9		6	инструм		1900	0,35	0,75	
10		7	эл-ремонт		950	0,4	0,8	
11		8	компрес		150	0,65	0,8	
12		9	ремонт. механ		900	0,3	0,7	
13			итого		19300			
14								

Рисунок 5.1. Расчетная таблица с исходными данными для расчета электрических нагрузок силовых электроприемников

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1										
2				Р.уст	Kи	cos	Рр	Qp	Sp	Ip
3	1	заготовит		1000	0,5	0,6	=D3*E3	=G3*TAN(ACOS(F3))	=(G3^2+H3^2)*0,5	=I3/(1,73*0,4)
4	2	кузнеч		1700	0,5	0,75	=D4*E4	=G4*TAN(ACOS(F4))	=(G4^2+H4^2)*0,5	=I4/(1,73*0,4)
5	3	свароч		3000	0,5	0,6	=D5*E5	=G5*TAN(ACOS(F5))	=(G5^2+H5^2)*0,5	=I5/(1,73*0,4)
6	4	механич		4200	0,35	0,75	=D6*E6	=G6*TAN(ACOS(F6))	=(G6^2+H6^2)*0,5	=I6/(1,73*0,4)
7	5	сбороч		5500	0,35	0,75	=D7*E7	=G7*TAN(ACOS(F7))	=(G7^2+H7^2)*0,5	=I7/(1,73*0,4)
8	6	инструм		1900	0,35	0,75	=D8*E8	=G8*TAN(ACOS(F8))	=(G8^2+H8^2)*0,5	=I8/(1,73*0,4)
9	7	эл-ремонт		950	0,4	0,8	=D9*E9	=G9*TAN(ACOS(F9))	=(G9^2+H9^2)*0,5	=I9/(1,73*0,4)
10	8	компрес		150	0,65	0,8	=D10*E10	=G10*TAN(ACOS(F10))	=(G10^2+H10^2)*0,5	=I10/(1,73*0,4)
11	9	ремонт. механ		900	0,3	0,7	=D11*E11	=G11*TAN(ACOS(F11))	=(G11^2+H11^2)*0,5	=I11/(1,73*0,4)
12		итого		=СУММ(D3:D11)			=СУММ(G3:G11)	=СУММ(H3:H11)	=(G12^2+H12^2)*0,5	
13										

Рисунок 5.2. Расчетная таблица с формулами и исходными данными для расчета электрических нагрузок силовых электроприемников

### Содержание отчета

1. Исходные данные.
2. Расчетная таблица.
3. Полученные результаты расчета нагрузок и картограммы нагрузок.
4. Выводы по работе.

### Контрольные вопросы

1. Как производится расчет силовых нагрузок?
2. Как проводится расчет осветительных нагрузок?
3. Назначение картограммы нагрузок.
4. Как рассчитывается картограмма нагрузок?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6

### Создание программы выбора проводов и предохранителей в цеховой электрической сети

*Цель работы: создание программы, обеспечивающей автоматический выбор проводов и предохранителей в сетях напряжением 0,4 кВ.*

#### Краткие методические указания

Провода используются для подключения электроприемников к источникам питания (распределительным шкафам или токопроводам). Они выбираются по следующим условиям:

- по нагреву расчетным током

$$I_{\text{дл. доп.}} \geq I_{\text{расч.}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{дл. доп.}}$  - длительно допустимый ток выбираемого провода с учетом условий прокладки;

$I_{\text{расч.}}$  – расчетный ток линии, если линия питает одиночный электроприемник, то в качестве расчетного тока выбирается номинальный;

- по уставке защитного аппарата

$$I_{\text{дл. доп.}} \geq K_3 \cdot I_{\text{уст.}}, \quad (2)$$

где  $K_3$  – коэффициент защиты, определяемый по справочным данным в зависимости от типа защитного аппарата и изоляции защитного провода;

$I_{\text{уст.}}$  – ток уставки защитного аппарата;

- по допустимому падению напряжения

$$\Delta U \leq \Delta U_{\text{допуст.}}, \quad (3)$$

где  $\Delta U$  – падение напряжения в проводе в %, рассчитываемое по следующей формуле:

$$\Delta U = \frac{\sqrt{3} I_p L (R_0 \cos \varphi + X_0 \sin \varphi) * 100}{U_{ном}}, \quad (4)$$

где  $I_p$  – расчетный ток линии;

$L$  – длина линии;

$R_0$  и  $X_0$  – удельное активное и индуктивное сопротивления провода;

$\cos \varphi$ ,  $\sin \varphi$  – определяются по электроприемнику, подключенному к линии;

$U_{ном.}$  – номинальное напряжение сети.

Выбор провода может быть осуществлен из базы данных PROV, содержащей информацию о проводах и имеющий следующую структуру (табл.1).

Таблица 1. Структура базы данных PROV

Наименование поля	Тип данных	Назначение
SECH	N	Сечение провода в квадратных мм.
ТОК	N	Длительно допустимый ток.
RUD	N	Удельное активное сопротивление.
XUD	N	Удельное индуктивное сопротивление.

Для упрощения выбора используем условия (1) и (3). Сам выбор провода производится при помощи программы, примерный текст которой приведен ниже.

CLEAR

CLOS ALL

USE PROV

IR=0

COSFI=0

L=0

@2,8 SAY «Расчетный ток, А =>» GET IR

@4,8 SAY «Длина линии, М =>» GET L

@6,8 SAY «Косинус фи = » GET COSFI

SCAN

IF ТОК >=IR

```

ΔU=3^0,5*IR*L*(RUD*COSFI+XUD*SIN(ACOS(COSFI)));
*100/380
  IF ΔU =<5
    EXIT
  ENDIF
ENDIF
ENDIF
END SCAN
CLEAR

```

```
@2,6 SAY «Сечение =>» GET SECH
```

```
@4,6 SAY «Расчет. ток =>» GET IR
```

```
@6,6 SAY «Длит. ток =>» GET ТОК
```

Выбор предохранителей производится по следующим условиям:

- по номинальному току предохранителя

$$I_{\text{ном.}} \geq I_{\text{расч.}}, \quad (5)$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток предохранителя;

$I_{\text{расч.}}$  – расчетный ток защищаемой линии;

- по несрабатыванию плавкой вставки предохранителя при пуске электродвигателя

$$I_{\text{ном.пл.}} \geq I_{\text{пуск.}}/K_{\text{п.}}, \quad (6)$$

где  $I_{\text{ном.пл}}$  – номинальный ток плавкой вставки предохранителя;

$I_{\text{пуск}}$  – пусковой ток электроприемника;

$K_{\text{п.}}$  – коэффициент пуска, зависящий от условий пуска, при легком пуске  $K_{\text{п.}} = 2,5$ ; при тяжелом  $K_{\text{п.}} = 1,6$ .

Выбор предохранителей производится по базе данных PREDOXR. структура данной базы приведена ниже (табл. 2).

Таблица 2. Структура базы данных PREDOXR

Наименование поля	Тип данных	Назначение
TIP	C	Тип предохранителя
INOM	N	Номинальный ток предохранителя
INOMPL	N	Номинальный ток плавной вставки

Выбор предохранителей производится по программе, примерный текст которой приведен ниже.

```
CLEAR
CLOSALL
USE PREDOXR
IR=0
@ 2,10 SAY «РАСЧЕТ. ТОК = » GET IR READ
@ 4,20 SAY «УСЛОВИЯ ПУСКА»
@ 6,10 PROMPT «ЛЕГКИЕ»
@ 8,20 PROMPT «ТЯЖЕЛЫЕ»
MENU VB
IF VB = 1
    KP = 2.5
ELSE
    KP = 1.6
ENDIF
SCAN
    IF INOM > = IR
        IF INOMPL > = 6*IR / KP
            EXIT
        ENDIF
    ENDIF
ENDSCAN
@ 10,20 SAY «ТИП ПРЕДОХР = » GET TIP
@ 12,20 SAY «НОМИН. ТОК ПРЕДОХР = » GET INOM
@ 14,20 SAY «ТОК ПЛАВ. ВСТАВКИ = » GET INOMPL
```

### **Содержание отчета**

1. Название работы
2. Цель работы
3. Тексты разработанных программ
4. Выводы по результатам тестирования программ

### **Контрольные вопросы**

1. Условия выбора проводов.

2. Условия выбора предохранителей.
3. Какими способами можно организовать выбор проводов из базы данных?
4. Какими способами можно организовать выбор предохранителей из базы данных?



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА №7

### Создание программы выбора электрических аппаратов в цеховой электрической сети

*Цель работы: создание программы, обеспечивающей автоматический выбор электрических аппаратов – автоматических выключателей в сетях напряжением 0,4 кВ.*

#### Краткие методические указания

Автоматические выключатели предназначены для защиты электрооборудования и электрических сетей напряжением 0,4 кВ от токов перегрузки и коротких замыканий, а также для нечастых включений – отключений.

Для отключения выключателей в случае возникновения токов коротких замыканий или перегрузки служат автоматические устройства, называемые расцепителями.

Для защиты от токов перегрузки используется максимальный расцепитель, действующий с выдержкой времени. От токов коротких замыканий защищают мгновенный расцепитель или отсечка.

При выборе автоматических выключателей необходимо выполнение следующих условий.

$$U_{\text{ном}} \geq U_{\text{сети}}; \quad (1)$$

где  $U_{\text{ном}}$  – номинальное напряжение автоматического выключателя;  
 $U_{\text{сети}}$  – напряжение сети;

$$I_{\text{ном}} \geq I_{\text{расч}}; \quad (2)$$

где  $I_{\text{ном}}$  – номинальный ток автоматического выключателя;  
 $I_{\text{расч}}$  – расчетный ток линии, которая защищается автоматическим выключателем;

$$I_{\text{ном. расч.}} \geq I_{\text{расч}}; \quad (3)$$

где  $I_{\text{ном. расч.}}$  – номинальный ток максимального расцепителя;

$$I_{\text{мгн.}} \geq 1,25 \cdot I_{\text{пик}} ; \quad (4)$$

где  $I_{\text{мгн.}}$  ток мгновенного расцепителя или отсечки, определяемого в большинстве случаев как:

$$I_{\text{пик}} = K \cdot I_{\text{ном. расц}}, \quad (5)$$

где  $K$  – кратность тока срабатывания мгновенного расцепителя по отношению к номинальному току максимального расцепителя;

$I_{\text{пик}}$  – пиковый ток защищаемой линии.

Рассмотрим примерный текст программы, реализующий выбор автоматического выключателя по условиям (2), (3), (4). Выбор автоматических выключателей производим из базы данных АВТ. Она имеет следующую структуру.

Таблица 1. Структура базы данных АВТ

Поле	Тип данных	Назначение
TIP	C	Тип выключателя
INOM	N	Номинальный ток выключателя
INOMR	N	Номинальный ток максимального расцепителя
KRAT	N	Кратность тока срабатывания мгновенного расцепителя по отношению к максимальному расцепителю
IOTKL	N	Номинальный ток отключения или предельная коммутационная способность

Непосредственно выбор автоматического выключателя производится в цикле сканирования или просмотра базы данных, выход из данного цикла осуществляется при одновременном выполнении условий (2), (3) и (4).

Программа имеет следующий примерный текст

```
CLEAR
CLOS ALL
USE AVT
```

```

IRAS = 0
IPIK = 0
@ 2,4 SAY «РАСЧЕТНЫЙ ТОК ЛИНИИ, А=» GET IRAS
@ 4,4 SAY «ПИКОВЫЙ ТОК ЛИНИИ, А=» GET IPIK
READ
SCAN
  IF INOM >= IRAS
    IF INOMR >= IRAS
      IF INOMR * KRAT >= 1.25 * IPIK
        EXIT
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF
ENDSCAN
CLEAR
@ 4,8 SAY «ТИП =» GET TIP
@ 6,8 SAY «НОМИН. ТОК =» GET INOM
@ 8,8 SAY «ТОК РАСЦЕПИТ =» GET INOMR
IOIS = KRAT * INOMR
@ 10,10 SAY «ТОК ОТСЕЧКИ=» GET TOTS

```

### **Содержание отчета**

1. Название работы
2. Цель работы
3. Тексты разработанных программы
4. Выводы по результатам тестирования программ

### **Контрольные вопросы**

1. Назначение автоматических выключателей.
2. Условия выбора автоматических выключателей.
3. Какими способами можно организовать выбор автоматических выключателей из базы данных?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8

### Составление программы расчета токов короткого замыкания в цеховой электрической сети

*Цель работы: ознакомиться с разработкой и отладкой программы, обеспечивающей автоматизацию расчета токов КЗ в цеховых электрических сетях.*

#### Краткие методические указания

Расчет токов КЗ в цеховых электрических сетях имеет следующие особенности по сравнению с расчетом токов КЗ в высоковольтных сетях:

- при составлении схемы замещения учитываются как активные, так и индуктивные сопротивления;

- в схему замещения вводятся все элементы, входящие в короткозамкнутую цепь между источником питания и точкой КЗ;

- система представляется в виде источника напряжения, включенного за трансформатором, питающим распределительную сеть.

Сам расчет токов КЗ производится по следующим формулам.

Начальное значение периодической составляющей тока трехфазного КЗ:

$$I_{по}^{(3)} = \frac{U_{срНН}}{\sqrt{3} \sqrt{R_{1\Sigma}^2 + X_{1\Sigma}^2}}, \text{ кА}, \quad (1)$$

где  $R_{1\Sigma}$ ,  $X_{1\Sigma}$  - суммарное активное и индуктивное сопротивления прямой последовательности цепи КЗ, мОм;

$U_{срНН}$  - среднее номинальное напряжение сети, подключенной к обмотке низшего напряжения, В.

Начальное значение периодической составляющей тока однофазного КЗ:

$$I_{по}^{(1)} = \frac{\sqrt{3} U_{срНН}}{\sqrt{(2R_{1\Sigma} + R_{0\Sigma})^2 + (2X_{1\Sigma} + X_{0\Sigma})^2}}, \text{ кА}, \quad (2)$$

где  $R_{1\Sigma}$ ,  $X_{1\Sigma}$  - суммарное активное и индуктивное сопротивления нулевой последовательности цепи КЗ, мОм.

Таким образом, основная сложность в расчете токов КЗ в цеховых электрических сетях – большое число сопротивлений элементов, входящих в короткозамкнутую цепь и имеющих к тому же большую номенклатуру.

Для решения этой задачи целесообразно использовать БД с сопротивлениями элементов, используемых в цеховых электрических сетях. На основе этих БД производится построение нескольких меню, запускаемых последовательно, одно за другим. В этих меню производится выбор того или иного элемента, сопротивление выбранного элемента автоматически складывается с предыдущим значением суммарного сопротивления короткозамкнутой цепи.

Приведем пример для использования такого подхода при определении сопротивления трансформаторов.

```
USE TRANS
RSUM=0
XSUM=0
DEFI POPU TRT FROM 5,10 TO 15,20;
PROM FIEL TIP
ON SELE POPU TRT DO PROCED1
ACTI POPU TRT
.....
RETU
PROC PROCED1
RSUM = RSUM + RTRAN
XSUM = XSUM + XTRAN
```

Построение других меню производится аналогично.

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданной преподавателем цеховой электрической сети выбрать БД, которые будут использоваться при расчете токов КЗ.
2. Создать программу расчета токов трехфазного КЗ.
3. Выполнить отладку программы.
4. Произвести расчеты токов КЗ в характерных точках схемы.
5. Дополнить программу расчетом токов однофазного КЗ.

6. Выполнить отладку программы.
7. Произвести расчеты токов КЗ в характерных точках схемы.

### **Содержание отчета**

1. Структуры использованных БД.
2. Примеры информации (записи), хранящиеся в БД.
3. Пример программирования выбора одного из элементов цеховой электрической сети.
4. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные особенности расчета токов КЗ в сетях напряжением до 1000 В?
2. Организация информации в используемых БД для расчета токов КЗ.
3. Организация проверки электрических аппаратов по токам КЗ.
4. Расчет чувствительности защит по найденным значениям токов КЗ.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9

### Расчет напряжения в цеховой электрической сети

*Цель работы: ознакомиться с разработкой и отладкой электронной таблицы табличного процессора Excel, обеспечивающей автоматизацию расчета напряжений на электроприемниках в цеховых электрических сетях.*

#### Краткие методические указания

Цеховые электрические сети могут строиться как по магистральному, так и по радиальному принципу. Примеры построения таких сетей приведены на рисунке 9.1.

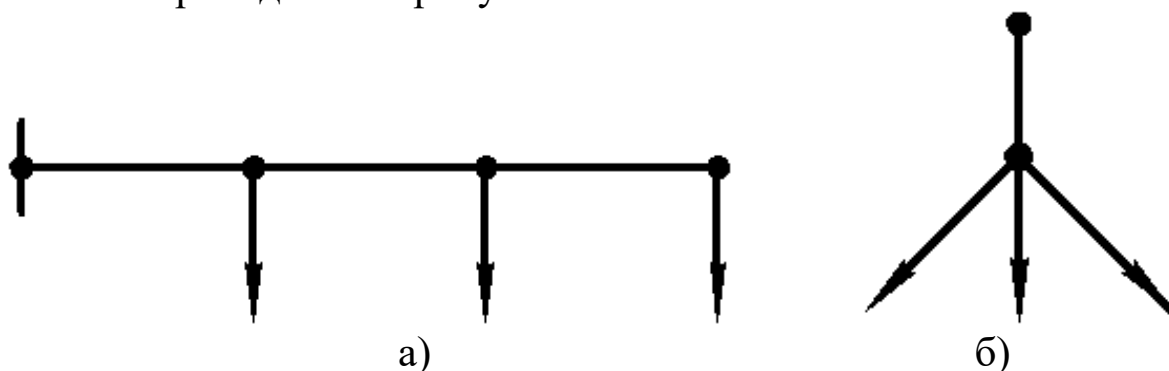


Рисунок 9.1. Схемы цеховых электрических сетей:  
а) магистральная; б) радиальная

Рассмотрим построение вычислительного процесса для обоих видов схем.

Для магистральной схемы используем метод неразветвленных магистралей. Его действие разберем для ниже приведенной схемы (рисунок 9.2).

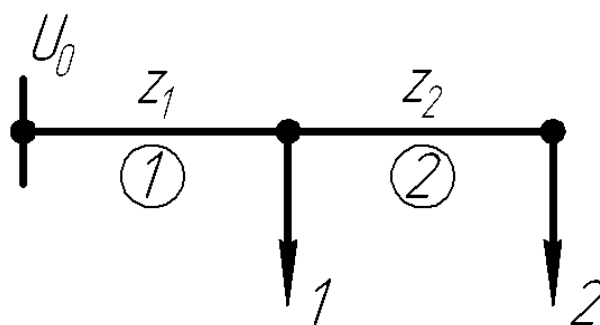


Рисунок 9.2. Схема магистральной сети

В этой схеме нагрузки 1 и 2 заданы как своими мощностями  $P$  и  $Q$ . Для расчета этой сети используется итерационный процесс. В качестве начального приближения принимаем  $U_0 = U_{ном}$  (номинальное значение напряжения сети) и  $U_0 = U_1 = U_2$ .

По заданным мощностям  $P_2$  и  $Q_2$  потребителя рассчитываем ток, протекающий по участку 2 значение тока используем для нахождения падения напряжения на участке 2. Напряжение узла 1 находим как:

$$U_1^{(1)} = U_2^{(1)} + \Delta U_2^{(1)}, \quad (1)$$

где (1) – номер шага итерации.

По значению  $U_1$  рассчитываем ток нагрузки 1 и выходим на начало линии, определяя напряжение здесь как:

$$U_0^{(1)} = U_1 + \Delta U_1. \quad (2)$$

Далее находим значение невязки или небаланса напряжений в начале линии как:

$$\delta U^{(1)} = U_0 - U_0^{(1)}. \quad (3)$$

Проверяем выполнения условия

$$\delta U^{(i)} \leq \mu, \quad (4)$$

где  $\mu$  – некоторое заранее заданное значение, характеризующее точность итерационного процесса.

Если условие (4) не выполняется, то определяется новое значение  $U_2$  по следующей формуле:

$$U_2^{(2)} = U_2^{(1)} + \delta U^{(1)}. \quad (5)$$

Процесс повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие (4).

Рассмотрим теперь организацию вычислительного процесса для радиальной схемы, приведенной на рис. 9.3.

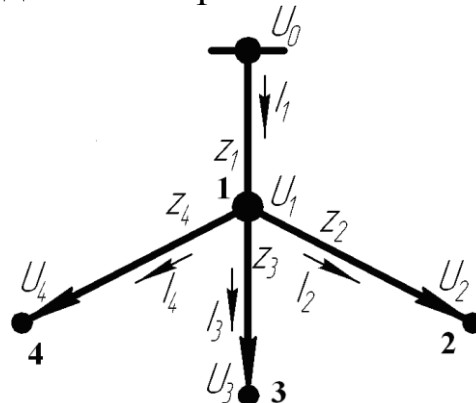


Рисунок 9.3. Схема радиальной сети



Данная схема рассчитывается аналогично. В качестве начального приближения принимаем, что напряжение  $U_1 = U_2 = U_3 = U_4$  и равны  $U_0$  (которое в дальнейшем принимаем неизменным).

По значениям мощности нагрузок рассчитываем токи  $I_2, I_3, I_4$ . Ток  $I_1$  будет равен сумме этих токов. Далее определяем падение напряжения на участке 1 как:

$$\Delta U_1 = I_1 z_1. \quad (6)$$

Находим напряжение в узле 1 по следующей формуле:

$$U_1 = U_0 - \Delta U_1. \quad (7)$$

В конце шага итерационного процесса определяем падение напряжения на участках 2, 3 и 4 и напряжения в узлах 2, 3 и 4 как:

$$\Delta U_i = I_i z_i, \quad (8)$$

$$U_i = U_1 - \Delta U_i, \quad (9)$$

где  $i=2, 3, 4$ .

Для контроля точности получаемого решения и определения момента остановки расчетов находим значения невязок напряжений по узлам 2, 3 и 4:

$$\delta U_i = U_i^{(n)} - U_i^{(n-1)}, \quad (10)$$

где  $n$  – номер итерационного шага.

Критерием остановки итерационного процесса будет выполнение следующего условия:

$$\delta U_i \leq \varepsilon, \quad (11)$$

где  $\varepsilon$  – некоторое заранее заданное значение, характеризующее точность итерационного процесса.

### **Порядок выполнения работы**

1. Составить схему сети, ввести расчетные формулы и исходные данные (рисунок 9.4 и рисунок 9.5). На первом шаге итерационного процесса напряжения в узлах нагрузки принимаются равными номинальному напряжению сети.

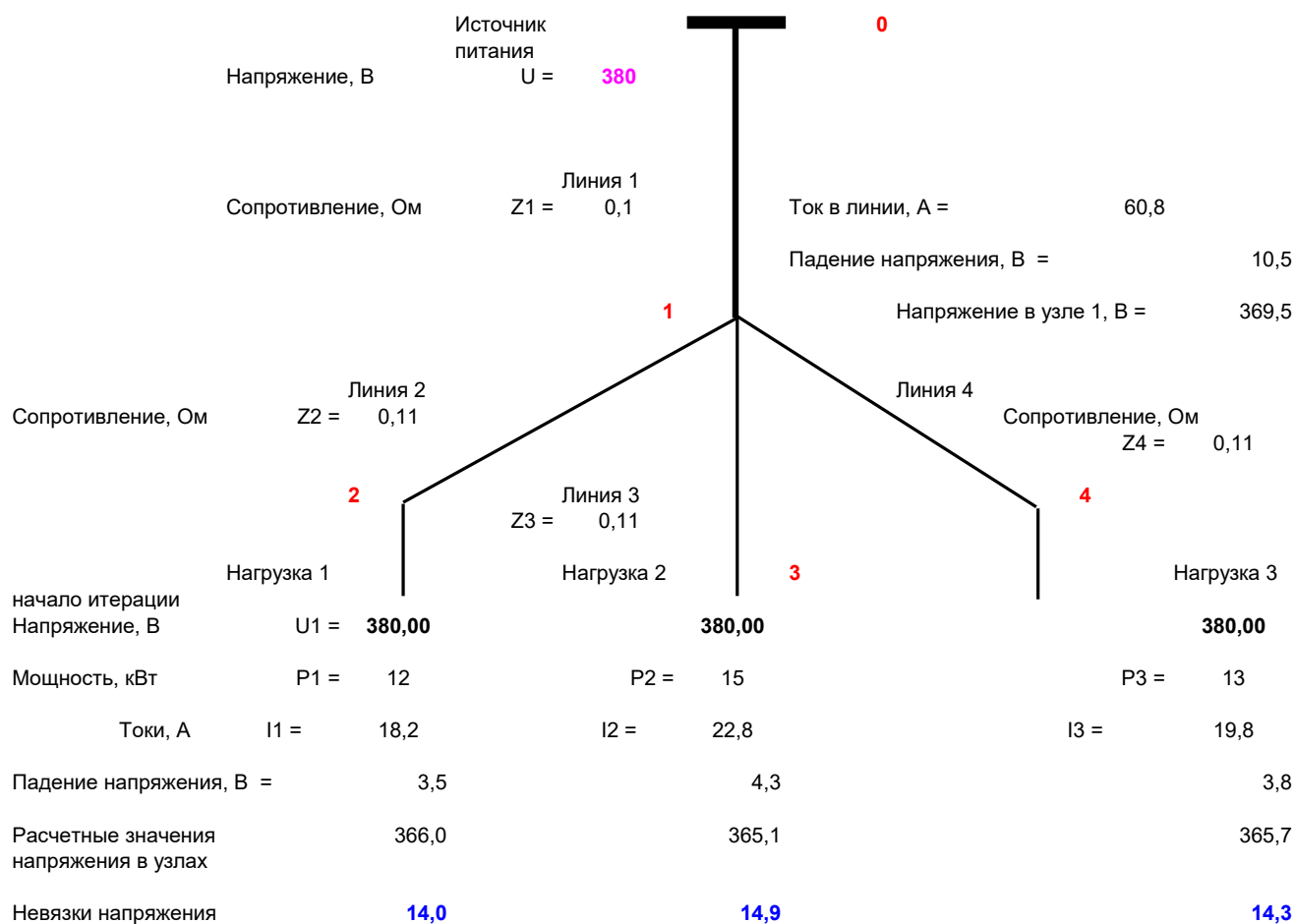


Рисунок 9.4. Расчетная таблица

Принимаем нагрузки чисто активными, токи в линиях 2-4 определяем как:

$$I = \frac{P_i}{\sqrt{3} \cdot U_i}, \quad (1)$$

где  $P_i$  - активная мощность  $i$ -го узла нагрузки;

$U_i$  - напряжение в  $i$ -м узле нагрузки.

Ток в линии 1 определяется как сумма токов линий 2-4.



F	G	H	I	J	K
		Источник питания			0
Напряжение, В			U = 380		
Сопротивление, Ом			Линия 1 Z1 = 0,1		Ток в линии, А =
					Падение напряжения
			1		
	Линия 2 Z2 = 0,11				
	2				
			Линия 3 Z3 = 0,11		
Нагрузка 1			Нагрузка 2		3
	U1 = 380			380	
	P1 = 12			P2 = 15	
I1 =	=G35*1000/(3^0,5*G3		I2 =	=J35*1000/(3^0,5*J33	
	=3^0,5*G37*G25			=3^0,5*J37*I29	
	=N21-G39			=N21-J39	
	=G33-G41			=J33-J41	

Рисунок 9.6. Часть расчетной таблицы с видом формул

2. Скопировать ячейки таблицы с полученными расчетными значениями напряжения в узлах.

3. Используя последовательность действий – Правка – Специальная вставка – Значения, вставить значения напряжений в ячейки напряжений начала итерации (выполнить последующий итерационный шаг).

4. Повторить п.2 и 3 до тех пор, пока невязки напряжений не станут меньше заданных преподавателем значений.

### Содержание отчета

1. Схема рассчитываемой цеховой сети с электроприемниками.

2. Таблица с расчетными данными (значения напряжений в узловых точках схемы на первом шаге итерационного процесса и на последнем шаге)
3. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Основные методы итерационных расчетов цеховых электрических сетей.
2. Условия сходимости итерационных расчетов цеховых электрических сетей.
3. Порядок формирования расчетных уравнений.
4. Как выполняется проверка по точности найденных решений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 10

### Расчет напряжения в цеховой электрической сети с учетом статических характеристик электроприемников

*Цель работы: ознакомиться с разработкой и отладкой электронной таблицы табличного процессора Excel, обеспечивающей автоматизацию расчета напряжений на электроприемниках в цеховых электрических сетях с учетом статических характеристик электроприемников.*

#### Краткие методические указания

Статические характеристики электроприемников представляют собой зависимости потребляемой мощности от уровня напряжения на вводных зажимах электроприемников. Практически для всех электроприемников статические характеристики имеют падающий характер, т.е. с уменьшением уровня напряжения снижается потребление как активной, так и реактивной мощности. В общем случае потребление активной мощности  $P_*$  и реактивной  $Q_*$  отдельным электроприемником может быть выражено следующими уравнениями:

$$P_* = a_1 U_* + a_2 U_*^2; \quad (1)$$

$$Q_* = a_3 U_* + a_4 U_*^2,$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_4$  – коэффициенты, определяющие вид статических характеристик ЭП различных типов;

$U_*$  – величина напряжения в относительных единицах.

Поэтому данная задача должна решаться итерационным методом за несколько шагов. На первом шаге принимается следующее допущение – напряжение во всех точках рассматриваемой сети равно напряжению в начале линии. На основе этого рассчитываются распределение потоков мощности в сети и значения потерь мощности.

На втором шаге по найденному в первом шаге распределению мощностей и значениям потерь определяются напряжения на ЭП и корректировка значений потребляемой мощности по статическим характеристикам нагрузки.

Третий шаг расчета состоит в новом расчете распределения мощностей и потерь в сети.

Далее повторяются действия второго этапа, и новые значения напряжений в сети будут использоваться для определения уточненных значений потребляемой мощности при новом выполнении третьего этапа.

Рассмотрим выполнение подобных расчетов для магистральной цеховой сети.

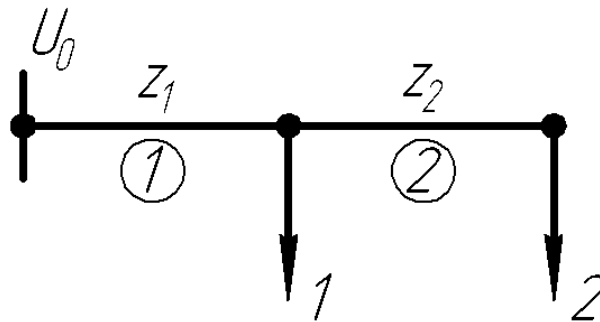


Рисунок 1. Схема магистральной сети

В этой схеме нагрузки 1 и 2 заданы как своими мощностями  $P$  и  $Q$ , так и статическими характеристиками. Для расчета этой сети используется итерационный процесс. В качестве начального приближения принимаем  $U_0 = U_{ном}$  (номинальное значение напряжения сети) и  $U_0 = U_1 = U_2$ .

По заданным статическим характеристикам находим мощности  $P_2$  и  $Q_2$  потребителя в следующем порядке:

1. Рассчитываем значение напряжения в относительных единицах.
2. По статическим характеристикам находим значение потребляемой мощности электроприемником.

Рассчитываем ток, протекающий по участку 2 значение тока используем для нахождения падения напряжения на участке 2. Напряжение узла 1 находим как:

$$U_1^{(1)} = U_2^{(1)} + \Delta U_2^{(1)}, \quad (2)$$

где (1) – номер шага итерации.

По значению  $U_1$  рассчитываем ток нагрузки 1 и выходим на начало линии, определяя напряжение здесь как:

$$U_0^{(1)} = U_1 + \Delta U_1. \quad (3)$$

Далее находим значение невязки или небаланса напряжений в начале линии как:

$$\delta U^{(1)} = U_0 - U_0^{(1)}. \quad (4)$$

Проверяем выполнения условия

$$\delta U^{(i)} \leq \mu, \quad (5)$$

где  $\mu$  – некоторое заранее заданное значение, характеризующее точность итерационного процесса.

Если условие (4) не выполняется, то определяется новое значение  $U_2$  по следующей формуле:

$$U_2^{(2)} = U_2^{(1)} + \delta U^{(1)}. \quad (6)$$

Процесс повторяется до тех пор, пока не будет выполнено условие (5).

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданных преподавателем электроприемников с их статическими характеристиками и конфигурации цеховой электрической сети составить в табличном процессоре Excel расчетную таблицу.
2. Выполнить первый шаг итерационного процесса и проверить условие окончания выполнения расчетов, используя заданное преподавателем значение точности выполнения расчетов.
3. Если не выполняется условие окончания итерационного процесса, повторить несколько раз вычисления до тех пор, пока не будет выполнено условие окончания расчетов.
4. Ввести в расчетную таблицу дополнительные действия по указанию преподавателя.

### **Содержание отчета**

1. Схема рассчитываемой цеховой сети с электроприемниками.
2. Таблица с расчетными данными (значения напряжений в узловых точках схемы на первом шаге итерационного процесса и на последнем шаге)
3. Выводы по работе.



## **Контрольные вопросы**

1. Основные методы итерационных расчетов цеховых электрических сетей.
2. Условия сходимости итерационных расчетов цеховых электрических сетей.
3. Порядок формирования расчетных уравнений.
4. Как выполняется проверка по точности найденных решений?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 11

### Программирование выбора сечений кабельных линий в распределительных сетях

*Цель работы: ознакомиться с разработкой и отладкой программы, обеспечивающей автоматизацию выбора и проверки сечений кабельных линий в распределительных электрических сетях.*

#### Краткие методические указания

Распределительные сети системы электроснабжения промышленного предприятия предназначены для питания потребителей на напряжении 6 – 10 кВ, к которым относятся комплектные трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ; высоковольтные синхронные и асинхронные электродвигатели; высоковольтные электропечи; преобразовательные подстанции и некоторые другие потребители.

Питание таких потребителей выполняется в основном кабельными линиями, прокладываемыми в различных кабельных сооружениях – кабельных траншеях, каналах, туннелях, блоках и т.п. Выбор сечений кабельных линий производится по экономической плотности тока с проверкой выбранного сечения на нагрев токами нормального и послеаварийного режимов и на термическую стойкость.

Для автоматизации подобного выбора и проверки удобно использовать системы управления базами данных. В этом случае сечения и токи кабелей легко выбирать из тех или иных баз данных с помощью предварительно составленной программы. Текст подобной примерной программы приведен ниже. Данная программа обеспечивает открытие база данных кабелей под названием `kabeli`, запрос пользователя на ввод значений токов нормального и аварийного режимов с сохранением этих значений в переменных `tok1` и `tok2`, расчет экономического сечения кабельной линии и выбор ближайшего стандартного значения из базы данных, после чего производится проверка по токам нормального и аварийного режимов.

```
CLOS ALL  
USE KABELI
```

```

CLEAR
ТОК1=0
ТОК2=0
@ 5,10 SAY "ВВЕДИТЕ ТОК НОРМАЛЬНОГО РЕЖИМА" GET
ТОК1
@ 7,10 SAY "ВВЕДИТЕ ТОК АВАРИЙНОГО РЕЖИМА" GET
ТОК1
READ
FEK=ТОК1/1.4
LOCA FOR SECH >= FEK
F1=SECH
SKIP -1
F2=SECH
IF F1-FEK > FEK-F2
    FSTAN=F2
ELSE
    FSTAN=F1
ENDIF
LOCA FOR SECH=FSTAN
DO WHILE .T.
    IF ТОК1 > IDOP
        IF ТОК2 > IDOP*1.3
            EXIT
        ENDIF
    ENDIF
SKIP
ENDDO
@ 10,10 SAY "ВЫБРАНО СЕЧЕНИЕ, КВ.ММ = " GET SECH
@ 12,10 SAY "ДОПУСИТИМЫЙ ТОК,А = " GET IDOP
WAIT
CLOS ALL

```

### **Порядок выполнения работы**

1. Для заданных преподавателем электроприемников и конфигурации распределительной сети рассчитать токи нормального и аварийного режимов.

2. Создать программу расчета и выбора сечений кабельных линий.
3. Выполнить отладку программы.
4. Произвести расчет и выбор сечений кабельных линий.
5. Ввести в программу дополнительные действия по указанию преподавателя.
6. Выполнить отладку программы.
7. Произвести расчет и выбор сечений кабельных линий.

### **Содержание отчета**

1. Структуры использованных БД.
2. Примеры информации (записи), хранящиеся в БД.
3. Пример программирования выбора и проверки сечений кабельных линий.
4. Выводы по работе.

### **Контрольные вопросы**

1. Организация информации в используемых БД для выбора и проверки сечений кабельных линий.
2. От чего зависит значение экономической плотности тока?
3. Когда не применяется выбор сечений кабельных линий по экономической плотности тока?
4. Как учитываются условия прокладки кабельных линий при выборе и проверке сечений?
5. Как выполняется проверка выбранных сечений кабельных линий на термическую стойкость?

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Автоматизация проектирования электротехнических систем и устройств : учебное пособие для вузов всех электротехнических специальностей / Д. А. Аветисян . – М. : Высшая школа, 2005 .
2. В. Н. Костин.: Оптимизационные задачи электроэнергетики: Учеб. пособие. –СПб.: СЗТУ, 2003 – 120 с.
3. Лыкин А. В. Электрические системы и сети [Текст] : учебное пособие / А. В. Лыкин. – М. : Логос, 2007. – 254 с.
4. Балаков Ю.Н., Мисриханов М.Ш., Шунтов А.В. Проектирование схем электроустановок: учебное пособие для вузов. – 3-е изд., стереот. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009. – 288 с., ил.
5. Электрические системы и сети в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Строева – М.: Высшая школа, 1999.
6. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях. Учебное пособие для вузов / Под ред. В.А. Строева – М.: Знак, 1996.