



**Негосударственное частное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Технический университет УГМК»**

**ЗАДАНИЯ И МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ  
ПО ВЫПОЛНЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ РАБОТ  
ПО МОДУЛЮ  
МОДУЛЬ 3 АВТОМАТИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМАМИ  
ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЙ**

<b>Направление подготовки</b>	<b><i>13.04.02 Электроэнергетика и электро- техника</i></b>
<b>Направленность (профиль)</b>	<b><i>Управление и устойчивое развитие элек- трохозяйства предприятия</i></b>
<b>Уровень высшего образования</b>	<b><i>магистратура</i></b> <i>(бакалавриат, специалитет, магистратура)</i>
<b>Квалификация выпускника</b>	<b><i>магистр</i></b>

Автор - разработчик: канд. техн. наук Жаткин А.Н.  
Рассмотрено на заседании кафедры Энергетики  
Одобрено Методическим советом университета 30 июня 2021 г., протокол № 4

г. Верхняя Пышма  
2021

Задания и методические указания для магистрантов по выполнению практических работ по модулю "Модуль 3 Автоматизация управления системами электроснабжения предприятий".

Практические занятия являются формой аудиторных занятий. Практические работы по модулю имеют целью под руководством преподавателя на практике закрепление и углубление изученного материала и приобретение умений и навыков.

Магистрантам для лучшего усвоения материала рекомендуется вести запись информации, полученной во время обсуждения вопросов на практических занятиях.

### *Тематика практических работ*

№	Наименование работы
1	Предмет изучения дисциплины. Основные задачи. Договор энергоснабжения Тарифы и ценовые категории на электрическую энергию Показатели энергетической эффективности для промышленных предприятий
2	Активные энергетические комплексы. Микросеть. Microgrid. Цифровые распределительные сети. Автономные энергетические системы. (семестр 3)
3	Активные энергетические комплексы. Микросеть. Microgrid. Цифровые распределительные сети. Автономные энергетические системы. (семестр 4)
4	Основные тенденции развития систем автоматизации Микропроцессорные средства управления Применение элементов систем телеметрии
5	Качество электрической энергии. Показатель качества электрической энергии Управление качеством электроэнергии на предприятии Компенсация реактивной мощности
6	Целевые функции и задачи функционирования интеллектуальных систем управления энергохозяйством предприятия. Выбор оптимальных параметров и режимов работы электротехнических комплексов. Интеллектуальные системы управления энергохозяйством предприятия. (семестр 3)
7	Целевые функции и задачи функционирования интеллектуальных систем управления энергохозяйством предприятия. Выбор оптимальных параметров и режимов работы электротехнических комплексов. Интеллектуальные системы управления энергохозяйством предприятия. (семестр 4)

### **Практические работы 1-5**

#### **Практическое задание по теме «Эффективные системы электроснабжения»**

**Задача 1.1.** В результате испытания  $N=1000$  однотипных конденсаторов за время  $t$  час отказало  $m = X$  штук.

**Определить** вероятность безотказной работы  $\hat{p}(t)$ , вероятность отказа  $\hat{q}(t)$ , интенсивность отказов  $\hat{\lambda}(t)$  и время наработки до отказа  $T$ .

Пусть  $t = 2000$  час.,  $X = 80$  штук. Тогда вероятность безотказной работы в течение времени  $t$  (вероятность того, что за время  $t$  не произойдет ни одного отказа объекта) определяют по формуле (1.3):

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{m}{N},$$

где  $m$  – число элементов ЭУ, отказавших за время  $t$ ;  
 $N$  – число элементов, работоспособных в начальный момент времени.

$$\hat{P}(t) = 1 - \frac{800}{1000} = 0,92.$$

Определим вероятность отказа:

$$P(t) + Q(t) = 1, \text{ следовательно, } Q(t) = 1 - P(t) = 1 - 0,92 = 0,08.$$

Статистическая оценка интенсивности отказов вычисляется по формуле:

$$\hat{\lambda}(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N \cdot \Delta t} = \frac{80}{1000 \cdot 2000} = 4 \cdot 10^{-5} \text{ 1/час,}$$

$$T = \frac{1}{\hat{\lambda}} = \frac{1}{4 \cdot 10^{-5}} = 25000 \text{ час} = 2,85 \text{ года.}$$

Варианты исходных данных

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T$ , час	2500	2400	2300	2100	2000	1800	1700	1600	1500	1900
$X$ , шт.	80	90	100	95	85	70	65	60	55	75

**Задача 1.2.** В аварийно-восстановительном ремонте находятся 20 однотипных трансформаторов. Статистика восстановительных ремонтов такова:

$t$	20	35	40	60
$n(t)$	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$

**Определить** статистические значения интенсивности восстановления и среднюю продолжительность восстановления на каждом интервале.

Пусть  $X_1 = 2, X_2 = 3, X_3 = 5, X_4 = 6$ .

Значение интенсивности восстановления определяем по формуле:

$$\hat{\mu}(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{H.CP} \cdot \Delta t},$$

где  $n_B(\Delta t)$  – количество восстановлений однотипных объектов за интервал  $\Delta t$ ;

$N_{H.CP}$  – среднее количество объектов, находящихся в невосстановленном состоянии на интервале  $\Delta t$ .

На интервале времени от 0 до 20 часов для 20 невосстановленных трансформаторов интенсивность восстановления равна

$$\hat{\mu}(20) = \frac{2}{20 \cdot 20} = 0,005$$

1/час. Средняя продолжительность восстановления на этом интервале равна  $T_{в1} = 1/0,005 = 200$  час. На интервале от 20 до 35 часов интенсивность восстановления

$$\hat{\mu}(35) = \frac{3}{18 \cdot 15} = 0,011$$

равна 1/час,  $T_{в2} = 90$  час, на интервале от 35 до 40 часов интенсивность восстановления равна

$$\hat{\mu}(40) = \frac{5}{15 \cdot 5} = 0,067$$

1/час,  $T_{в3} = 15$  час, на интервале от 40 до 60 часов интенсивность восстановления равна  $\hat{\mu}(60) = \frac{6}{10 \cdot 20} = 0,03$  1/час,  $T_{в4} = 33,3$  час.

#### Варианты исходных данных

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$X_1$ , штук	2	5	3	4	6	2	5	4	7	1
$X_2$ , штук	5	7	4	6	5	4	6	7	8	3
$X_3$ , штук	7	5	6	7	8	5	6	5	4	5
$X_4$ , штук	6	3	7	3	6	4	8	4	6	6

**Задача 1.3.** Система электроснабжения состоит из семи основных элементов. Время восстановления каждого из элементов составляет  $t_{1-7} = 5,2; 6; 7,0; 7,0; 7,0; 8,2; 5,9$  час соответственно. Поток отказов каждого из элементов системы составляет  $\omega_{1-7} = 0,016; 0,09; 0,03; 0,03; 0,03; 0,045; 0,024$  1/год соответственно.

**Определить** среднее время восстановления системы при условии, что элементы соединены параллельно или последовательно согласно вариантам заданий.

Предположим, что все элементы системы соединены последовательно. Тогда при последовательном соединении элементов найдем поток отказов системы согласно формуле:

$$\omega_C = \sum_{i=1}^7 \omega_{i-7} = 0,245 \text{ 1/год}$$

Время восстановления системы определяем

$$T_C = \frac{\sum_{i=1}^7 \omega_{i-7} \cdot t_{i-7}}{\omega_C} = 7,2 \text{ часа}$$

#### Варианты исходных данных

№ вар.	Схемы соединения элементов
1	1, 2 и 3, 4 элементы попарно параллельны и соединены последовательно с 5, 6, 7 элементами
2	2, 3 и 4, 5 элементы попарно параллельны и соединены последовательно с 1, 6, 7 элементами

3	3, 4 и 5, 6 элементы попарно параллельны и соединены последовательно с 1, 2, 7 элементами
4	4, 5 и 6, 7 элементы попарно параллельны и соединены последовательно с 1, 2, 3 элементами
5	1, 2 и 6, 7 элементы попарно параллельны и соединены последовательно с 3, 4, 5 элементами
6	1, 2 и 5, 6 элементы попарно параллельны и соединены последовательно с 3, 4, 7 элементами
7	1, 2, 3 элементы соединены параллельно и соединены последовательно с 4, 5, 6, 7 элементами
8	2, 3, 4 элементы соединены параллельно и соединены последовательно с 1, 5, 6, 7 элементами
9	3, 4, 5 элементы соединены параллельно и соединены последовательно с 1, 2, 6, 7 элементами
10	4, 5, 6 элементы соединены параллельно и соединены последовательно с 1, 2, 3, 7 элементами

**Задача 2.1.** Схема системы электроснабжения представлена на рис. 2.1. Номер потребителя выбирается в соответствии с заданным номером варианта.

**Составить ФР** для системы электроснабжения.

**Представить ФР** в виде определителя.

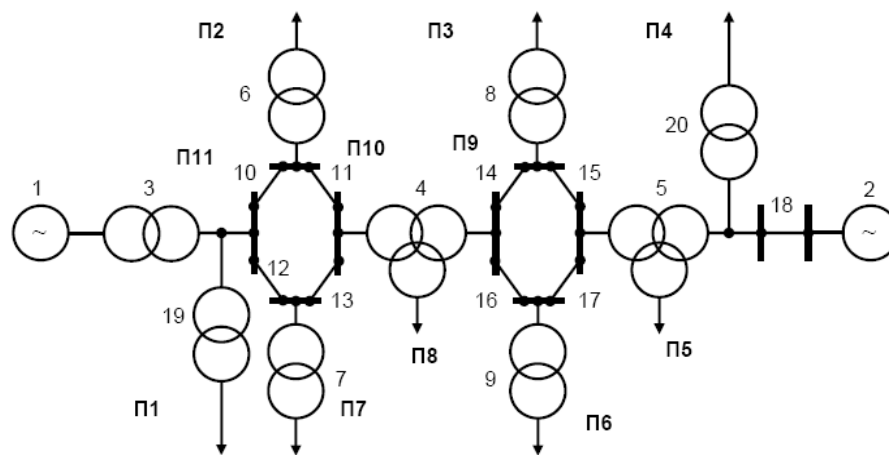


Рисунок 2.1 - Схема системы электроснабжения

### Решение

Составим упрощенную структурную схему для потребителя П1 (рис. 2.2).

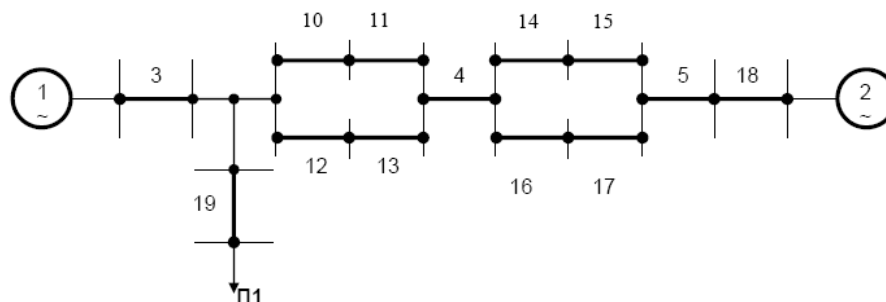


Рисунок 2.2 - Упрощенная схема электроснабжения потребителя П1

Условие работоспособности потребителя П1 запишется:

$$F_{\text{П1}} = \begin{vmatrix} 19 \cdot 3 \cdot 1 \\ 19 \cdot 12 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 17 \cdot 5 \cdot 18 \cdot 2 \\ 19 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 17 \cdot 5 \cdot 18 \cdot 2 \\ 19 \cdot 12 \cdot 13 \cdot 4 \cdot 14 \cdot 15 \cdot 5 \cdot 18 \cdot 2 \\ 19 \cdot 10 \cdot 11 \cdot 4 \cdot 14 \cdot 15 \cdot 5 \cdot 18 \cdot 2 \end{vmatrix}$$

### Варианты исходных данных

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потребитель	П11	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10

**Задача 2.2.** Система электроснабжения представлена на рис. 2.1. Число элементов системы электроснабжения в сечении не превышает 3.

**Составить** ФНР для системы электроснабжения, используя метод минимальных сечений.

Определим условие неработоспособности потребителя П1, используя упрощенную схему электроснабжения потребителя П1 (рис. 2.2):

$$\bar{F}_{\text{B7}} = \left| \overline{19} \right| + \begin{vmatrix} \overline{1 \cdot 2} \\ \overline{1 \cdot 18} \\ \overline{1 \cdot 5} \\ \overline{1 \cdot 4} \\ \overline{3 \cdot 2} \\ \overline{3 \cdot 18} \\ \overline{3 \cdot 5} \\ \overline{3 \cdot 4} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \overline{1 \cdot 15 \cdot 17} \\ \overline{1 \cdot 15 \cdot 16} \\ \overline{1 \cdot 14 \cdot 17} \\ \overline{1 \cdot 14 \cdot 16} \\ \overline{1 \cdot 11 \cdot 13} \\ \overline{1 \cdot 11 \cdot 12} \\ \overline{1 \cdot 10 \cdot 13} \\ \overline{1 \cdot 10 \cdot 12} \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \overline{3 \cdot 15 \cdot 17} \\ \overline{3 \cdot 15 \cdot 16} \\ \overline{3 \cdot 14 \cdot 17} \\ \overline{3 \cdot 14 \cdot 16} \\ \overline{3 \cdot 11 \cdot 13} \\ \overline{3 \cdot 11 \cdot 12} \\ \overline{3 \cdot 10 \cdot 13} \\ \overline{3 \cdot 10 \cdot 12} \end{vmatrix}.$$

Приближенное значение функции неработоспособности потребителя П1:

$$\tilde{F}_{\text{П1}} = \left| \overline{19} \right| + \begin{vmatrix} \overline{1 \cdot 2} \\ \overline{1 \cdot 18} \\ \overline{1 \cdot 5} \\ \overline{1 \cdot 4} \\ \overline{3 \cdot 2} \\ \overline{3 \cdot 18} \\ \overline{3 \cdot 5} \\ \overline{3 \cdot 4} \end{vmatrix}.$$

Варианты исходных данных

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потребитель	П11	П2	П3	П4	П5	П6	П7	П8	П9	П10

**Задание 3.1. Выполнить расчет** надежности участка электрической сети с заданным резервированием элементов сети. **Произвести расчет** кратности резервирования и показателей надежности участка системы ( $P, Q, T, T_B$ ), где  $n$  - количество элементов, включая резервные,  $m$  - количество элементов, функционирование которых необходимо для работы системы. Расчет производится для системы с однотипными элементами (равнонадежными) при условии полного погашения.

Варианты исходных данных

	№ варианта									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$n$	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3
$m$	3	2	1	2	1	3	2	1	2	1
$p$	0,9	0,9	0,9	0,85	0,85	0,85	0,87	0,87	0,92	0,92
$\mu_{,1/год}$	0,1	0,09	0,085	0,1	0,09	0,085	0,1	0,09	0,1	0,09

Пусть для нормальной работы участка сети требуется  $m = 1$  элемент, при имеющихся  $n = 2$  элементах. Элементы равнонадежные, вероятность безотказной работы элемента сети равна  $p_1 = p_2 = 0,85$ , поток восстановления каждого из элементов  $\mu_1 = \mu_2 = 0,1$  1/год.

$$k = \frac{n - m}{m} = 1$$

Определим кратность резервирования как  $\frac{n - m}{m}$ .

Условие работоспособности имеет место тогда, когда первый или второй элемент находится в работоспособном состоянии. Условие неработоспособности характеризуется наличием одновременных отказов первого и второго элементов:

$$F_c = 1 + 2; \bar{F}_c = \bar{1} \cdot \bar{2}.$$

Соответственно вероятность безотказной работы  $P_c$  и вероятность отказов  $Q_c$  определяем как:

$$P_c = p_1 + p_2 - p_1 p_2 = 2p - p^2 = 2 \cdot 0,85 - 0,85^2 = 0,9775;$$

$$Q_c = q_1 q_2 = q^2 = 0,15^2 = 0,0225.$$

Время безотказной работы системы определяем, как:

$$T_c = \frac{1 - Q_c}{\sum \frac{\partial Q_c}{\partial q_i} \cdot \mu_i} = \frac{1 - q_1 q_2}{q_2 \mu_1 + q_1 \mu_2} = \frac{1 - q^2}{2q\mu} = 32,5 \text{ лет.}$$

Время восстановления системы:

$$T_{в.с} = \frac{Q_c}{\sum \frac{\partial Q_c}{\partial q_i} \cdot \mu_i} = \frac{q^2}{2q\mu} = \frac{q}{2\mu} = 0,75 \text{ года.}$$

**Задание 3.2.** Определить среднегодовой недоотпуск электроэнергии потребителю, схема электроснабжения которого приведена на рис. 4.1. Пропускные способности ВЛ<sub>1</sub> и ВЛ<sub>2</sub> равны  $P_{н\max}$  (МВт) каждая, коэффициенты готовности  $k_{зотЛ1}=k_{зотЛ2}$ . Коэффициенты готовности  $k_{зотТ1} = k_{зотТ2}$ . Мощность каждого из трансформаторов  $S_{тр}$  достаточна для полного обеспечения потребителя электроэнергией. Суточный график нагрузки одинаковый в течение года и характеризуется тем, что с 0 до 8 ч и с 20 до 24 ч нагрузка равна  $X \cdot P_{н\max}$ , а с 8 до 20 ч  $-P_{н\max}$ . Система имеет 100 %-ную надежность.

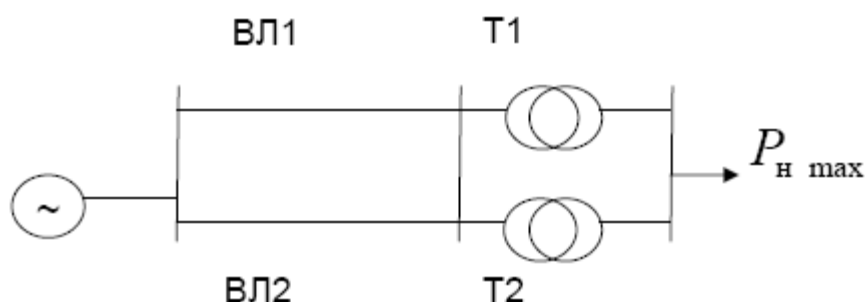


Рисунок 4.1 - Схема электроснабжения потребителя

Варианты исходных данных

№ вар.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$P_{н\max}$ , МВт	20	20	20	35	35	35	12	12	12	55
$k_{зотЛ}$	0,85	0,85	0,75	0,75	0,8	0,8	0,85	0,85	0,75	0,75
$k_{зотТР}$	0,95	0,9	0,89	0,95	0,9	0,89	0,95	0,9	0,89	0,95
$X$	0,65	0,7	0,67	0,8	0,65	0,7	0,75	0,8	0,65	0,7

Пусть  $P_{н\max} = 20$  МВт,  $k_{зотЛ}=0,8, k_{зотТР}=0,95, X=0,75$ . В соответствии со схемой, приведенной на рис. 4.1, используем формулы для последовательно соединенных элементов и для параллельно соединенных. Определим коэффициент готовности схемы:

$$k_{ГС} = (k_{зотЛ1} + k_{зотЛ2} - k_{зотЛ1} k_{зотЛ2})(k_{зотТР1} + k_{зотТР2} - k_{зотТР1} k_{зотТР2}).$$

Подставив численные значения коэффициентов, получим

$$k_{ГС} = (0,8 + 0,8 - 0,8 \times 0,8) (0,95 + 0,95 - 0,95 \times 0,95) = 0,96 \times 0,9975 = 0,9576.$$

Соответственно коэффициент неготовности схемы (опасности простоя)

$$k_{НГС} = 1 - k_{ГС} = 0,00424.$$



Из характеристик суточного графика нагрузки видно, что 12 ч она составляет  $0,75 P_{H\max}$  и 12 ч –  $P_{H\min}$ . Поэтому математическое ожидание среднегодового недоотпуска электроэнергии определится как:

$$\Delta W_j = \left( 0,75 \cdot 20 \cdot \frac{8760}{2} + 1,0 \cdot 20 \cdot \frac{8760}{2} \right) \cdot 0,0424 = 153300 \cdot 0,0424;$$
$$\Delta W_j \approx 6500 \text{ МВт} \cdot \text{час.}$$

### Практические работы 6, 7

#### Практическое задание по теме «Smart Grid предприятия»:

Мини-концепция Цифровая трансформация для Вашего объекта:

Определить перечень технологий, имеющих отношение к Smart Grid, которые будут активно использоваться при выполнении магистерской работы. При этом необходимо качественно описать какие преимущества и эффект даст применение концепции Smart Grid. Можно провести сравнительный SWOT-анализ различных вариантов реконструкции объекта исследования. Например, варианта с простой заменой оборудования и варианта с комплексной цифровизацией.