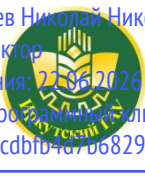


Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Дмитриев Николай Николаевич
Должность: Ректор
Дата подписания: 21.06.2026 04:15:37
Уникальный программный ключ:
f7c6227919e4cdb1b4c7b68299148707ca41



МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского»
(ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ)

Энергетический факультет
Кафедра электроснабжения и электротехники

**Методические указания для самостоятельной работы аспирантов
по дисциплине «Уровень надежности в системах электроснабжения»**

Молодежный 2022

Напечатано по решению кафедры Электроснабжения и электротехники ИРГАУ
Протокол № 5 от 11 января 2022 г.

Методические указания составлены на основе учебника «Электроснабжение сельского хозяйства» авторов: Т.Б. Лещинская, И.В. Наумов (учебник прилагается).
Рецензенты: к.т.н., доцент В.Д. Очиров (ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ). Методические указания для самостоятельной работы аспирантов по научной специальности 4.3.2. электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Варианты исходных данных

Номер варианта	Номера источников питания	Номер потребителя	Номера элементов, образующих схему электроснабжения	Ограничения по пропускной способности
1	1,2,3	П1	1,2,3,4,5,5,6,7	0,3 (7 и 4)
2	1,2,3	П2	1,2,3,4,5,6,7	0,2 (7 и 4)
3	1,2,3	П3	1,2,3,4,5,6,7	0,1 (7 и 4)
4	1,2,3	П4	1,2,3,4,5,6,7	0,4 (7 и 4)
5	1,2,3	П1	1,2,3,4,5,6,8	0,1 (5 и 8)
6	1,2,3	П2	1,2,3,4,5,6,8	0,2 (5 и 8)
7	1,2,3	П3	1,2,3,4,5,6,8	0,3 (5 и 8)
8	1,2,3	П4	1,2,3,4,5,6,8	0,4 (5 и 8)
9	1,2,3	П1	1,2,3,4,5,6,9	0,1 (9 и 3)
10	1,2,3	П1	1,2,3,4,5,6,7,9	0,1 (5 и 8)
11	1,2,3	П1	1,2,3,4,5,6,8,9	0,1 (7 и 4)
12	1,2,3	П2	1,2,3,4,5,6,10	0,2 (5 и 8)
13	1,2,3	П3	1,2,3,4,5,6,11	нет
14	2,3,4	П3	3,4,5,6,13,11	нет
15	1,3,4	П3	1,2,3,4,5,6,11,13	нет
16	1,3,4	П2	1,2,4,5,6,10,13	нет
17	1,2,3	П4	1,2,4,5,6,7,13	нет
18	1,3,4	П2	1,2,4,5,6,8,13	0,1 (5 и 8)
19	1,3,4	П1	1,2,4,5,6,8,13	0,2 (5 и 8)
20	1,3,4	П3	1,2,4,5,6,11,13,7	нет
21	2,3,4	П3	3,4,5,6,7,13,11	нет
22	2,3,4	П4	3,4,6,7,8,11,13	0,3 (4 и 7)
23	2,3,4	П2	3,4,6,7,8,11,13	0,2 (4 и 7)
24	2,3,4	П4	3,4,5,,8,11,13	0,1 (5 и 8)
25	2,3,4	П3	3,4,6,7,11,13	нет
26	2,3,4	П3	3,4,5,6,8,11,13	нет
27	2,3,4	П2	3,4,5,6,7,11,13	нет

Указания к выполнению. Анализ надежности ведется с помощью преобразования схемы электроснабжения в последовательно и параллельно соединенные элементы. Для этого генерирующие источники и потребители объединяют в шины генерирующих источников ШГ и шины потребителей ШП.

Расчет показателей надежности сводится в дальнейшем к преобразованиям схемы как последовательно соединенных или параллельно соединенных элементов.

Основные показатели надежности (параметр потока отказов ω и время восстановления T_{ϵ}) для n последовательно соединенных элементов определяются следующим образом:

$$\omega = \sum_{i=1}^n \omega_i,$$

$$T_{\epsilon} = \frac{1}{\omega} \sum_{i=1}^n \omega_i T_{\epsilon i},$$

а показатели плановых ремонтов (частота плановых ремонтов μ и продолжительность ремонтного периода T_n) как

$$\mu = \sum_{i=1}^n \mu_i; T_n = \frac{1}{\mu} \sum_{i=1}^n \mu_i T_{ni}.$$

Для двух параллельно соединенных элементов основные показатели надежности выглядят так:

$$\omega = \omega_i * (K_{\omega} * K_{nj}) + \omega_j * (K_{\omega} * K_{ni});$$

$$T_{\omega} = \frac{1}{\omega} * (T_{\omega_i} * K_{\omega} * K_{nj} + T_{\omega_j} * K_{\omega} * K_{ni}) + T_{\omega_i, nj} * \omega_j * K_{ni};$$

где K_{ω} - коэффициент, учитывающий увеличение надежности элемента при проведении плановых ремонтов;

$$T_{\omega} = \frac{T_{\omega_i} * T_{\omega_j}}{T_{\omega_i} + T_{\omega_j}} - \text{ время одновременного вынужденного простоя}$$

элементов i и j ;

$T_{\omega_i, nj} = T_{\omega_j, ni} = 0,5 * T_n$ - время одновременного простоя при отказе элемента $i(j)$ и ремонтном простое элемента $i(j)$.

Для параллельно соединенных элементов не определяются показатели μ и T_n из условия недопустимости одновременного вывода в ремонт и элемента i , и элемента j .

Расчётные задания для проверки остаточных знаний. За верно выполненное задание обучающийся получает 10 баллов.

Задание 1

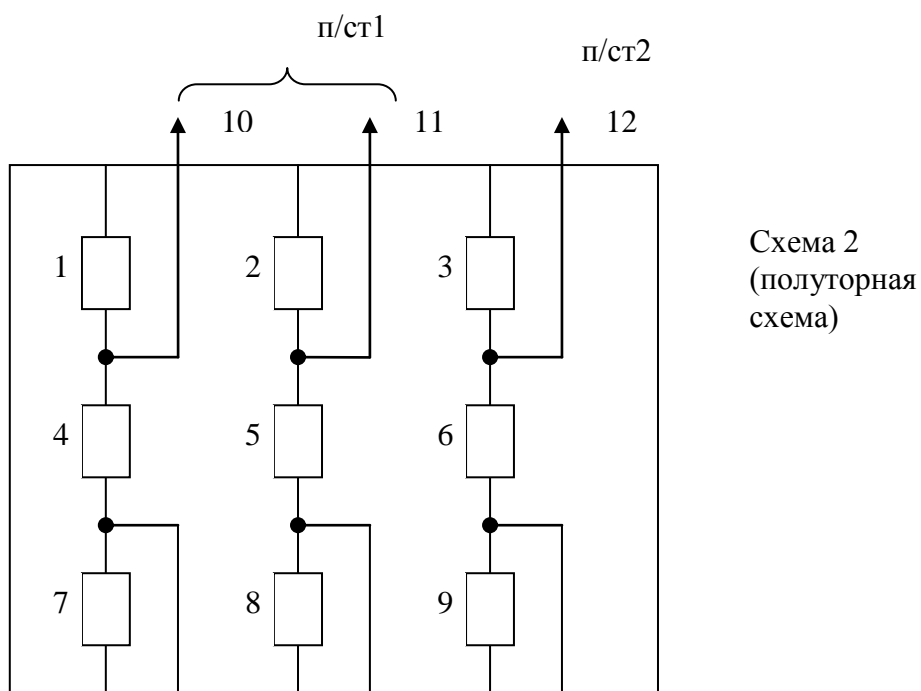
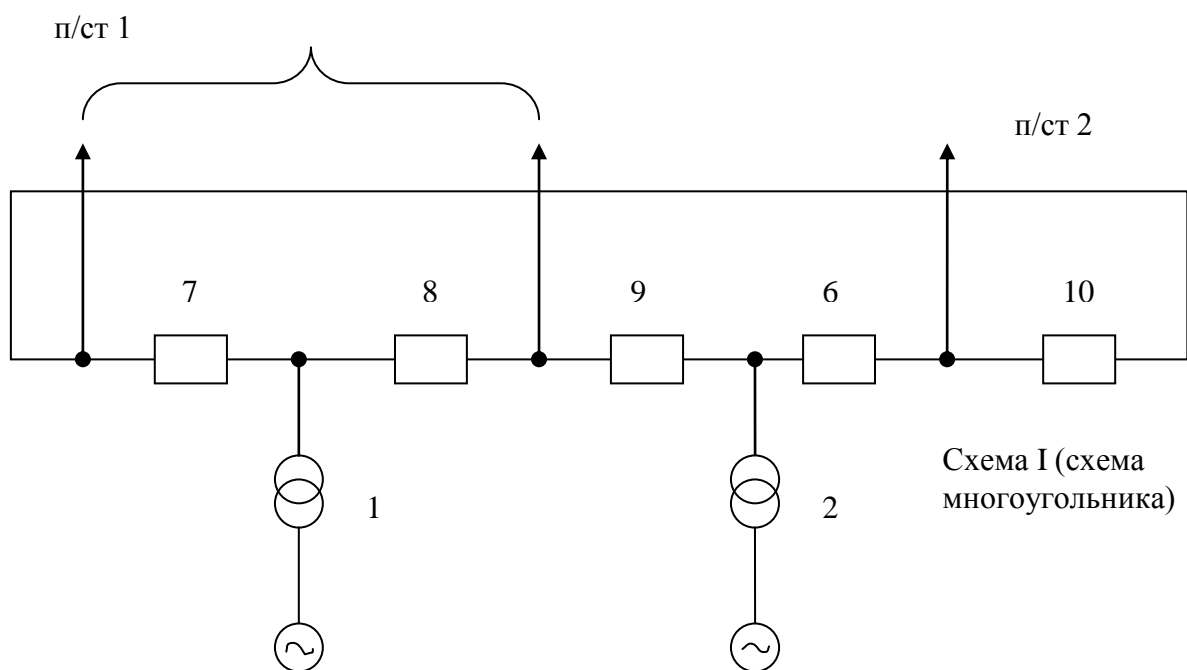
Расчет показателей надежности распределительного устройства

Цель:

составить таблицу расчетных связей событий, режимов и аварий для заданной схемы РУ без учета отказов устройств РЗА; рассчитать показатели надежности схемы РУ для наиболее тяжелых видов аварий.

Исходные данные

1. Схема главных электрических соединений РУ.



2. Показатели надежности элементов схем (для двух схем).

а) основные показатели надежности выключателя

Варианты	$\omega_1, 1/\text{год}$	$\omega_2, 1/\text{год}$	$T_g, \text{ч}$	$\mu, 1/\text{год}$	$T_n, \text{ч}$
1	0,04	0,01	250	0,3	500
2	0,03	0,01	200	0,3	350
3	0,025	0,01	150	0,3	250
4	0,02	0,012	100	0,3	180

б) основные показатели надежности генераторов и ЛЭП

Показатель надежности Элемент	$\omega_1, 1/\text{год}$	$T_g, \text{ч}$	$\mu, 1/\text{год}$	$T_n, \text{ч}$
----------------------------------	--------------------------	-----------------	---------------------	-----------------

Блок	0,25	600	1	500
ЛЭП	0,5	18	8	80

в) $t_p = 3$ года (расчетный период существования данной схемы РУ)

Таблица вариантов

Вариант	Номер варианта по выключателям	Длина ЛЭП в (км)	Схема (номер)
1	1	120	1
2	2	120	1
3	3	120	1
4	4	120	1
5	1	290	1
6	2	290	1
7	3	290	1
8	4	290	1
9	1	180	2
10	2	180	2
11	3	180	2
12	4	180	2
13	1	410	2
14	2	410	2
15	3	410	2
16	4	410	2
17	1	320	1

3. Расчетные виды аварий для схем РУ:

Для схемы 1

- A=1 – потеря блока.
- A=2 – потеря одной ЛЭП (п/ст 1).
- A=3 – потеря ЛЭП на п/ст 2.
- A=4 – потеря блока и линии на п/ст 2.
- A=5 – потеря блока и линии на п/ст 1.
- A=6 – потеря одной ЛЭП п/ст 1 и ЛЭП п/ст 2.
- A=7 – потеря одной ЛЭП п/ст 1 и ЛЭП п/ст 2 и блока.
- A=8 – потеря одного блока (при ремонте второго).
- A=9 – потеря транзита на п/ст 1.
- A=10 – погашение всей схемы.

Для схемы 2.

- A=1 – потеря ЛЭП на п/ст (Л1, Л2).
- A=2 – потеря ЛЭП на п/ст 2 (Л3).
- A=3 – потеря транзита с п/ст 1 (Л1+Л2).
- A=4 – потеря одной ЛЭП п/ст 1 и источника (Л1+Г или Л2+Г).
- A=6 – потеря ЛЭП п/ст 2 и источника (Л3+Г).
- A=7 – потеря одного источника (Г1, Г2, Г3).
- A=8 – потеря двух источников.

Указания к выполнению

Основной информацией для расчета надежности схемы РУ является матрица расчетных связей событий (i), аварий (A_i) и режимов (j).

Вид этой матрицы следующий:

i \ j	0	1	2	...	m
1	A _i	-	A _i	...	A _i
2	A _i	A _i	-	...	A _i
...
n	A _i	A _i	A _i	...	-

Под событием i понимается отказ элемента РУ. Под режимом j понимается состояние элемента РУ, то есть находится он в ремонте или в нормальном режиме.

Под аварией понимается последствие наложения отказа i-го элемента РУ на ремонт (нормальный режим) j-го элемента РУ.

Коэффициент ремонтного режима определяется как

$$K_j = \frac{\omega_i * T_{ei} + \mu_i * T_{ni}}{8760},$$

а коэффициент нормального режима - $K_0 = 1 - \sum_{j=1}^m K_j$.

После заполнения матрицы расчетных связей определяется математическое ожидание числа аварий вида A_i без учета отказа устройств релейной защиты и автоматики:

$$M(N_{A_i}) = t_p * \sum_{j=0}^m \sum_{i=1}^n K_j * \omega_{ij} * X_{ij}^{A_i},$$

где $X_{ij}^{A_i} = 1$, если в матрице на пересечение i-й строки и j-го столбца находится номер расчетной аварии A_i;

$X_{ij}^{A_i} = 0$ - в остальных случаях.

Затем определяется среднее время восстановления схемы РУ после аварии вида A_i (без учета отказов устройств РЗА)

$$T_B^{A_i} = \frac{t_p}{M(N_{A_i})} * (M(N_{A_i}) T_{Bij}),$$

где T_{Bij} - время восстановления нормальной работы РУ при повреждении i -го элемента и ремонте j -го элемента.

Задание 2

Определение математического ожидания недоотпуска электроэнергии в системе

Цель:

Определить математическое ожидание недоотпуска электроэнергии в системе методом “перебора коэффициентов”, подсчитать математическое ожидание ущерба от недоотпуска.

Исходные данные

1. Единичная мощность агрегатов в системе 100 МВт.
2. Расчетная ступень мощности $P_0 = 50 \text{ МВт}$.
3. Количество агрегатов в системе n и коэффициент вынужденного простоя K_B :

№ Варианта	n	кВ	№ Варианта	n	кВ
1	5	0,04	11	7	0,035
2	6	0,04	12	8	0,035
3	7	0,04	13	5	0,045
4	8	0,04	14	6	0,045
5	5	0,05	15	7	0,045
6	6	0,05	16	8	0,045
7	7	0,05	17	5	0,055
8	8	0,05	18	6	0,055
9	5	0,035	19		
10	6	0,035	20		

4. Суточный график нагрузки:

а) для вариантов 1,5,9,13 (для $n=5$)

Нагрузка, МВт	150	200	250	350	400	450
Продолжит.,	8	5	3	3	2	3

$t_{\text{ср}}, P_0, \text{ ч}$									
---------------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

б) для $n=6$

Нагрузка, МВт	150	250	350	400	450	500	550	600
Продолжит., $t_{\text{ср}}, P_0, \text{ ч}$	5	7	4	1	2	2	2	1

в) для $n=7$

Нагрузка, МВт	200	250	350	450	500	550	600	650
Продолжит., $t_{\text{ср}}, P_0, \text{ ч}$	6	2	5	2	3	1	2	3

г) для $n=8$

Нагрузка, МВт	200	300	400	450	500	550	650	700	750
Продолжит., $t_{\text{ср}}, P_0, \text{ ч}$	3	2	2	5	4	3	1	2	2

5. Величина удельного ущерба по системе:

а) $Y_0 = 1,0 \text{ руб/кВт*ч}$ для $n=5$ и 6 ;

б) $Y_0 = 1,3 \text{ руб/кВт*ч}$ для $n=7$ и 8 .

Указания к выполнению

Принимается величина расчетной ступени мощности P_0 , равной единичной мощности агрегатов в системе, или в целое число раз меньше ее. Определим коэффициент готовности m элементов из n для рассматриваемых ступеней мощности

$$K_z^{m=i^*P_0} = C_n^m * K_z^m * K_B^{n-m},$$

$$\text{где } C_n^m = \frac{n!}{m! * (n-m)!}.$$

Суточный график нагрузки перестроим таким образом, чтобы все его ступени были равны выбранной величине P_0 .

Величину коэффициента K_n (коэффициент, характеризующий продолжительность нагрузки) определим как

$$K_n^{j^*P_0} = \frac{t_{\text{ср}}^{j^*P_0}}{24},$$

где $t_{\text{ср}}^{j^*P_0}$ - длительность существования нагрузки, равной величине j^*P_0 в часах.

Дефицит мощности в системе может возникнуть только в случае, если мощность нагрузки системы будет превышать генерирующую мощность, то есть

$$D = j * P_0 - i * P_0 = K * P_0,$$

где K – коэффициент дефицита мощности.

Тогда вероятность появления в энергосистеме дефицита мощности, равного $K * P_0$, определится как произведение коэффициентов готовности генерирующих источников $K_g^{m=i*P_0}$ и коэффициентов состояния нагрузок $K_n^{j*P_0}$:

$$K_g^{K*P_0} = \sum_l K_g^{i*P_0} * K_n^{j*P_0} \quad \text{при } K = i - j,$$

где l – число вариантов генерации и потребления энергии, в которых выполняется условие, что $K = i - j$.

Математическое ожидание величины недоотпуска электроэнергии за год вследствие дефицита мощности выразится как

$$\Delta \mathcal{E}_g = 8760 * P_0 \sum_K k K_g^{k*P_0}.$$

Математическое ожидание ущерба от недоотпуска электроэнергии определится следующим образом:

$$M \mathcal{E} = y_0 * \Delta \mathcal{E}_g,$$

где y_0 - удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии.

Задание 3

Расчет математического ожидания ущерба потребителей методом статистических испытаний

Цель:

Определить математическое ожидание ущерба потребителей методом статистических испытаний.

Исходные данные

1. Функция распределения отказов $F \mathcal{E}_{н-}$ по часам суток.

$\mathcal{T}_{н-}, \text{ ч}$	0	4	8	12	16	20	24
$F \mathcal{E}_{н-}$	0	0,17	0,36	0,58	0,7	0,86	1,0

2. Зависимость величины удельных ущербов от недоотпуска мощности.

$y_{оа,об}; \text{ руб.кВт}$	0	4	4
$T_{\phi}, \text{ ч}$	0	17	24

3. Суточный график нагрузки потребителей (одинаковый для всего года).

$T, \text{ ч}$	0-4	5-6	7-8	9-12	13-15	16-20	21-24
$P_n, \text{ МВт}$	100	120	170	190	90	150	70

4. Время восстановления τ_B .

5. Мощность потребителя $B P_B$.

6. Параметр потока отказов ЛЭП ω .

7. Удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителя А и Б

$$\left(y_{OA}, y_{OB} \right).$$

8. Ряд псевдослучайных чисел для определения времени начала перерыва электроснабжения – R/

Исходные данные с 4 по 8 приведены в таблице.

Указания к выполнению

Имея ряд псевдослучайных чисел R, моделирующих функции распределения отказов по часам суток, можно определить, пользуясь

зависимостью $F(\tau_n) = f(\tau_n)$, момент наступления аварии τ_n , имея в виду, что $F(\tau_n) = R$.

№ варианта	$T_B, \text{ ч}$	$P_B, \text{ МВт}$	$\omega, \text{ 1/год}$	$y_{OA}, \text{ руб/кВт*ч}$	$y_{OB}, \text{ руб/кВт*ч}$	$R \approx F(\tau_n)$
1	12	70	0,3	0,5	0,35	0,1;0,3;0,5;0,7;0,9
2	9	65	0,35	0,45	0,25	0,2;0,4;0,6;0,8;1,0
3	7	50	0,4	0,3	0,2	0,1;0,2;0,4;0,6;0,9
4	14	45	0,25	0,4	0,65	0,15;0,25;0,3;0,55;0,9
5	10	30	0,2	0,55	0,6	0,25;0,3;0,4;0,5;0,85
6	6	35	0,45	0,6	0,55	0,2;0,4;0,45;0,5;0,8
7	8	40	0,5	0,65	0,4	0,25;0,4;0,6;0,7;0,95
8	13	40	0,55	0,2	0,3	0,1;0,25;0,3;0,55;0,8
9	9	35	0,6	0,25	0,45	0,15;0,3;0,55;0,75;0,9
10	10	30	0,15	0,35	0,5	0,1;0,25;0,35;0,65;0,8
11	11	45	0,15	0,5	0,35	0,1;0,3;0,5;0,7;0,9
12	8	50	0,6	0,45	0,25	0,2;0,4;0,6;0,8;1,0
13	6	65	0,55	0,3	0,2	0,1;0,2;0,4;0,6;0,9
14	12	35	0,5	0,4	0,65	0,15;0,25;0,3;0,55;0,9
15	10	70	0,45	0,55	0,6	0,25;0,3;0,4;0,5;0,85
16	9	25	0,2	0,6	0,55	0,2;0,4;0,45;0,5;0,8
17	8	40	0,25	0,65	0,4	0,25;0,4;0,6;0,7;0,95
18	7	55	0,4	0,2	0,3	0,1;0,25;0,3;0,55;0,8

19	16	60	0,3	0,25	0,5	0,15;0,3;0,55;0,75;0,9
20	10	55	0,35	0,35	0,45	0,1;0,25;0,35;0,65;0,8

Затем, используя суточный график потребителей А и Б и зная время восстановления схемы электроснабжения после аварии, определим дефициты мощности и энергии потребителей А и Б $\Delta P_A, \Delta P_B, \Delta \mathcal{E}_A$ и $\Delta \mathcal{E}_B$.

Далее рассчитывается величина суммарного ущерба в первом опыте

$$Y = \Delta P_A * y_{OA} * \left(\int_{\phi} \right) + \Delta P_B * y_{OB} * \left(\int_{\phi} \right) + \Delta \mathcal{E}_A * y_{OA} + \mathcal{E}_B * y_{OB}$$

Расчеты повторяются $N_{раз}$, после чего рассчитывается математическое ожидание суммарного ущерба потребителей

$$M \left(\int_{\phi} \right) = \frac{\omega}{N} \sum_{i=1}^N y_i,$$

где ω - параметр потока отказов элементов электроснабжения потребителей.

Задание 4

Определение показателей надежности энергосистемы с учетом ее оперативного и ремонтного резервов

Цель:

С помощью графо-аналитического метода определить по требуемому объему ремонтных работ в энергосистеме $R_P^{треб}$ ремонтируемые мощности P_{pj} в каждом из заданных интервалов времени $\Delta T_{п}$.

Исходные данные

1. Рассматриваемый период времени $T=24$ часа.
2. Интервал времени $\Delta T_{п} = 4$ часа.
3. Располагаемая мощность системы N_P и требуемый объем ремонтных работ $R_P^{треб}$.

№ варианта	N_P , МВт	$R_P^{треб}$, МВт	№ варианта	N_P , МВт	$R_P^{треб}$, МВт
1	350	100	11	600	170
2	370	100	12	620	170
3	400	120	13	650	180
4	420	120	14	670	180
5	450	140	15	700	180
6	470	140	16	720	190
7	500	150	17	750	200
8	520	150	18	770	200
9	550	170	19	800	250
10	570	170	20	820	250

4. График нагрузки системы.

Варианты 1,2,3,4	ΔT_{nj}	1	2	3	4	5	6
Варианты 5,6,7,8	N_{Hj} , МВт	75	100	150	200	250	300
	N_{Hj} , МВт	100	150	200	250	300	400
Варианты 9,10,11,12	N_{Hj} , МВт	150	250	350	400	450	500
Варианты 13,14,15,16	N_{Hj} , МВт	200	250	350	450	550	600
Варианты 17,18,19,20	N_{Hj} , МВт	200	300	450	550	600	700

Указания к выполнению

В качестве показателя надежности энергосистемы используется степень удовлетворения электроэнергией в период ΔT_{nj} потребителей энергосистемы π_j .

Упрощенно его можно определить как

$$\pi_j = \frac{R_{oj}}{N_{Hj}},$$

где R_{oj} - оперативный резерв мощности системы в j-й интервал времени;

N_{Hj} - нагрузка энергосистемы в j-й интервал времени.

Из балансового уравнения можно определить R_{oj} как

$$R_{oj} = N_{Pj} - N_{Hj} - R_{Pj},$$

где N_{Pj} - располагаемая мощность системы в j-й интервал времени;

R_{Pj} - ремонтный резерв мощности в системе в j-й интервал времени.

Тогда задаваясь различной величиной R_P для каждого рассматриваемого интервала времени ΔT_{nj} , можно построить зависимости $\pi_j = f(R_{Pj})$. Имея частные зависимости $\pi_j = f(R_{Pj})$, строится обобщенная (суммарная) характеристика энергосистемы путем сложения абсцисс и ординат частных зависимостей. Отложив на обобщенной характеристике требуемый объем работ $R_P^{треб}$, определим значения показателя надежности системы π , а далее по частным зависимостям найдем мощности R_P , ремонтируемые в каждый j-й интервал.

Требования к выполнению задания

В задании необходимо привести частные и обобщенные зависимости $\pi_j = f(P_{pj})$, а также указать в таблице ремонтируемые в каждый интервал мощности P_{pj} .

Задание 5

Выбор аварийного резерва мощности в ЭЭС

Цель:

Определить оптимальную величину аварийного резерва мощности в энергосистеме.

Исходные данные

1. Единичная мощность агрегата в ЭЭС N_a равна 100МВт.
2. Количество агрегатов в системе (n), тип суточного графика нагрузки и коэффициент вынужденного простоя агрегата K_b

№ варианта	n	Тип сут. граф.нагрузки	K_b	№ варианта	n	Тип сут. граф.нагрузки	K_b
1	40	1	0,04	11	60	3	0,045
2	50	2	0,03	12	70	4	0,05
3	60	3	0,05	13	40	1	0,06
4	70	4	0,035	14	50	2	0,04
5	40	1	0,05	15	60	3	0,055
6	50	2	0,04	16	70	4	0,04
7	60	3	0,04	17	40	1	0,03
8	70	4	0,04	18	50	2	0,06
9	40	1	0,035	19	60	3	0,06
10	50	2	0,05	20	70	4	0,06

3. Суточные графики нагрузки

Тип 1

Нагрузка, МВт	1500	2000	2500	3000	3500	4000
Продолжительность, час	8	5	3	3	2	3

Тип 2

Нагрузка, МВт	1500	2000	2500	3000	4000	4500	5000
Продолжительность, час	5	7	4	2	2	3	1

Тип 3

Нагрузка, МВт	2000	2500	3000	3500	4500	5000	6000
Продолжительность, час	6	3	5	2	3	2	3

Тип 4

Нагрузка, МВт	2500	3000	4000	4500	5000	6000	7000
Продолжительность, час	6	5	4	3	2	2	2

4. Величина удельного ущерба от недоотпуска электрической энергии в целом по системе составляет 6 руб./ КВтч.
5. Стоимость одного резервного агрегата в ЭЭС равна 150 млн. руб.
6. Заданный срок окупаемости равен 8 лет.

Указания к выполнению

Определим вероятность простоя агрегатов из ппо формуле:

$$P_n^m = \frac{a^m e^{-a}}{m!},$$

где a - математическое ожидание числа агрегатов, находящихся в аварийном простое.

Составим ряд вероятностей вида

$$P_n^0, P_n^1, P_n^2, \dots, P_n^m.$$

Если резерв в ЭЭС отсутствует, то можем рассчитать дефицит мощности как

$$D_0 = aN_a = nK_B N_a.$$

При наличии в ЭЭС одного резервного агрегата средняя величина дефицита мощности будет составлять

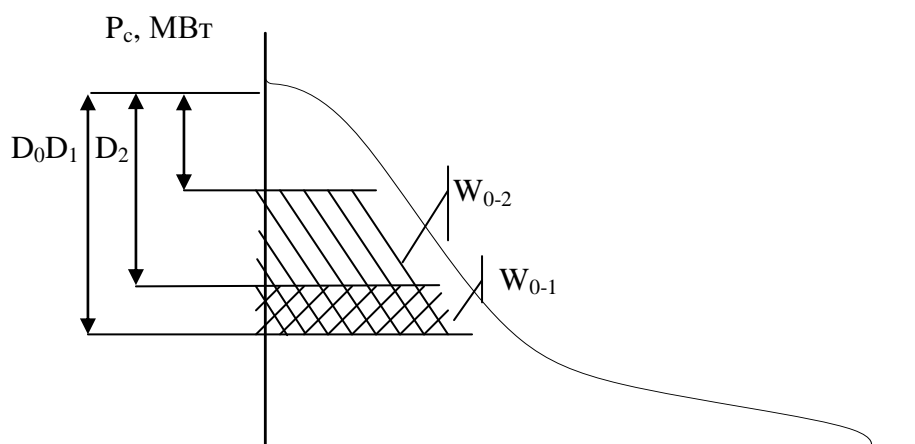
$$D_1 = N_a \sum_{m=2}^n (m-1) P_n^m,$$

а при r резервных агрегатов

$$D_r = N_a \sum_{m=r-1}^n (m-r) P_n^m.$$

Для расчета величины недопуска электроэнергии за год необходимо перестроить суточные графики нагрузки в график нагрузки по продолжительности и по нему определить изменение величины недопуска энергии при переходе от варианта с r резервными агрегатами к варианту с $(r+1)$ резервными агрегатами.

Далее рассчитывается изменение ущерба при переходе в общем случае от варианта с r резервными агрегатами к варианту с $(r+1)$ резервными агрегатами (см.рисунок).



8760 год

Рис. Изменение ущерба от числа резервных агрегатов

$$M(Y_{0-1}) = y_0 W_{0-1}, \quad M(Y_{1-2}) = y_0 W_{1-2}, \quad \dots, \quad M(Y_{r, r+1}) = y_0 W_{r, r+1}.$$

Рассчитав ряд сроков окупаемости и сравнив его с нормативным, можно выбрать вариант с оптимальным количеством резервных агрегатов в ЭЭС

$$T_{r, r+1} = (K_{уд.} N_a) / M(Y_{r, r+1}),$$

где $K_{уд.}$ – удельные капиталовложения в 1 Мвт резервной мощности; N_a – мощность резервного агрегата; $\Delta M(Y)$ – изменение математического ожидания ущерба от недоотпуска энергии, определяемого как это показано на рисунке.

Оптимальным следует считать тот вариант установки резервных агрегатов, который удовлетворяет следующему условию.

Если $T_{r, r+1} < T_n$, а $T_{r+1, r+2} > T_n$, то оптимальным следует признать вариант с установкой числа резервных агрегатов, равных $(r+1)$.

5. Примерная тематика рефератов

Темы рефератов для самостоятельной работы обучающихся и аттестации их текущих знаний. Максимальная оценка реферата - 10 баллов.

1. Надёжность вакуумных выключателей и способы её повышения.
2. Надёжность сухих трансформаторов и способы её повышения.
3. Теория массового обслуживания и её применение для повышения уровня надёжности в СЭ.
4. Нейронные сети как инструмент прогнозирования уровня надёжности систем электроснабжения.
5. Методы прогнозирования уровня надёжности сельских электрических распределительных сетей.
6. Надёжность систем электроснабжения в США, Европе и Китае.
7. Диагностика трансформаторов и изоляции КТП. Современные средства диагностики оборудования систем электроснабжения.
8. Виды ремонтов, планирование ремонтов в электрических сетях напряжением 0,4; 10; 35; 110 кВ.
9. Математические методы для оценки уровня надёжности электроснабжения.
10. Булева алгебра и её подходы для решения задач надёжности электроснабжения.
11. Законы распределения плотности вероятности и их применение в теории надёжности.
12. Сравнение кабельных и воздушных линий электропередачи.
13. Надёжность релейной защиты и автоматики.
14. Надёжность элементов распределённой генерации.
15. Экономическая оценка ущербов от ненадёжного электроснабжения.

Темы эссе для самостоятельной работы обучающихся и аттестации их текущих знаний. Максимальная оценка эссе - 15 баллов.

1. Парадокс надёжности: чем больше защитных элементов в системе, тем она более надёжная и, в то же время, более уязвимая.
2. Более высокая надёжность оборудования зачастую невыгодна его продавцам, так как спрос на это оборудование снижается. Как решать эту проблему?
3. Внедрение источников распределённой генерации в СЭ: за и против, с точки зрения надёжности электроснабжения и затрат.
4. Влияние квалификации персонала на надёжность системы электроснабжения. Мотивация работников электросетевых компаний.
5. Технология Smartgrid и её внедрение в энергетическую систему России.

6. Литература по дисциплине

6.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины:

6.1.1. Основная литература:

1. Лещинская, Тамара Борисовна. Электроснабжение сельского хозяйства : учеб. для вузов : допущено Учеб.-метод. об-нием / Т. Б. Лещинская, И. В. Наумов, 2008. - 655 с.
2. Фролов Ю. М. Основы электроснабжения [Электронный учебник] / Ю. М. Фролов, 2012. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4544
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4545
3. Щербаков Е. Ф. Электроснабжение и электропотребление в строительстве [Электронный учебник] / Щербаков Е. Ф., Александров Д.С., Дубов А. Л., 2012. - Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=4234
http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=9469

6.1.2. Дополнительная литература:

1. Гриднева Т. С. Электроснабжение / Т.С. Гриднева.— Самара : РИЦ СГСХА, 2013. - Электрон.текстовые дан. // Руконт : электронно-библиотечная система. – Режим доступа:<http://rucont.ru/efd/224277?cldren=0>.
2. Наумов, И.В. Проектирование систем электроснабжения : учеб.пособие для вузов по спец. "Электрификация и автоматизация сел. хоз-ва" : рек. Учеб.-метод. об-нием / И. В. Наумов, Т. Б. Лещинская, С. И. Бондаренко, 2012. - 353 с.
3. Острейковский, В.А. Теория надежности: учеб.для вузов : рек. УМО / В. А. Острейковский. - 2-е изд., испр. - М. :Высш. шк., 2008.
4. Полуянович, Н. К. Монтаж, наладка, эксплуатация и ремонт систем электроснабжения промышленных предприятий [Электронный ресурс] / Н. К. Полуянович. - Москва : Лань, 2012. - 400 с. - Электрон.текстовые дан. // Лань : электронно-библиотечная система. – Режим доступа: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=2767.

6.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины:

Дается перечень, адреса и краткое содержание сайтов сети Интернет, необходимых для освоения конкретной дисциплины

1. СайтElenergy.ru. Адрес доступа: <http://elenergi.ru/pokazateli-nadezhnosti-elektrosnabzheniya.html>. На сайте представлены различные рубрики (электротехника, электроснабжение, АТП и др.), которые могут быть полезны магистрантам и аспирантам, занимающимся вопросами электроэнергетики в целом и надёжностью электроснабжения в частности.
2. Портал потребителей энергоресурсов и ЖКХ Energo-konsultant.ru. Адресдоступа: <https://www.energo-konsultant.ru/>. На сайте расположена информация о документах (актах), которые заключают между собой потребители и электроснабжающие компании. Кроме того приведены статьи и исследования в сфере надёжности электроснабжения.
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU. Адрес доступа: <https://elibrary.ru/defaultx.asp>. На сайте представлены электронные версии книг и журналов

по различным направлениям научно-исследовательской деятельности, среди которых присутствует «Надёжность в системах электроснабжения».

6.3. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине:

1. Нестеров, М.Н. Надежность электроснабжения: методические указания к выполнению практических работ для студентов очной и заочной форм обучения специальности 140211 – Электроснабжение/сост.: М.Н. Нестеров, Р.С. Сингатулин, С.В. Килин. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. – 32 с. [Электронный ресурс]. Режим доступа: bstu.ru/shared/attachments/59377.

Помимо рекомендованной основной и дополнительной литературы, а также ресурсов Интернет, в процессе самостоятельной работы обучающиеся могут пользоваться следующими материалами:

1. Надёжность систем энергетики. Сборник рекомендуемых терминов [Текст] / Отв. ред. Н.И. Воропай. – М.: Энергия, 2007. – 194 с.

2. Калявин, В.П. Надёжность и диагностика электроустановок [Текст]: учеб.пособие / В.П. Калявин, Л.М. Рыбаков. - Й-Ола: Маар.гос. ун-т, 2000. – 396 с.

6.4. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине:

В процессе лекционных и практических занятий используется следующее лицензионное программное обеспечение и информационные справочные системы:

– MSWindowsXP, пакет MSExcel 2010, разработанное на кафедре электроснабжения и электротехники программное обеспечение «Прогноз – 2+»

7. Электроснабжение сельского хозяйства