

## **МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

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

Кафедра электроснабжения

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе

\_\_\_\_\_ О.Г.Локтионова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

## **НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ**

Методические указания к практическим занятиям  
для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика  
и электротехника

Курск 2016

УДК 621.31(075.32)

Составители: Д.В. Куделина, О.М. Ларин

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент кафедры «Электроснабжение»  
*В.Н. Алябьев*

**Автоматизация проектирования:** методические указания по выполнению лабораторных работ / Юго-Зап.гос.ун-т; сост.: Д.В. Куделина, О.М. Ларин. Курск, 2016. 23 с.: табл. 23. Библиогр.: с. 23.

Содержат сведения для работы на практических занятиях по дисциплине «Надежность электроснабжения», приведены указания для расчета показателей надежности элементов.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утвержденной учебно-методическим объединением для направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника.

Предназначены для студентов направления подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника всех форм обучения.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.

Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. . Тираж 100 экз. Заказ . Бесплатно.

Юго-Западный государственный университет.

305040, г. Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1 .....	5
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2 .....	9
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3 .....	13
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4.....	17
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4.....	19
ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5 .....	21
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	23

## **ВВЕДЕНИЕ**

Проблема обоснования целесообразного уровня надежности систем электроснабжения на современном этапе развития имеет большое значение. Аварийные и внезапные перерывы электроснабжения потребителей вызывают большой народнохозяйственный ущерб, обусловленный поломкой оборудования, порчей сырья и материалов, затратами на ремонты, недовыпуском продукции, простоями технологического оборудования и рабочей силы, а также издержками связанными с другими факторами.

Сегодня методы анализа надежности используются уже во многих отраслях техники. Однако проблема надежности в ее количественной постановке при проектировании и эксплуатации систем электроснабжения необыкновенно сложна. Так, для рассмотрения вопросов надежности при эксплуатации систем электроснабжения необходимо учесть как современные достижения теории надежности, так и специфику функционирования систем силового типа, подверженных в значительной степени влиянию неблагоприятных воздействий внешней среды и непосредственно связанных с электрической системой.

Целью данной работы является попытка рассмотрения надежности функционирования оборудования подстанции, и связанная с этим надежность бесперебойного обеспечения потребителей электроэнергией.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №1

### РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

*Цель работы:* ознакомление с основными показателями надежности силового трансформатора.

Рассмотрим трансформатор как элемент, условно состоящий из двух последовательно соединенных элементов, в одном из которых могут появляться внезапные отказы, а в другом - постепенные. Внезапные отказы появляются вследствие резкого, внезапного изменения основных параметров под воздействием одного или нескольких случайных факторов внешней среды либо вследствие ошибок обслуживающего персонала. При постепенных отказах наблюдается плавное, постепенное изменение параметра элементов в результате износа отдельных частей или всего элемента в целом.

Вероятность безотказной работы представим произведением вероятностей

$$P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{в}}(t) * P_{\text{и}}(t), \quad (1.1)$$

где  $P_{\text{в}}(t)$  и  $P_{\text{и}}(t)$  — соответственно вероятности безотказной работы условных элементов, соответствующих внезапному и постепенному отказу в следствии износа.

В теории надежности в качестве основного распределения времени безотказной работы при внезапных отказах принимается показательное распределение:

$$P(t) > T = e^{-\lambda t} \quad (1.2)$$

Постепенные отказы трансформатора происходит в основном по причине износа изоляции. Износ можно описать законом распределения Вейбулла-Гнеденко:

$$P(t > T) = e^{-c(t-t_0)} \quad (1.3)$$

где  $t_0$  — порог чувствительности, то есть элемент гарантировано не откажет, в интервале времени от 0 до  $t_0$  может быть равно нулю. Тогда окончательно имеем:

$$P_{\text{тр}}(t) = e^{-\lambda t} \cdot e^{-ct}. \quad (1.4)$$

Причинами внезапных отказов трансформатора являются повреждения вводов трансформатора вследствие перекрытия контактных соединений, утечка масла. Причинами постепенных отказов в свою очередь будут нарушения изоляции обмоток вследствие возникновения внешних и внутренних перенапряжений, сквозных токов коротких замыканий и дефектов изготовления. На основании принятых критериев выделим два статистических ряда для внезапных и постепенных отказов табл. 1.

Таблица 1. Статистический ряд внезапных и постепенных отказов силового трансформатора

Y, ч	Y, ч	Y, ч	X, ч	X, ч	X, ч
61039	57546	53529	43774	45022	45850
59612	55392	51355	41283	42078	42906
54349	60483	56438	44608	45436	46264
39215	40041	40869	38681	32541	49967
60761	56854	52914	64123	57560	53785
58783	55739	50785	36581	37141	37967
Y <sub>ср</sub>		Δt	T		λ
53650		4234	44754		0,0000223

Параметр показательного закона  $\lambda$  находим по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{x_{ср}}$$

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (1.5)$$

где  $x_{ср}$  — среднее значение наработок на отказ.

Среднее время безотказной работы определим по формуле

$$\overline{T}_{1mp} = \frac{1}{\lambda_{1mp}} \quad (1.6)$$

Оценим параметры распределения Вейбулла-Гнеденко. Для этого вычислим среднее значение наработки на отказ

$$y_{ср} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad (1.7)$$

Разобьем выборку  $y$  на интервалы, которые выберем по формуле

$$\Delta t = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{1 + 3,31 \lg m} = (61039 - 39215) / (1 + 3,31 \lg 18) = 4234 \quad (1.8)$$

Подсчитаем, сколько отказов попало в каждый из интервалов.

Таблица 3. Расчетные данные

Интервалы	1	2	3	4	5	6
мин	39215	43448	47682	51915	56149	60383
макс	43448	47682	51915	56149	60383	64616
1	39215		50785	52914	56854	60483
2	40041		51355	53529	59612	61039
3	40869			54349	56438	60761
4				55392	58783	
5				55739	57546	
$Y_{\text{ср}}$	40041		51070	54384	57846	60761
$p_i$	0,166	0	0,111	0,277	0,277	0,166
$D$	□	□	1/□	C	T	□
45761731	6765	0,128	0,31	$5,94 \cdot 10^{-16}$	51796	0,000019

Относительную частоту событий определяем по формуле:

$$p_i = m_i / m. \quad (1.9)$$

Определим среднее значение для каждого интервала

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m_i} \sum_1^m y_i \quad (1.10)$$

Вычислим значение дисперсии  $D$  по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^R (\bar{y}_i - \bar{y}_{\text{ср}})^2 \cdot p_i \quad (1.11)$$

Определим среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D}. \quad (1.12)$$

Вычислим коэффициент вариации по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{y}_{\text{ср}}}. \quad (1.13)$$

По номограмме находим значение параметра формы  $1/\alpha = 0,31$ . По найденным значениям вычислим параметр масштаба распределения Вейбулла-Гнеденко:

$$c = \left( \frac{\overline{y_{cp}}}{\Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})} \right)^{-\alpha} \quad (1.14)$$

$$\Gamma(1,0351)=0,987$$

Среднее время безотказной работы для распределения Вейбулла-Гнеденко определим по формуле:

$$\overline{T}_{2mp} = \frac{\Gamma(1 + 1/\alpha)}{c^{1/\alpha}}; \quad (1.15)$$

$$\lambda_{2tp} = 1/\overline{T}_{2tp} = 0,00002 \quad (1.16)$$

Интенсивность восстановления определим по данным статистического ряда представленным в таблице 4.

Таблица 4. Статистический ряд времени восстановления внезапных и постепенных отказов силового трансформатора

Восстановление			
15,8	18,7	22,4	26,1
21	16,3	20	22
24,2	17,1	20,1	26,5
16,4	19,5	22,9	27,2
T=21,01		□=0,0476	

Интенсивность восстановления определим по формуле:

$$\mu_{mp} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_1^n z_i} \quad (1.17)$$

Вероятность восстановления силовых трансформаторов определим по формуле:

$$P_{вос.тр} = 1 - e^{-\mu_{тр}} = 1 - e^{-0,0476} = 0,04 \quad (1.18)$$



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №2

### РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

*Цель работы:* ознакомление с основными показателями надежности автоматического выключателя.

Рассмотрим масляный выключатель как элемент, состоящий из двух элементов, в одном из которых может появиться внезапный отказ, а в другом постепенный. Вероятность безотказной работы представлена формулой

$$P_{\text{вк}}(t) = P_{\text{в}}(t) * P_{\text{и}}(t) \quad (1.19)$$

где  $P_{\text{в}}(t)$  и  $P_{\text{и}}(t)$  — соответственно вероятности безотказной работы условных элементов соответствующих внезапному и постепенному отказу вследствие износа.

Постепенные отказы выключателя происходят вследствие износа дугогасительных камер и контактов. Причинами внезапного отказа являются: несрабатывание приводов, механические повреждения, перекрытие изоляции при внешних и внутренних перенапряжениях. На основании принятых критериев сформируем два статистических ряда представленных в таблице 5.

Таблица 5. Статистический ряд внезапных и постепенных отказов вводного масляного выключателя

X, ч	X, ч	X, ч	Y, ч	Y, ч	Y, ч
7842	8557	8554	8961	11568	7568
8749	10412	10715	10052	14008	11434
10662	11650	14350	6358	6693	7752
15540	20379	15451	9462	9734	17044
9452	11510	13480	17465	16484	13927
7075	7683	6958	16155	17535	16736
T		□	Y <sub>ср</sub>		□□
11056		0,00009	12163		0,000082

Согласно теории надежности внезапные отказы имеют показательный закон распределения наработки на отказ.

Параметр показательного закона распределения определим по формуле (1.4)

где  $X_{\text{ср}}$  — среднее значение наработок на отказ.

Среднее время безотказной работы определим по формуле (1.5)

Постепенные отказы выключателя имеют следующий закон распределения

$$P_u(t) = \sum_{i=0}^{R-1} \frac{(\lambda_0 t)^i}{i!} e^{-\lambda t} \quad (1.19)$$

где  $\lambda_0$  — это интенсивность срабатывания выключателя, которая определяется по данным статистического ряда

$$\lambda_0 = \frac{1}{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i}; \quad (1.20)$$

$R$  — допустимое число отключений.

Предполагая, что коммутирующий ток распределен по нормальному закону между максимальным и минимальным значением. Определим расход  $p_\rho$ :

$$p_\rho = \frac{I_{\max} I_{\min}}{\sum I} \times \frac{\lg I_{\max} - \lg I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}};$$

$$\sigma_\rho = \sqrt{\frac{I_{\max} I_{\min}}{(\sum I)^2} - p_\rho^2} \quad (1.21)$$

$I_{\max}$  и  $I_{\min}$  — максимальный и минимальный коммутируемый ток;  $\Sigma I$  — произведение номинального тока отключения на гарантированное число отключений.

Допустимое число отключений определим по формуле:

$$R = \left[ \frac{1,3\sigma_\rho}{2p_\rho} + \sqrt{\frac{1,3\sigma_\rho}{2p_\rho} + \frac{1}{p_\rho}} \right]^2 \quad (1.22)$$

Среднее время безотказной работы при постепенных отказах

$$\overline{T_{2\sigma}} = \frac{R}{\lambda_0} \quad (1.23)$$

Интенсивность восстановления определим по данным из таблицы 6 и формуле (1.17).

Таблица 6. Статистический ряд времени восстановления внезапных и постепенных отказов вводного масляного выключателя

Восстановление			
16,6	20,0	22,8	19,8
16	20,5	17	18
18,4	22,0	17,1	18,6
21,3	21,1	17,5	17,5
T=19,01		σ=0,052	

Таблица 7. Результаты расчетов

I <sub>max</sub>	I <sub>min</sub>	n	I <sub>откл</sub>
7,5	5	20	20
σI	p <sub>σ</sub>	σ <sub>p</sub>	k
400	0,0071	0,014	190

Интенсивность восстановления определим по формуле:

$$\mu_{ек} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i}; \quad (1.24)$$

Вероятность восстановления масляного выключателя ВКЭ определяется по формуле

$$P_{вос.вк} = 1 - e^{-\mu} = 1 - e^{-0,052} = 0 \quad (1.25)$$

Результаты расчетов по приведенным выше формулам сведены в табл.5, 6, 7.

Аналогично проведем расчеты для секционного масляного выключателя. Исходные данные и результаты расчетов сведены в табл. 8, 9, 10.

Таблица 8. Статистический ряд внезапных и постепенных отказов секционного масляного выключателя

X, ч	X, ч	X, ч	Y, ч	Y, ч	Y, ч
8341,45	9107,29	9104	9637	12466	8128
11123	11982,9	11837	9137	15871	10675
10180	10475	18424	7520,51	8170,86	7394,87
16607,9	21820,4	16512,2	11483	12556	15490
10066,5	12275,9	14392,1	17455	18960	18088
T		$\square$	$Y_{cp}$		$\square_{\square}$
12817		0,000078	12202		0,000082

Таблица 9. Статистический ряд времени восстановления внезапных и постепенных отказов секционного масляного выключателя

Восстановление			
16,5	19,9	22,6	19,7
17,8	18,7	17,8	20,15
18,3	21,8	17,0	18,5
21,1	20,9	17,4	17,4
T=19,09		$\square=0,0524$	

Таблица 10. Результаты расчетов

$I_{max}$	$I_{min}$	n	$I_{откл}$
5,5	4	20	20
$\square I$	$p_{\square}$	$\square_{\square}$	k
400	0,0051	0,108	235

### ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №3

## РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ ВОЗДУШНОЙ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

*Цель работы:* ознакомление с основными показателями надежности воздушной линии электропередач.

ЛЭП рассмотрим как элемент условно состоящий из двух последовательно соединенных элементов, в одном из которых может появиться внезапный отказ, а в другом постепенный. Вероятность безотказной работы представим как произведение вероятности двух независимых событий соединенных последовательно относительно надежности.

$$P_{\text{ЛЭП}}(t) = P_{\text{в}}(t) * P_{\text{п}}(t).$$

Дальнейший расчет проведем как и для трансформатора. Статистические данные приведенные в таблице 11 приведены к единичной длине 1 км, как для внезапных и постепенных отказов.

Таблица 11. Статистический ряд внезапных и постепенных отказов для ЛЭП

Xч	X, ч	X, ч	Y, ч	Y, ч	Y, ч
17411	20304	17913	30912	32604	34386
18083	41213	18767	31675	33417	35159
17555	36988	35487	34587	33258	31648
20133	17741	21158	33225	34968	32137
18425	20475	19792	31054	32758	34578
19108	20988	21567	31829	33609	36325
T		□	Y <sub>ср</sub>		□t
22395		0,000045	33229		1050

В теории надежности в качестве основного распределения времени безотказной работы при внезапных отказах ЛЭП принимается показательное распределение:

$$P(t)T = e^{-\lambda t}$$

Постепенные отказы ЛЭП происходят в основном по причине износа изоляции. Износ можно описать законом распределения Вейбулла-Гнеденко.

$$P(t > T) = e^{-c(t-t_0)}$$

где  $t_0$  — порог чувствительности, то есть элемент гарантировано не откажет, в интервале времени от 0 до  $t_0$  может быть равно нулю. Тогда окончательно имеем:

$$P_{ЛЭП}(t) = e^{-\lambda t} \cdot e^{-ct}$$

Параметр показательного закона  $\lambda$  находим по формуле:

$$\lambda_{ЛЭП} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} = 0,000045$$

где  $X_{cp}$  — среднее значение наработок на отказ.

Среднее время безотказной работы определим по формуле

$$\overline{T_{ЛЭП}} = \frac{1}{\lambda_{ЛЭП}} = 22395$$

Оценим параметры распределения Вейбулла-Гнеденко. Для этого вычислим среднее значение наработки на отказ

$$y_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i = 33229$$

Разобьем выборку  $y$  на интервалы, которые выберем по формуле

$$\Delta t = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{1 + 3,3 \lg m} = (36325 - 30912) / (1 + 3,31 \cdot \lg 18) = 1050$$

Подсчитаем сколько отказов попало в каждый из полученных интервалов

Таблица 12. Расчетные данные

интервалы	1	2	3	4	5	6
мин	30912	31962	33012	34062	35112	36162
макс	31962	33012	34062	35112	36162	37212
1	30912	32604	33225	34587	35159	36325
2	31675	32137	33417	34968		
3	31054	32758	33258	34578		

4	31829		33609	34386		
5	31648					
$Y_{icp}$	31423	32499	33377	34629	35159	36325
$p_i$	0,277	0,166	0,222	0,222	0,055	0,055
D	□	□	1/□	C	T	□
2627333	1620	0,048	0,36	$2,72 \cdot 10^{-13}$	32925	0,00003

Относительная частота событий определяется по формуле  $p_i = m_i/m$ .

Определим среднее значение для каждого интервала

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^m y_{ij}$$

Вычислим значение дисперсии D по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^R (\bar{y}_i - \bar{y}_{cp})^2 \cdot p_i$$

Определим среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D}$$

Вычислим коэффициент вариации по формуле:

$$v = \frac{\sigma}{\bar{y}_{cp}}$$

По номограмме находим значение параметра формы  $1/\alpha = 0,36$ . По найденным значениям вычислим параметр масштаба C распределения Вейбулла - Гнеденко :

$$c = \left( \frac{\bar{y}_{cp}}{\Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})} \right)^{-\alpha}$$

$$\Gamma(1,36) = 0,8902$$

Среднее время безотказной работы для распределения Вейбулла-Гнеденко определим по формуле

$$\overline{T}_{2ЛЭП} = \frac{\Gamma(1+1/\alpha)}{c^{1/\alpha}};$$

$$\lambda_{2ЛЭП} = 1/T_{2ЛЭП}$$

В таблице 13 представлен статистический ряд восстановления отказов ЛЭП.

Интенсивность восстановления определим по формуле (1.17)

Вероятность восстановления ЛЭП определяется по формуле

$$P_{\text{вос.ЛЭП}} = 1 - e^{-\mu} = 0,0873.$$

Таблица 13. Статистический ряд восстановления внезапных и постепенных отказов ЛЭП

восстановление			
7,1	9,2	11,3	13,4
11,5	12,4	11,5	13,2
10,7	12,7	8,1	10,3
T=10,95		□= 0,0913	

Результаты расчетов по приведенным выше формулам сведены в табл.11, 12, 13.



## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

### РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ РАЗЪЕДИНИТЕЛЕЙ

*Цель работы:* ознакомление с основными показателями надежности разъединителей.

Представим разъединитель как элемент состоящий из одного элемента с внезапным отказом, с показательным законом распределения наработки на отказ (1.1). Статистический ряд представлен в таблице 14, 15 наработок на отказ и времени восстановления.

Параметр показательного закона  $\lambda$  находим по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{x_{cp}}$$
$$\lambda_{раз} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i}$$

где  $x_{cp}$  — среднее значение наработок на отказ.

Среднее время безотказной работы определим по формуле

$$\overline{T}_{раз} = \frac{1}{\lambda_{раз}}$$

Таблица 14. Статистический ряд внезапных отказов разъединителей

X, ч	X, ч	X, ч	X, ч
69555	69354	66860	71350
68640	71250	72020	72220
T=70156		□□□□□□□□□□	

Интенсивность восстановления определим по формуле (1.17)

Вероятность восстановления разъединителей определяется:

$$P_{вос.раз} = 1 - e^{-\mu} = 0,0000142.$$

Таблица 15. Статистический ряд времени восстановления разъединителей

Восстановление			
8,3	6	6,2	7
9	9,6	8,8	7,7
10,1	7,1	8,5	6,1
T=7,86		σ=0,127	

Результаты расчетов по приведенным выше формулам сведены в табл.14,15.

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №4

### РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ ОТДЕЛИТЕЛЕЙ И КОРОТКОЗАМЫКАТЕЛЕЙ

*Цель работы:* ознакомление с основными показателями надежности отделителей и короткозамыкателей.

Для отделителей и короткозамыкателей составим модель аналогичную разъединителям и проведем подобный расчет. Исходные данные и результаты расчета сведем в таблицу 16,17,18,19.

Таблица 16. Статистический ряд внезапных отказов отделителей

X, ч	X, ч	X, ч	X, ч
31377	35695	31623	34179
33215	36587	35682	35522
32653	34130	34558	34679
T=34158		□□□□□□□□□□	

Таблица 17. Статистический ряд времени восстановления отделителей

восстановление			
8,1	5,9	6,1	6,9
8,5	8,7	9,9	7,5
8,9	9,0	10,6	8,8
T= 8,24		□=0,121	

Таблица 18. Статистический ряд внезапных отказов короткозамыкателей

X, ч	X, ч	X, ч	X, ч
32430	36893	32685	35326
34258	36958	35486	37589
33749	35275	35718	35842
T=35184		□□□□□□□□□□	
		□	

Таблица 19. Статистический ряд времени восстановления короткозамыкателей

восстановление			
8,3	6	6,2	7
6,5	8,5	8,8	7,8
9,1	9,2	10,9	9
T=8,1		σ=0,123	

## ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ №5

### РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ МОДЕЛЬ ОТКАЗОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ ДЛЯ ШИН

*Цель работы:* ознакомление с основными показателями надежности для шин.

Рассматриваем два типа шин: питающие шины, идущие от трансформатора к вводному выключателю; секции шины. Так как шины голые то для них применим показательный закон распределения внезапных отказов. Причиной внезапных отказов является воздействие токов короткого замыкания. Расчет произведем аналогично результаты расчетов сведем в таблицу 20, 21, 22, 23

Таблица 20. Статистический ряд внезапных отказов питающих шин

X, ч	X, ч	X, ч	X, ч
760215	856936	768768	867865
785692	897564	855555	966528
794916	905950	964405	814378
T=853231		□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	

Таблица 21. Статистический ряд времени восстановления питающих шин

восстановление			
2,1	2,9	2,3	3,5
5,5	4,7	5,6	4,4
3,0	4,3	3,0	3,7
T=3,75		□=0,267	

Таблица 22. Статистический ряд внезапных отказов секций шин

X, ч	X, ч	X, ч	X, ч
760215	856936	768768	867865
869555	965832	825647	845697
794916	905950	964405	814378
T=853347		□ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □ □	

Таблица 23. Статистический ряд времени восстановления секций шин

восстановление			
2,0	2,7	2,2	3,3
4,5	3,5	4	3
2,8	4,2	2,8	3,5
T=3,2		σ=0,317	

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения. - М.: Энергоатомиздат, 1981.-224с.
2. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с.
3. Р. Хэвиленд. Инженерная надежность и расчет на долговечность. М.: Энергия, 1966. – 232с.