

УДК 621.3.051.025

## ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ НА ПРИМЕРЕ ПОДСТАНЦИИ

Уткин А.В., студент гр. Элб-131 IV курс.

Сакнэ П.Р., студент гр. Элб-131 IV курс

Научный руководитель: Паскарь И.Н. старший преподаватель.

Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева  
г. Кемерово.

Надежность, является одним из важнейших параметров системы электроснабжения. От бесперебойной подачи электроэнергии зависят различные технологические процессы, функционирование самой системы электроснабжения, так и жизни людей.

К примеру: 15 ноября 2016 года в Екатеринбурге в результате обрыва проводов действием защит были обесточены 4 подстанции 110 кВ: «Термическая», «Веер», «Орджоникидзевская», «Литейная». Без электроснабжения оставались: часть бытовых потребителей в Орджоникидзевском районе г. Екатеринбург (около 117 000 человек), 116 социально значимых объектов и предприятия местной промышленности. Мощность отключенных потребителей — 50,1 МВт. Подключения начались в районе 17:00, часть жилых домов были подключены после полуночи.

К счастью никаких технологических процессов прервано не было, и никто не пострадал, однако в результате аварии, СЭС был нанесен ущерб электрооборудованию. Неисправность ОПН на ПС 110 кВ «Свердловская» привела к повторному отключению второй цепи «Среднеуральская ГРЭС – Свердловская» Во время ремонтных работ для возобновления подачи электроэнергии социально значимых объектов использовалось 6 резервных источников систем электроснабжения общей мощностью 730 кВт, возможность восстановления электроснабжения потребителей по распределительным сетям 6-10 кВ отсутствовала. [4]

Выходит, что надежность СЭС не соответствовала требуемыми показателями надежности, так как первоначальная поломка была не слишком серьезной по отношению к масштабам последствий.

Цель данной работы, состоит в том, чтоб обратить внимание на необходимость расчета показателей надежности, на различных этапах проектирования подстанции.

Оборудование подстанции, учитываемое при расчете надежности указано в таблице 1.

Таблица 1

Оборудование подстанции

ЛЭП1	АС185
------	-------

ЛЭП2	АС185
QS1	РНДЗ-1-110У/1000
QS2	РНДЗ-1-110У/1000
QS3	РНДЗ-1-110У/1000
T1	ТДТН- 40000/110/35/10
T2	ТДТН- 40000/110/35/10
T3	ТРДН- 40000/110/10/10
QF1	В-110 Т-1-40
QF2	В-110 Т-2-40
QF3	В-110 Т-3-40
Шины 35, 10 кВ	

### Модель отказов масляного 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.

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 и сведем в таблицу 2. [1]

Вероятность безотказной работы представим произведением вероятностей

$$P_{\text{тр}}(t) = P_{\text{в}}(t) * P_{\text{п}}(t), \quad (1)$$

где  $P_{\text{в}}(t)$  и  $P_{\text{п}}(t)$  — соответственно вероятности безотказной работы условных элементов, соответствующих внезапному и постепенному отказу в следствии износа. [2]

При внезапных отказах принимается показательное распределение:

$$P(t) > T = e^{-\lambda t} \quad (2)$$

Износ можно описать законом распределения Вейбулла-Гнеденко:

$$P(t > T) = e^{-c(t-t)^b} \quad (3)$$

Таблица 2

### 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
57981	53986	60205	38793	39628	40455

56107	52062	58217	36302	36728	37554
54349	60483	56438	44608	45436	46264
52573	58564	55216	41664	42492	43320
60761	56854	52914	39215	40041	40869
58783	55739	50785	36581	37141	37967
$Y_{cp}$		$\Delta t$	$T$		$\lambda$
56209		1827	40974		2,44E-05

Параметр показательного закона, находим по формуле:

$$\lambda = \frac{1}{X_{cp}} = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i} \quad (4)$$

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

Среднее время безотказной работы определим по формуле

$$T = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

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

$$y_{cp} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m y_i \quad (6)$$

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

$$\Delta t = \frac{y_{max} - y_{min}}{1 + 3,31g m} \quad (7)$$

Количество отказов в каждый полученный интервал и остальные параметры отказов сводятся в таблицу 3.

Таблица 3

Сводная таблица параметров отказов

интервалы	1	2	3	4	5	6
мин	50785	52612	54439	56265	58092	59919
макс	52612	54439	56265	58092	59919	61746
1	52573	54349	57981	56107	59612	61039
2	52062	53986	57546	55392	58783	60761
3	51355	53529	56854	55739	58564	60483
4	50785	52914	56438	55261	58217	60205
$Y_{icp}$	51694	53695	57205	55444	58794	60622
$p_i$	0,16	0,16	0,16	0,2	0,16	0,16
$D$	$\sigma$	$v$	$1/\alpha$	$C$	$T$	$\lambda$
8734345	2955	0,052578	0,045	1,63E-106	56209	1,779E-05

Относительную частоту событий определяем по формуле

$$p_i = m_i / m. \quad (8)$$

Определим среднее значение для каждого интервала

$$\bar{y}_i = \frac{1}{m_i} \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij} \quad (9)$$

Вычислим значение дисперсии  $D$  по формуле:

$$D = \sum_{i=1}^R (\bar{y}_i - \bar{y}_{cp})^2 \cdot p_i \quad (10)$$

Определим среднеквадратичное отклонение:

$$\sigma = \sqrt{D} \quad (11)$$

Вычислим коэффициент вариации по формуле:

$$\bar{v} = \frac{\sigma}{\bar{y}_{cp}} \quad (12)$$

По номограмме находим значение параметра формы  $1/\alpha=0,045$ . По найденным значениям вычислим параметр масштаба  $C$  распределения Вейбулла-Гниденко:

$$c = \left( \frac{\bar{y}_{cp}}{\Gamma(1 + \frac{1}{\alpha})} \right)^{-\alpha} \quad (13)$$

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

$$T = \frac{\Gamma(1 + 1/\alpha)}{c^{1/\alpha}} \quad (14)$$

$$\lambda = 1/T \quad (15)$$

Интенсивность восстановления определим по данным статистического ряда времени восстановления внезапных и постепенных отказов.

Таблица 4

Статистический ряд времени восстановления внезапных  
и постепенных отказов силового трансформатора

восстановление			
15,8	18,7	22,4	26,1
18,2	21,7	25,4	20,5
21,2	24,7	17,6	23,6
24,2	17,1	20,1	26,5
16,4	19,5	22,9	27,2
T=21,49		μ=0,0465333	

Интенсивность восстановления определим по формуле:

$$\mu = \frac{1}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i} \quad (16)$$

Вероятность восстановления силовых трансформаторов определим по формуле

$$P_{\text{вос.тр}} = 1 - e^{-\mu} \quad (17)$$

Результаты расчетов по формулам (1.1) - (1.17) представлены в табл.1,2,3.

Аналогично, в виде двух последовательно соединённых элементов, в одном из которых могут быть только внезапные, а в другом только постепен-

ные отказы, рассмотрим масляные выключатели, линии электропередач, разъединители и шины. [2]

Расчет надежности схемы электроснабжения (рис. 1):

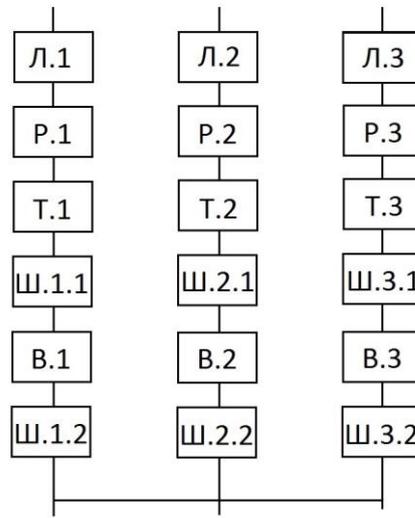


Рис 1. Упрощённая схема электроснабжения на ВН

Интенсивность отказов:

$$\Lambda = 1/T_{Л1} + 1/T_{Л2} + 1/T_{Л3} + 1/T_{Р1} + 1/T_{Р2} + 1/T_{Р3} + 1/T_{Т1} + 1/T_{Т2} + 1/T_{Т3} + 1/T_{Ш1.1} + 1/T_{Ш2.1} + 1/T_{Ш3.1} + 1/T_{В1} + 1/T_{В2} + 1/T_{В3} + 1/T_{Ш1.2} + 1/T_{Ш2.2} + 1/T_{Ш3.2} = 0,000404, \text{ ч}^{-1}. \quad (18)$$

Среднее время безотказной работы:

$$T_{CP} = 1/\Lambda = 2475,25, \text{ ч} \quad (19)$$

Среднее время восстановления

$$\tau_{CP} = \frac{1}{\Lambda} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{1}{T_i \cdot \mu_i} = 15,06 \text{ ч} \quad (20)$$

Интенсивность восстановления можно определить, как величину, обратную среднему времени восстановления:

$$\mu_i = \frac{1}{\tau_{CPi}} = 0,0664 \text{ ч}^{-1} \quad (21)$$

Коэффициент готовности

$$K = \frac{T_{CP}}{T_{CP} + \tau_{CP}} = 0,99395 \quad (22)$$

Учет резервирования.

Вероятность первого состояния:

$$p_1 = \frac{\mu}{(\Lambda + \mu)} = 0,99395 \quad (23)$$

Вероятность второго состояния:

$$p_2 = \frac{\Lambda}{(\Lambda + \mu)} = 0,00605 \quad (24)$$

Коэффициент простоя:

$$K_S = 1 - p_2 = 0,99395 \quad (25)$$

Интенсивность отказа системы:

$$\Lambda_S = \Lambda \cdot K_S = 0,0000024442 \quad (26)$$

Среднее время безотказной работы системы:

$$T_{СРS} = 1/\Lambda_S = 409131,82 \text{ ч} \quad (27)$$

Обычно определение показателей надежности формулируется как задача анализа, то есть нахождение показателей для заданного объекта, но в конечном итоге решается задача выбора решения. Например, пусть главной задачей является, определить надежность системы электроснабжения, которая будет формироваться из уже существующей СЭС путем добавления каких-то элементов. Экспериментальный метод на уже существующей системе не применим из-за большого периода получения необходимой информации. А вот аналитический метод, представленный выше может существенно ускорить выбор необходимого технического решения.

Результаты вычислений показывают, что существующая схема подстанции, сторона 110 кВ, обладает достаточной надежностью. Среднее время безотказной работы системы составляет 409131,82 ч – 46,7 г. Система имеет коэффициент стационарной готовности равный 0,99395. Если бы подсчет производился на стадии проектирования подстанции, полученных данных, хватило бы для подтверждения выбора схемы электроснабжения.

### Список литературы

1. Фокин Ю.А., Туфанов В.А. Оценка надежности систем электроснабжения / Ю.А. Фокин, В.А. Туфанов. - М.: Энергоатомиздат, 1981. -224с.
2. Розанов М.Н. Надежность электроэнергетических систем / М.Н Розанов. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 200с
3. Разгильдеев Г.И. Надежность электромеханических систем и электрооборудования: учебное пособие / Г.И. Разгильдеев – Кемерово: КузГТУ 2001. 176с.
4. Новости | Министерство энергетики [Электронный ресурс], - <http://minenergo.gov.ru/node/6483> - статья в интернете.