

## Практическое занятие 4

### Надежность при проектировании СЭС

#### Задача 4

Структурная схема надежности проектируемой системы электроснабжения предприятия показана на рис 1. Для оценки экономических рисков определить для проектируемой системы: частоту аварийных ремонтов и среднее время аварийных ремонтов; коэффициенты аварийных и плановых ремонтов и их СКО. График работы предприятия непрерывный (для схем 1-10), двухсменный с 5-ти дневной рабочей неделей (для схем 11-20), односменный с 6-ти дневной рабочей неделей (для схем 21-30).

Необходимые данные для расчета взять из табл. 10 и табл. 11.

Частоты отказов и среднее время восстановления элементов

Таблица 10

| Вариант | $w_1$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{в1}$ ,<br>ч | $w_2$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{в2}$ ,<br>ч | $w_3$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{в3}$ ,<br>ч | $w_4$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{в4}$ ,<br>ч | $w_5$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{в5}$ ,<br>ч |
|---------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|-----------------|
| 1       | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              |
| 2       | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               |
| 3       | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              |
| 4       | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               |
| 5       | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              |
| 6       | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              |
| 7       | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               |
| 8       | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              |
| 9       | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              | 0,05                         | 2               |
| 0       | 0,05                         | 2               | 0,2                          | 70              | 2                            | 4               | 0,9                          | 40              | 1                            | 10              |

Частоты плановых ремонтов и среднее время ремонтов элементов

Таблица 11

| Вариант | $\mu_1$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{р1}$ ,<br>ч | $\mu_2$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{р2}$ ,<br>ч | $\mu_3$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{р3}$ ,<br>ч | $\mu_4$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{р4}$ ,<br>ч | $\mu_5$ ,<br>год <sup>-1</sup> | $T_{р5}$ ,<br>ч |
|---------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|
| 1       | 0,2                            | 40              | 0,5                            | 80              | 0,9                            | 5               | 2                              | 40              | 0,9                            | 40              |
| 2       | 0,9                            | 40              | 0,2                            | 40              | 0,5                            | 80              | 0,9                            | 5               | 2                              | 40              |
| 3       | 2                              | 40              | 0,9                            | 40              | 0,2                            | 40              | 0,5                            | 80              | 0,9                            | 5               |
| 4       | 0,9                            | 5               | 2                              | 40              | 0,9                            | 40              | 0,2                            | 40              | 0,5                            | 80              |
| 5       | 0,5                            | 80              | 0,9                            | 5               | 2                              | 40              | 0,9                            | 40              | 0,2                            | 40              |
| 6       | 0,2                            | 40              | 2                              | 80              | 0,1                            | 5               | 2                              | 40              | 0,1                            | 15              |
| 7       | 0,1                            | 15              | 0,2                            | 40              | 2                              | 80              | 0,1                            | 5               | 2                              | 40              |
| 8       | 2                              | 40              | 0,1                            | 15              | 0,2                            | 40              | 2                              | 80              | 0,1                            | 5               |
| 9       | 0,1                            | 5               | 2                              | 40              | 0,1                            | 15              | 0,2                            | 40              | 2                              | 80              |
| 0       | 2                              | 80              | 0,1                            | 5               | 2                              | 40              | 0,1                            | 15              | 0,2                            | 40              |

#### Пример к задаче 4

Решить задачу 3 для схемы, показанной на рис. 12. Численные данные:  $\omega_1 = 0,5 \text{ год}^{-1}$ ,  $\omega_2 = 1 \text{ год}^{-1}$ ,  $\omega_3 = 0,2 \text{ год}^{-1}$ ,  $T_{в1} = 10 \text{ ч}$ ,  $T_{в2} = 20 \text{ ч}$ ,  $T_{в3} = 5 \text{ ч}$ ,  $\mu_1 = 1 \text{ год}^{-1}$ ,  $\mu_2 = 0,5 \text{ год}^{-1}$ ,  $\mu_3 = 0,5 \text{ год}^{-1}$ ,  $T_{р1} = 15 \text{ ч}$ ,  $T_{р2} = 40 \text{ ч}$ ,  $T_{р3} = 20 \text{ ч}$ . График работы предприятия – непрерывный.

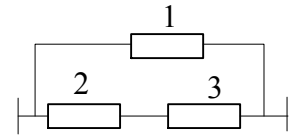


Рис. 12

#### Решение

##### 1. Данные об элементах системы

При непрерывном графике работы предприятия оценку надежности системы необходимо проводить в рабочем режиме и при плановых ремонтах.

Для оценки надежности элементов системы в рабочем режиме необходимо из таблиц взять частоту отказов и среднее время восстановления. По этим данным вычисляют коэффициент вынужденного простоя:

$$K_{в1} = \frac{\omega_1 T_{в1}}{8760} = 5,7 \cdot 10^{-4}, \quad K_{в2} = \frac{\omega_2 T_{в2}}{8760} = 2,3 \cdot 10^{-3}, \quad K_{в3} = \frac{\omega_3 T_{в3}}{8760} = 1,1 \cdot 10^{-4}.$$

Для оценки надежности элементов системы при плановых ремонтах необходимо из таблиц взять частоту ремонтов и их среднее время. По этим данным

вычисляют коэффициент планового простоя:

$$K_{п1} = \frac{\mu_1 T_{п1}}{8760} = 1,7 \cdot 10^{-3}, \quad K_{п2} = \frac{\mu_2 T_{п2}}{8760} = 2,3 \cdot 10^{-3}, \quad K_{п3} = \frac{\mu_3 T_{п3}}{8760} = 1,1 \cdot 10^{-3}.$$

##### 2. Оценка надежности системы в рабочем режиме

На структурной схеме надежности элементы 2 и 3 соединены последовательно. При эквивалентном преобразовании схемы параметры элементов вычисляются по формулам:

$$\omega_{2,3} = \omega_2 + \omega_3 = 1,2 \text{ год}^{-1}, \quad K_{в2,3} = K_{в2} + K_{в3} = 2,4 \cdot 10^{-3}, \quad T_{2,3} = \frac{8760 K_{2,3}}{\omega_{2,3}} = 17,5 \text{ ч}.$$

Надежность ветви 2,3 в основном определяется менее надежным элементом 2.

После преобразования элементы 1 и 2,3 соединены параллельно. При эквивалентном преобразовании схемы параметры элементов вычисляются по формулам:

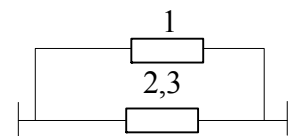


Рис. 13

$$\omega_{(p)} = \omega_{2-3} K_{в1} + \omega_1 K_{в2,3} = 1,9 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}, \quad K_{в} = K_{в2,3} K_{в1} = 1,4 \cdot 10^{-6}, \quad T = \frac{8760 K_{в}}{\omega_{(p)}} = 6,4 \text{ ч}.$$

Коэффициент вынужденного простоя системы много меньше коэффициентов для каждого из элементов. Система оказалась намного надежнее каждого из ее элементов, поскольку элемент 1 и элементы 2,3 дублируют функции друг друга.

##### 3. Оценка надежности системы при плановых ремонтах

Ущерб потребителя при плановых ремонтах может возникать из-за простоя или уменьшения надежности системы.

Ущерб от простоя можно оценить по коэффициенту плановых ремонтов. В рассматриваемом случае все элементы системы дублированы, поэтому их ремонт можно осуществлять без остановки системы. В этом случае коэффициент плановых ремонтов рассчитывать не нужно.

Уменьшение надежности системы при плановых ремонтах связано с возможностью аварии в работающей части системы во время плановых ремонтов. При непрерывном графике работы предприятия все плановые ремонты осуществляются во время работы предприятия.

Ремонт ветви с элементом 1 осуществляется 1 раз в год ( $\mu_1 = 1$  1/год). Продолжительность ремонта 15 часов. Коэффициент плановых ремонтов для ветви 1  $K_{п1} = 1,7 \cdot 10^{-3}$ . Ремонт ветви с элементами 2 и 3 лучше организовать одновременно 1 раз в 2 года ( $1/\mu_2 = 1/0,5 = 2, 1/\mu_3 = 1/0,5 = 2$ ). Продолжительность этого ремонта будет определять ремонт элемента 2 и равняться  $T_{п2,3} = 40$  часов. Коэффициент плановых ремонтов для ветви 2,3

$$K_{п2,3} = \frac{\mu_{2,3} T_{п2,3}}{8760} = \frac{0,5 \cdot 40}{8760} = 2,3 \cdot 10^{-3}.$$

С учетом плана организации ремонтов, изменение частоты отказов системы при ремонте ветви с элементом 1

$$\omega_{(1)} = \omega_{2,3} (1 - \exp(-T_{п1} / T_{2-3})) K_{п1} = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1},$$

при ремонте ветви с элементами 2 и 3

$$\omega_{(2,3)} = \omega_1 (1 - \exp(-T_{п2,3} / T_1)) K_{п2,3} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}.$$

Сравнение частот отказов системы позволяет сделать вывод о существенном влиянии плановых ремонтов на надежность системы.

Коэффициент аварийного простоя при ремонте элемента 1

$$K_{(1)} = K_{\epsilon 2,3} (1 - \exp(-T_{п1} / T_{2-3})) K_{п1} = 1,3 \cdot 10^{-6},$$

при ремонте элемента 2

$$K_{(2,3)} = K_{\epsilon 1} (1 - \exp(-T_{п2,3} / T_1)) K_{п2,3} = 1,3 \cdot 10^{-6}.$$

#### 4. Данные для оценки экономических рисков

Проведенные расчеты позволяют получить математические ожидания величин, требуемых для оценки экономических рисков.

Частота отказов системы  $\omega = \omega_{(p)} + \omega_{(2,3)} + \omega_{(1)} = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ год}^{-1}$ .

Среднее время восстановления  $T = \frac{8760 K}{\omega} = 1,5 \text{ ч.}$

Коэффициент вынужденного простоя  $K = K_{\epsilon} + K_{(2,3)} + K_{(1)} = 5 \cdot 10^{-6}$ .

Этого достаточно, если организация обладает ресурсами, намного превышающими затраты на возмещение возможного ущерба. Если это не выполняется, то необходимы не только математические ожидания, но и среднеквадратичных отклонений указанных величин.

#### 5. Расчет среднеквадратичных отклонений (СКО)

Потоки отказов и восстановлений являются Пуассоновскими и описывают работу элементов в сложных условиях эксплуатации. В этом случае параметр

потока численно равен математическому ожиданию и СКО случайной величины. Поэтому исходные данные о частотах отказов и среднем времени восстановления можно записать в следующем виде:

$$\omega_1 = 0,5 \pm 0,5 \text{ год}^{-1}, \omega_2 = 1 \pm 1 \text{ год}^{-1}, \omega_3 = 0,2 \pm 0,2 \text{ год}^{-1};$$

$$T_{в1}=10 \pm 10 \text{ ч}, T_{в2}=20 \pm 20 \text{ ч}, T_{в3}=5 \pm 5 \text{ ч}.$$

Для конечных результатов (частота отказов, коэффициент простоя и время восстановления) для системы в инженерных расчетах можно считать их СКО равным математическому ожиданию.

Время капитального ремонта и его частота описываются нормальными случайными величинами. Дисперсии этих величин могут быть получены на основании тех же статистических данных, что и математические ожидания, но не приводятся в справочниках. СКО этих величин намного меньше (плановый ремонт более предсказуем), чем СКО времени восстановления и частоты аварийного ремонта. Поэтому будем в расчетах пренебрегать ими.