

УДК 621.3

**ПОКАЗАТЕЛИ НАДЕЖНОСТИ ВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ  
ЭЛЕМЕНТОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ  
RELIABILITY INDICATORS OF RENEWABLE ELEMENTS OF  
ELECTRIC SYSTEMS**

А.А. Пальчастая

Научный руководитель – А.Л. Старжинский, к.т.н., доцент  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

[alexeystminsk@gmail.com](mailto:alexeystminsk@gmail.com)

А. Palchastaya

Supervisor – A. Starzhinsky, Candidate of Technical Sciences, Docent  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

***Аннотация:** В данной работе рассмотрены основные показатели надежности восстанавливаемых элементов электрических систем.*

***Abstract:** In this paper, the main indicators of the reliability of the restored elements of electrical systems are considered.*

***Ключевые слова:** показатели надежности, восстанавливаемый элемент, электрическая система, надежность.*

***Keywords:** reliability indicators, recoverable element, electric system, reliability.*

### **Введение**

Показатели надежности - это количественные характеристики одного или нескольких параметров объекта, характеризующие степень свойственных данному объекту параметров, ее отдельные состояния, которые определяют надёжность.

Зачастую сложные электрические системы с длительными сроками службы являются восстанавливаемыми. Это означает, что отказы элементов систем могут устраняться при ремонте, т.е. отказавший элемент может переходить из неработоспособного состояния в работоспособное.

### **Основная часть**

Для того, чтобы оценить надежность восстанавливаемых элементов, применяются следующие показатели надежности:

1. Вероятность восстановления элемента или вероятность своевременного завершения ремонта  $S(t)$  – это вероятность того, что отказавший элемент может быть восстановлен в течение заданного промежутка времени  $t$ .

Для оценки вероятности восстановления элемента используется формула:

$$S(t) = \frac{N_B}{N_{OB}}, \quad (1)$$

где  $N_{OB}$  – количество отказавших элементов, которые подлежат ремонту;

$N_B$  - количество отказавших элементов, время ремонта которых меньше заданного времени  $t$ .

2. Вероятность несвоевременного завершения ремонта  $G(t)$  – это вероятность того, что отказавший элемент не может быть восстановлен в течение заданного промежутка времени  $t$ .

Для оценки вероятности несвоевременного завершения ремонта используется формула:

$$G(t) = \frac{N_{OB} - N_B}{N_{OB}}. \quad (2)$$

Исходя из выражений (1) и (2) следует, что:

$$S(t) + G(t) = 1. \quad (3)$$

3. Частота восстановления  $a_B(t)$  – это плотность распределения времени восстановления отказавшего элемента:

$$a_B(t) = S'(t) = -G'(t). \quad (4)$$

Формула для оценки частоты восстановления  $a_B(t)$ :

$$a_B(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{OB} \cdot \Delta t}, \quad (5)$$

где  $N_{OB}$  - количество элементов, подлежащих ремонту;

$n_B(\Delta t)$ - количество элементов, восстановленных в течение времени  $(t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2})$ .

4. Интенсивность восстановления  $\mu(t)$  – это условная плотность распределения времени восстановления для момента времени "t" при условии, что до этого момента времени элемент не восстановили:

$$\mu(t) = \frac{a_B(t)}{1 - S(t)} = \frac{a_B(t)}{G(t)}. \quad (6)$$

Формула для оценки интенсивности восстановления  $\mu(t)$ :

$$\mu(t) = \frac{n_B(\Delta t)}{N_{B,CP} \cdot \Delta t}, \quad (7)$$

где  $N_{B,CP}$  - среднее число элементов, которые не восстановили в течение интервала времени  $(0, t)$ .

$n_B(\Delta t)$ - количество восстановленных элементов за интервал времени  $t$ .

5. Среднее время восстановления  $T_B$  - математическое ожидание времени восстановления:

$$T_B = \int_0^{\infty} G(t) dt, \quad (8)$$

$$T_B = \int_0^{\infty} t a_B(t) dt = \int_0^{\infty} [1 - S(t)] dt. \quad (9)$$

Время восстановления определяется по формуле:

$$T_B = \frac{\sum_{i=1}^{N_{OB}} t_{Bi}}{N_{OB}}, \quad (10)$$

где  $t_{Bi}$  - время восстановления i-го элемента;

$N_{OB}$  – число элементов, которые подлежат ремонту.

При  $\mu = \text{const}$ :

$$T_B = \frac{1}{\mu}. \quad (11)$$

Среднее время восстановления состоит из продолжительности планового ремонта  $T_{ПЛ}$  и продолжительности послеаварийного ремонта  $T_{АВ}$ :

$$T_B = T_{ПЛ} + T_{АВ}. \quad (12)$$

Формула оценки времени восстановления имеет вид:

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i, \quad (13)$$

где  $m$  - число отказов;

$t_i$  – время восстановления  $i$ -го отказа.

6. Поток отказов  $\omega(t)$  – среднее количество отказов всех элементов, происшедших за единицу времени  $t$  к числу элементов на испытании, с учетом того, что все элементы, которые отказали, заменяются новыми.

Поток отказов  $\omega(t)$  определяется по формуле:

$$\omega(t) = \frac{\Delta n(t, t + \Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t} = \frac{n_1(\Delta t)}{N_0 \cdot \Delta t}, \quad (14)$$

где  $\Delta n(t, t + \Delta t)$ ,  $n_1(\Delta t)$  – число элементов, которые отказали в интервале времени  $\Delta t$  или  $\left(t - \frac{\Delta t}{2}, t + \frac{\Delta t}{2}\right)$  если учесть, что элементы, которые отказали, заменяются новыми.

$N_0$  – количество элементов в процессе испытания, с учетом замены отказавших элементов.

$$\omega(t) = \lambda(t) = \omega = \lambda = \text{const.} \quad (15)$$

Время наработки на отказ:

$$T' = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{\omega} = \frac{8760}{\omega \text{ год}^{-1}}. \quad (16)$$

Также для расчета надежности элементов применяются комплексные показатели надежности. Разница между этими показателями состоит в том, что комплексные показатели характеризуют восстанавливаемый элемент одновременно с нескольких сторон.

Комплексные показатели включают в себя:

1. Математическое ожидание продолжительности цикла работы элемента:

$$T_{\text{цикла}} = T + T_B, \quad (17)$$

где  $T$  - среднее время наработки до отказа элемента;

$T_B$  - среднее время восстановления элемента.

2. Частота отказов объекта  $f$ :

$$f = \frac{1}{T_{\text{цикла}}}. \quad (18)$$

3. Коэффициент готовности  $K_G$  – вероятность, что объект является работоспособным в любой промежуток времени:

$$K_G = \frac{T}{T_{\text{цикла}}} = \frac{T}{T + T_B} = \frac{\mu}{\mu + \lambda}. \quad (19)$$

Оценка коэффициента готовности производится по следующей формуле:

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^m t_i}{\sum_{i=1}^m t_i + \sum_{i=1}^m t_{vi}}, \quad (20)$$

где  $t_i$  - время безотказной работы  $i$ -го элемента;

$t_{vi}$  - время восстановления  $i$ -го элемента;

$m$  - количество отказов элемента.

4. Коэффициент неготовности  $K_H$  – вероятность того, что объект является неработоспособен в любой промежуток времени.

$$K_H = 1 - K_G = \frac{T_B}{T + T_B} = \frac{T_B}{T_{\text{цикла}}} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}. \quad (21)$$

Статистическая оценка коэффициента неготовности  $K_H$ :

$$K_H = \frac{\sum_{i=1}^m t_{Bi}}{\sum_{i=1}^m t_{Bi} + \sum_{i=1}^m t_{ti}} \quad (22)$$

При этом, нужно учитывать, что:

$$K_G + K_H = 1. \quad (23)$$

5. Коэффициент оперативной готовности  $K_{OG}(t, \tau)$  – вероятность того, что элемент работоспособен в произвольный момент времени  $t$  и сможет проработать без отказа в аварийных условиях в течение времени  $\tau$ .

$$K_{OG}(t, \tau) = K_G(t)P(\tau). \quad (24)$$

6. Коэффициент технического использования  $K_{ТИ}$  – это характеристика продолжительности времени работы:

$$K_{ТИ} = \frac{T_{РАБ} + T_{РЕЗ}}{T_{РАБ} + T_{РЕЗ} + T_{АВ} + T_{ПР}}, \quad (25)$$

где  $T_{РАБ}$  – время, в течение которого элемент находится в работе;

$T_{РЕЗ}$  – время, в течение которого элемент находится в резерве;

$T_{АВ}$  - время, в течение которого элемент находится в аварийном простое;

$T_{ПР}$  - время, в течение которого элемент находится в плановом ремонте.

Приведем примеры расчета оценки надежности:

Задача 1. В объекте электрической системы было обнаружено 6 отказов. Время восстановления каждого из отказов составляло:  $t_1 = 10$  мин,  $t_2 = 14$  мин,  $t_3 = 21$  мин,  $t_4 = 19$  мин,  $t_5 = 28$  мин,  $t_6 = 15$  мин. Необходимо определить среднее время восстановления элемента системы  $T_B$ .

Воспользуемся формулой (13):

$$T_B = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m t_i = \frac{10+14+22+19+28+15}{6} = 18 \text{ мин.}$$

Задача 2. Объект электрической системы имел среднюю наработку на отказ  $T = 45$  ч и среднее время восстановления  $T_B = 1,25$  ч. Необходимо определить коэффициент готовности  $K_G$  и коэффициент неготовности  $K_H$ .

Используем формулы (19) и (21) :

$$K_G = \frac{T}{T+T_B} = \frac{45}{45+1,25} = 0,97.$$

$$K_H = 1 - K_G = 1 - 0,97 = 0,03.$$

Задача 3. Определить коэффициент технического использования объекта ЭС, если известно, что время нахождения элемента в работе составило 8760 часов (один год), в резерве – 40 часов, в аварийном простое – 9 часов и в плановом ремонте – 480 часов (20 суток).

Используем формулу (25):

$$K_{ТИ} = \frac{T_{РАБ} + T_{РЕЗ}}{T_{РАБ} + T_{РЕЗ} + T_{АВ} + T_{ПР}} = \frac{8760+40}{8760+40+9+480} = 0,95.$$

### Заключение

Следовательно, оценка надежности считается непростой задачей в связи с необходимостью учета множества факторов и свойств объектов, которые влияют на надежность. Расчеты показателей надежности осуществляются на основании данных, полученных в результате испытаний или во время эксплуатации объектов. В процессе расчета показателей надёжности, эксплуатацию рассматривают в виде процесса последовательного чередования работоспособного и неработоспособного состояний объекта.

### Литература

1. Савоськин Н. Е. Надежность электрических систем – Пенза, 2004. – 30с.
2. Показатели надежности восстанавливаемого элемента системы [Электронный ресурс]. Режим доступа: [https://studme.org/39331/tovarovedenie/pokazateli\\_nadezhnosti\\_vosstanavlivaemogo\\_elementa\\_sistemy](https://studme.org/39331/tovarovedenie/pokazateli_nadezhnosti_vosstanavlivaemogo_elementa_sistemy). – Дата доступа: 01.04.2022.