

**Голованов Игорь Григорьевич,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: golovanov\_ig@mail.ru.

**Леб Максим Сергеевич,**

обучающийся гр. ЭЭ-20-1, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: lebmaksim2@gmail.com

**Михалёв Андрей Викторович,**

обучающийся гр. ЭЭ-20-1, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: andrey23071@mail.ru

**Потапов Илья Николаевич,**

обучающийся гр. ЭЭ-20-1, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: pogo201@mail.ru

## **АЛГОРИТМ РАСЧЁТА ПАРАМЕТРОВ НАДЁЖНОСТИ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ, РАБОТАЮЩЕЙ В АГРЕССИВНОЙ СРЕДЕ**

**Golovanov I.G., Leb M.S., Mikhalev A.V., Potapov I.N.**

## **ALGORITHM FOR CALCULATING THE RELIABILITY PARAMETERS OF A POWER SUPPLY SYSTEM OPERATING IN AN AGGRESSIVE ENVIRONMENT**

**Аннотация.** Рассмотрен вопрос о расчёте параметров надёжности электрооборудования системы электроснабжения промышленных предприятий с агрессивными средами.

**Ключевые слова:** системы электроснабжения, промышленные предприятия, надёжность, восстанавливаемое и невосстанавливаемое электрооборудование.

**Abstract.** The issue of improving the reliability of electrical equipment of the power supply system of industrial enterprises with aggressive environments is considered.

**Keywords:** power supply systems, industrial enterprises, reliability, renewable and non-renewable electrical equipment.

Уже более 30 лет, как нет Советского Союза. В период его существования была создана и успешно работала одна из ведущих мировых научных и практических школ по теории надёжности технических систем. Разрушение страны привело к развалу промышленности, а следом за ним произошли развал научных направлений по отраслям, которые формировали практическую теорию надёжности. Как следствие, в настоящее время в нашей стране отсутствует единая система сбора и обработки информации о надёжности технических систем. Это является одной из причин сравнительно низкой надёжности эксплуатируемых и разрабатываемых новых технических систем. Без данных, формирующих параметры надёжности, невозможно создать новую систему на заданные показатели надёжности. Отсутствие единой системы сбора и обработки данных об отказах и ремонтах электрооборудования системы электроснабжения приводит к тому, что во многих случаях сбор статистических данных ведётся не квалифицированно. Поэтому разработчик в конструкторском бюро не может с необходимой точностью оценить надёжность технической системы

на этапе проектирования. Кроме того, анализ надёжности при неточных данных по надёжности элементов электрооборудования системы электроснабжения может привести к ошибочным выводам. Элементы электрооборудования системы электроснабжения с точки зрения надёжности подразделяются на восстанавливаемые и не восстанавливаемые, т.е. в первом случае отказавший элемент подлежит ремонту и может быть восстановлен, а во втором случае такой возможности восстановления нет. Многие предприятия химической, нефтехимической, атомной и других производств имеют агрессивные среды в технологии вырабатываемой продукции с химическими, радиоактивными воздействиями и т.д. на окружающую среду, где электрооборудование участвует в технологическом процессе, находясь в этой среде. В этом случае элемент электрооборудования становится невосстанавливаемым.

В достоверности полученных результатов расчёта надёжности технической системы лежат данные, которые получены при сборе информации об отказах при испытаниях или в период её эксплуатации. В этом случае система сбора данных об отказах должна удовлетворять следующим требованиям, которые позволяют получить достоверные показатели надёжности при эксплуатации системы электроснабжения:

- показатели надёжности, полученные в процессе проектирования системы электроснабжения, должны соответствовать данным, которые получены в процессе эксплуатации этой системы;
- кроме того, необходимо получить данные для определения показателей надёжности элементов системы электроснабжения;
- чтобы работа по сбору эксплуатационных данных не была рутинной, а была простой и наглядной.

Для определения алгоритма расчёта показателей надёжности системы электроснабжения, при её работе в агрессивной среде, рассмотрим методику, которая предложена в монографии [1]. Рассмотрим основные показатели надёжности для восстанавливаемых систем, к которой относится система электроснабжения:

- $T$  – среднее время наработки на отказ, час;
- $T_B$  – среднее время восстановления, час;
- $\omega(t)$  – параметр потока отказов;
- $K_r(t)$  – функция готовности, вероятность того, что в момент  $t$  система исправна;
- $K_n(t)$  – функция простоя, вероятность того, что в момент  $t$  система неисправна и восстанавливается;
- $K_T$  – коэффициент готовности, вероятность того, что система будет исправной при длительной эксплуатации;

–  $K_n$  – коэффициент простоя, вероятность того, что система будет неисправной при длительной эксплуатации.

Для невосстанавливаемых систем это:

- $P(t)$  – вероятность безопасной работы в течение времени  $t$ ;
- $Q(t)$  – вероятность отказа в течение времени  $t$ ;
- $T$  – среднее время наработки на отказ, час;
- $f(t)$  – плотность распределения времени безотказной работы;
- $\lambda(t)$  – интенсивность отказа в момент времени  $t$ , 1/час;
- $\Lambda(t)$  – функция ресурса;
- $\gamma(t)$  –  $\gamma$ -процентный ресурс – наработка, в течение которой элемент не достигает состояния отказа с вероятностью  $\gamma/100$ .

Зависимость между показателями надёжности восстанавливаемых и невосстанавливаемых систем можно получить путём решения следующего интегрального уравнения Вольтерра второго рода [2], которое устанавливает связь между параметром потока отказов  $\omega(t)$  и законом распределения отказов  $f(t)$ :

$$\omega(t) = f(t) + \int_0^t \omega(\tau)f(t - \tau)d\tau, \quad (1)$$

где  $\tau$  – время восстановления системы.

Уравнение (1) устанавливает зависимость между показателями надёжности восстанавливаемой и невосстанавливаемой техники. Оно позволяет определить по статистическим данным об отказах восстанавливаемой техники в процессе её эксплуатации показатели надёжности невосстанавливаемой техники. Уравнение (1) можно решить двумя способами: аналитическим и численным методами. При определении показателей надёжности невосстанавливаемых систем по данным об отказах восстанавливаемых систем применять численные методы решения интегральных уравнений нецелесообразно. Поэтому анализ надёжности по данным её эксплуатации выполняют на основании аналитического решения интегрального уравнения (1) по следующему алгоритму.

1. По данным эксплуатации системы электроснабжения определяется параметр потока отказов  $\omega(t)$ , который определяется по выражению:

$$\omega(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (2)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказов за промежуток времени  $\Delta t$ ;

$N_0$  – количество элементов системы, находящихся в эксплуатации.

2. Задача решается методами аппроксимации, приближёнными в узлах. Вид функции интерполяции  $\omega = \varphi(t)$  выбирается на основе анализа исходных данных, возможностей универсальных математических программных средств и

физической сущности случайных процессов – отказов системы электроснабжения.

3. Функция  $\omega(t)$  записывается в виде преобразования Лапласа  $\omega(p)$ .

4. Определяется преобразование Лапласа плотности распределения времени до отказа  $f(p)$ . Получение функции  $f(p)$  осуществляется путём решения интегрального уравнения (1). Уравнение представляет собой свёртку функций и в преобразовании Лапласа имеет вид:

$$5. \quad \omega(p) = f(p) + \omega(p)f(p) \text{ или } f(p) = \frac{\omega(p)}{1+\omega(p)}. \quad (3)$$

6. Находится обратное преобразование Лапласа функции  $f(p)$ . Полученное выражение закона распределения времени до отказа используется для определения основных показателей надёжности системы электроснабжения.

7. По выражениям (4) определяют вероятность безотказной работы  $P(t)$ , среднее время наработки на отказ  $T$  и интенсивность отказа  $\lambda(t)$ :

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt, \quad T = \int_0^t P(t)dt, \quad \lambda(t) = \frac{f(t)}{P(T)}. \quad (4)$$

На рисунке 1 представлен алгоритм определения параметров надёжности системы электроснабжения, работающей в агрессивной среде.

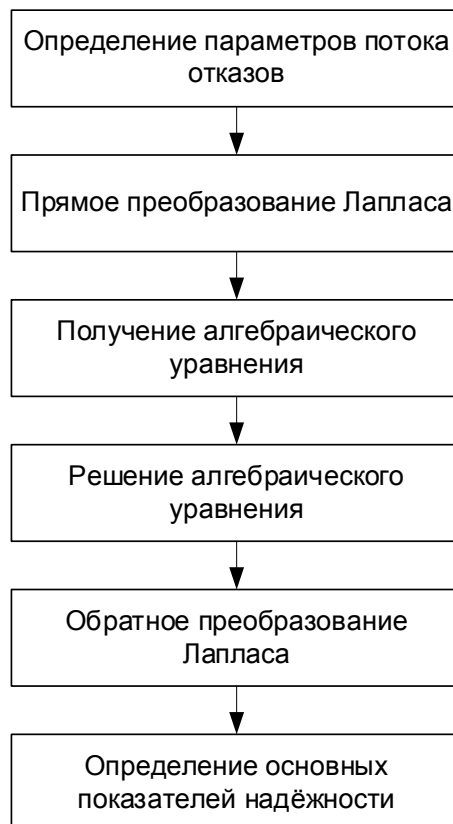


Рисунок 1 – Алгоритм определения параметров системы электроснабжения, работающей в агрессивной среде

Реализация методики определения параметров надёжности системы электроснабжения, работающей в агрессивной среде, возможна в том случае, если параметр потока отказов  $\omega(t)$  имеет преобразование Лапласа, а частота отказов  $f(t)$  имеет обратное преобразование Лапласа. Эти условия выполняются, если  $\omega(t)$  является полиномом  $n$ -й степени.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. **Половко А.М., Гуров С.В.** Основы теории надёжности. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ – Петербург, 2006. – 704 с.
2. Надёжность технических систем: Справочник /Ю.К. Беляев, В.А. Богатырёв, В.В. Болотин и др.; Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1985. – 608 с.