УДК 626.8 (075.8)

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ НАДЁЖНОСТИ ГИДРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ

В.А. Халматов, Х.К. Ташматов, Р.Р. Губайдуллин, И.А. Федосеев, Б.А. Рахмонов
Ташкентский государственный технический университет

В данной работе предложены основные аспекты оценки надежности в гидроэнергетических установок гидротехнических сооружений.

In the given work are offered the basic aspects of an estimation of reliability hydraulic engineering a construction in hydropower installations

Вероятность безотказной работы *P(t)* есть вероятность того, что при эксплуатации объектов (узлов) гидротехнических сооружений (ГТС) гидроэнергетических установок (ГЭУ) за определенный заданный промежуток времени не произойдет ни одного отказа. Функция *P(t)* является убывающей функцией. При t=0 P(0)=1, а при t=∞ P(∞)=0. Таким образом, *P(t)* изменяется в пределах $0 \le P \le 1$.

Вероятность безотказной работы определяется по приближенной формуле [1]:

$$P(t) = \frac{N_0 - \sum_{i=1}^{t/\Delta t} n_i}{N_0},$$

где

N_0 - число объектов (узлов) ГТС в ГЭУ на начало эксплуатации;
n_i – число объектов, вышедших из строя;
Δt – интервал времени, в который вышли из строя объекты;
t -время, для которого определяется вероятность безотказной работы.

Противоположностью вероятности безотказной работы является вероятность отказов:

$$Q(t) = 1 - P(t)$$

По заданному $P(t)_{зад}$ определяется технический ресурс. При практических расчетах вероятность безотказной работы определяется по формуле:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0}$$

где

n(t) - число объектов (узлов), отказавших в течение времени *t*.

Точные формулы вероятности безотказной работы, имеют вид:
- для нормального распределения

$$P(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \int_0^\infty e^{-(t-T_{cp})^2/2\cdot\sigma^2} dt\,;$$

- для экспоненциального распределения

$$P(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} = e^{-\lambda \cdot t};$$

- для распределения Вейбулла

$$P(t) = 1 - \int_0^t f(t)dt = e^{-\lambda_0 t^k},$$

где

σ - среднее квадратичное отклонение;
T_{cp} - среднее время (математическое ожидание) наработки на отказ;
λ - интенсивность отказов;
k - коэффициент асимметрии распределения.

Интенсивность отказов определяется отношением

$$\lambda(t) = \frac{\Delta n(t)}{N(t)\Delta t},$$

числа отказавших объектов (узлов) $\Delta n(t)$ за единицу времени в интервале Δt от $t - \Delta t/2$ до $t + \Delta t/2$ к среднему числу изделий продолжающих исправно работать.

$$N(t) = \frac{N_{i-1} + N_1}{2},$$

здесь N_{i-1} и N_i - число исправно работающих объектов в конце и в начале интервала времени Δt_i. Обычно зависимость имеет три характерных участка кривой: - приработочный (до двух лет нормальной эксплуатации); - резкого износа; - старения узлов объекта.

Характер кривой интенсивности отказов зависит от эксплуатационных режимов работы объектов. Интенсивность отказов объекта выражена в виде зависимости:

$$\lambda = \lambda_н \cdot a_1 \cdot a_2 \cdot a_3,$$

где

$\lambda_н$ - интенсивность отказов для оптимальной (расчетной) нагрузки;
a_1 -коэффициент, учитывающий среднюю степень нагрузки объекта; зависит от отношения $K_н$ средней допустимой нагрузки объекта P_{cp} за рассматриваемый период к оптимальной;
a_2 - коэффициент, учитывающий частоту μ переходных режимов (цикл/ч) за рассматриваемый период эксплуатации объекта ГТС в ГЭУ;
a_3 - коэффициент, учитывающий уровень v загрузки узлов объекта ГТС в ГЭУ при установившихся режимах.

Точные формулы для интенсивности отказов имеют вид:
- для нормального распределения

$$\lambda(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \frac{e^{-(t-T_{CP})^2/2\cdot\sigma^2}}{0{,}5 - \Phi \cdot (\frac{t-T_{CP}}{\sigma})};$$

- для экспоненциального распределения

$$\lambda(t) = \lambda = const;$$

- для распределения Вейбулла

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{P(t)} = \lambda_0 \cdot K \cdot t^{k-1},$$

где

$$\Phi(\frac{t-T_{CP}}{\sigma}) = \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-z^2/2} dz$$

функция Гаусса или интеграл вероятностей определяется по z. Средняя наработка на отказ - среднее арифметическое время безотказной работы объекта (узла) между соседними отказами:

$$T = \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{n},$$

где

t_i - время безотказной работы между i- 1 и i отказами;
n - число отказов за время эксплуатации.

Средняя наработка на отказ характеризует повторяемость отказов i узлов объекта ГТС в ГЭУ при условии, что объект восстанавливается (ремонтируется). Поэтому первоначальное число узлов объекта остается постоянным.

Среднее время безотказной работы

$$T_{cp} = \sum_{i=1}^{n} \frac{t_i}{N_0},$$

где

N_0 - число узлов объекта до первого отказа для заданной партии.

Точная формула времени безотказной работы объектов имеет вид:
- для нормального распределения

$$T_{cp} = \int_o^\infty P(t) dt;$$

- для экспоненциального распределения

$$T_{cp} = \int_0^\infty e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda};$$

- для распределения Вейбулла

$$T_{cp} = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_0 t^k} = \frac{\Gamma \cdot \left(\frac{1}{k}+1\right)}{\frac{1}{k}},$$

где

Г - гамма-функция.

Дисперсия случайной величины выражается:

$$D = \sigma^2 = \lambda \cdot T_{cp}^2 \int_0^{\infty} e^{-\lambda T} dt = T_{cp}^2$$

Следовательно, при экспоненциальном законе распределения среднее квадратичное отклонение σ совпадает со средним временем безотказной работы.

Частота отказов представляет собой:

$$f(t) = \frac{\Delta n(t)}{N_0 \Delta t}$$

т.е. отношение числа Δn отказавших узлов объекта в интервале времени Δt от $t - \frac{\Delta t}{2}$ до $t + \frac{\Delta t}{2}$ к первоначальному числу эксплуатирующихся узлов объекта N_0 при условии, что отказавшие узлы не заменяются и не восстанавливаются. Частота отказов характеризует надежность насосов до их первого отказа.

Точные формулы частоты отказов объектов ГТС в ГЭУ, имеют вид:

- для нормального распределения $f(t) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-(t-T_{cp})^2/2\sigma^2}$;
- для экспоненциального распределения $f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda \cdot t}$;
- для распределения Вейбулла $f(t) = \lambda_0 \cdot k \cdot t^{k-1} \cdot e^{-\lambda_0 \cdot t^k}$

При суперпозиции нескольких законов распределения значения показателей надежности объектов ГТС в ГЭУ определяются по формулам:

- вероятность безотказной работы $P(t) = \sum_1^n C_i \cdot P_i(t)$;

- частота отказов $f(t) = \sum_1^n C_i \cdot f_i(t)$;

- интенсивность отказов $\lambda(t) = \frac{\sum_1^n C_i \cdot f_i(t)}{\sum_1^n C_i \cdot P_i(t)}$;

- среднее время безотказной работы $T_{cp} = \sum_1^n C_i \cdot T_{cp}$, где $\sum_{1}^{n} C_i = 1$.

При расчетах вероятности безотказной работы при последовательном соединении элементов, узлов объектов ГТС в ГЭУ теория надежности предусматривает применение теоремы умножения вероятностей. В этом случае отказ любого из элементов вызывает отказ всей системы объекта.

$$P_{ГЭУ} = \prod_{1}^{n} P$$

При расчетах вероятности безотказной работы объектов ГТС в ГЭУ необходимо также учитывать, что имеется и параллельное соединение узлов, при котором отказ одного из элементов не приводит к отказу остальных элементов. Так, обозначив вероятность безотказной работы каждого узла ГТС в ГЭУ через $P_{ГЭУ}$, а вероятность появления отказов через $Q_{ГЭУ}(t)$, будем иметь:

$$P_{ГЭУ}(t) + Q_{ГЭУ}(t) = 1; \; P_{ГЭУ}(t) = 1 - Q_{ГЭУ}(t).$$

Очевидно, ГЭУ в целом откажет в работе в том случае, если откажут все узлы, объекты ГТС. Так как вероятности безотказной работы объектов ГТС являются несовместимыми событиями, то можно записать при равнонадежности объектов $Q_{ГЭУ} = Q^n$, откуда:

$$P_{ГЭУ}(t) = 1 - Q^n(t)$$

Следовательно параллельная работа объектов ГТС повышает надежность ГЭУ в целом.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Мирцхулава Ц.Е. Надёжность гидромелиоративных сооружений. – М.: Колос, 1974. – 277 с.