УДК 44.29.29(31); 44.29.37

Е.В.ТАТАРЕНКОВ
Горно-электромеханический факультет,
аспирант кафедры электротехники и электромеханики

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ НА ГОРНО-ДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Рассмотрены проблема повышения надежности систем контроля и учета потребления электрической энергии на предприятиях горно-добывающей промышленности, способ повышения надежности методом резервирования с дальнейшим замещением вышедших из строя элементов. Приведен пример практического расчета надежности с нагруженным дублированием и восстановлением элементов системы контроля и учета потребления электрической энергии, в результате чего доказана целесообразность применения предлагаемого метода.

The article studies possibilities to increase reliability of systems to monitor and record electric energy consumption at enterprises of the mining industry. A way is considered to increase this reliability by means of the reservation method with further replacement of failed elements. An example of practical reliability calculations is given for loaded duplication and restoration of the monitoring system elements as well as recording electric energy consumption which proves applicability of the method.

Многофункциональные, интеллектуальные счетчики (как правило, электронные, микропроцессорные) в большинстве случаев состоят из следующих элементов: датчиков тока и напряжения, преобразователей входных сигналов, арифметических устройств, устройств хранения и отображения информации, преобразователей выходных сигналов, в некоторых случаях даже управляющих программируемых реле. Устройства этого класса могут выполнять следующие задачи: измерять заданные параметры; производить вычисление непосредственно измеряемых величин и расчет косвенных показателей энергопотребления; учитывать смену тарифных зон (в отдельных случаях даже вычисление показателей качества электрической энергии); строить графики нагрузок; запоминать и хранить информацию как об измеренных величинах, так и о сбоях, перепадах напряжения и другой важной информации. Многие микропроцессорные устройства имеют функцию самодиагностики, что бесспорно, повышает надежность и счетчиков и системы в целом.

Резервирование – один из эффективных методов повышения надежности путем включения резерва, позволяющий создавать системы, прочность которых может быть выше надежности входящих в нее элементов.

Надежность системы с резервированием* может быть еще более увеличена, если в системе предусмотрена возможность восстановления отказавших элементов. Рассмотрим модель резервирования системы, в которой имеется один основной и $N-1$ резервных элементов. Восстановление в этой модели может осуществляться двояко: в ограниченном объеме, когда одновременно восстанавливается не более одного элемента, и в неограниченном объеме, когда может восстанавливаться до N отказавших элементов. Предположим в рамках модели, что время безотказной работы, а также время восстановле-

* *Певзнер Л.Д.* Проектирование надежности систем. М., 1982.

ния любого элемента, распределено экспоненциально. В этих условиях функцией предусмотрено восстановление, описываемое марковским случайным процессом типа «схем гибели и размножения».

Множество состояний системы содержит N работоспособных состояний и одно состояние отказа. Предположим, что отказ в системе наступает после отказа N элементов системы и восстановление возможно только ограниченное. Система в данный момент находится в состоянии i, $i = 1, 2, \ldots N + 1$, если в ней отказало $i - 1$ элементов. Находясь в состоянии i, система может перейти за малое время Δt в состояние $i + 1$ с вероятностью $\lambda_i \Delta t + 0(\Delta t)$, либо в состояние $i - 1$ с вероятностью $\mu_i \Delta t + 0(\Delta t)$, либо i в состоянии i с вероятностью $1 - (\mu_i + \lambda_i)\Delta t + 0(\Delta t)$. Из начального состояния 1 отказа система может перейти лишь в состояние 2, из состояния отказа $N + 1$ система может перейти лишь в состояние N. Состояние отказа при $\mu_{N+1} = 0$ называется поглощающим состоянием, в противном случае, когда $\mu_{N+1} \neq 0$ – отражающим. В случае поглощения время жизни системы составляет время перехода системы из начального состояния в состояние $N + 1$.

Дифференциальные уравнения процесса имеют вид

$$p = -\lambda_i p_1 + \mu_2 p_2;$$

$$p = \lambda_{i+1} p_{i-1} - (\lambda_i + \mu_i) p_i + \mu_{i+1} p_{i+1}, i = 2,3,...,N;$$

$$p = -\lambda_N p_N - \mu_{N+1} p_{N+1},$$

где μ – интенсивность потока восстановления; λ – интенсивность потока отказов.

Начальные условия системы $p'(0) = 1$, $p''(0) = 0$, $i > 2$.

Решение уравнений в общем виде довольно сложно, поэтому рассмотрим один частный случай: дублирование с восстановлением отказавших элементов. Пусть при этом состояние отказа – поглощающее. Учтем условия хранения резерва с помощью коэффициента нагруженности ν – интенсивности перехода из состояния, когда все элементы исправны, в состояние, когда исправен один элемент $\lambda_1 = (1 + \nu)\lambda$.

Далее в уравнениях $\lambda_2 = \lambda$; $\mu_2 = \mu$.

Дифференциальные уравнения принимают вид

$$p = -(1 + \nu)\lambda p_1 + \mu p_2;$$

$$p = (1 + \nu)\lambda p_1 - (\lambda + \mu) p_2;$$

$$p = \lambda p_2,$$

начальные условия $p_i(0) = 1$, $p_2(0) = p_3(0) = 0$.

После преобразований по Лапласу получим искомое выражение

$$p_3(t) = 1 - \frac{S_2}{S_2 - S_1} e^{S_1 t} + \frac{S_1}{S_2 - S_1} e^{S_2 t}.$$

Вероятность безотказной работы системы

$$R_S(t) = \frac{1}{S_2 - S_1}(S_2 e^{S_1 t} - S_1 e^{S_2 t}).$$

В качестве примера рассмотрим систему с нагруженным дублированием и восстановлением, выявим зависимость коэффициента готовности системы от соотношения коэффициентов и коэффициента загруженности резерва. Коэффициенты μ и λ связаны соотношением $\mu = a\lambda$. Функция готовности такой системы имеет вид

$$K_{\text{г}}(t) = \frac{S_2}{S_2 - S_1}\left[e^{S_1 t} + \frac{S_1}{S_2} e^{S_2 t} \right],$$

где a – коэффициент отношения μ и λ; S_1, S_2 – корни многочлена.

При вычислении коэффициента готовности системы необходимо учесть, что коэффициент a может принимать значения нуля или единицы (в зависимости от загруженности резерва), а соотношение между μ и λ (коэффициент a) лежит, как правило, в диапазоне от 0,5 до 100. Для расчетов примем $\lambda = 0{,}5$. Результаты расчетов сведены в таблице.

Как видно из расчетов, с повышением a и λ коэффициент готовности системы растет и достигает значений 0,99. Следует отметить, что надежность систем с ненагруженным резервированием несколько выше, чем у систем с нагруженным резервированием.

a	λ	S_1	S_2	S'_1	S'_2	K_1	K_2
0,5	0,5	-0,1792	-2,7808	-0,5	-2	0,63671	0,76455
1	0,5	-,5858	-3,4142	-0,382	-2,618	0,66627	0,78748
2	0,5	-0,4384	-4,5616	-0,2679	-3,7321	0,71346	0,82292
3	0,5	-0,3542	-5,6458	-0,2087	-4,7913	0,74925	0,84875
4	0,5	-0,2984	-6,7016	-0,1716	-5,8284	0,77721	0,86825
5	0,5	-0,2583	-7,7417	-0,1459	-6,8541	0,79961	0,88341
10	0,5	-0,1557	-12,844	-0,0839	-11,916	0,86672	0,92626
20	0,5	-0,0873	-22,913	-0,0455	-21,954	0,92016	0,95759
40	0,5	-0,0466	-42,953	-0,0238	-41,976	0,95568	0,97708
60	0,5	-0,0318	-62,968	-0,0161	-61,984	0,96932	0,9843
80	0,5	-0,0241	-82,976	-0,0122	-81,988	0,97654	0,98806
100	0,5	-0,0194	-102,98	-0,0098	-101,99	0,98101	0,99037

При выборе вида резервирования необходимо учесть и тот факт, что в системе с нагруженным резервированием происходит постоянная самодиагностика элементов структуры, в то время как в системе с ненагруженным резервированием ее нет.

Научный руководитель д.т.н. доцент *Я.Э.Шклярский*