



В данной статье рассмотрены возможные варианты задач оптимизации периодичности проверок работоспособности специальных путевых выключателей при длительном хранении в нерабочем состоянии.

УДК621.316

В. П. Самошкин, канд. техн. наук,
Я. Б. Форкун, канд. техн. наук
 Харьковская национальная академия городского хозяйства

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕРОК РАБОТОСПОСОБНОСТИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПУТЕВЫХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ХРАНЕНИИ

Введение. Как показывает опыт, очень часто интерес для практики представляют следующие две постановки задачи оптимизации периодичности проверок работоспособности специальных путевых выключателей при длительном хранении.

При одной из поставленных задач периодичность проверок выбирается в интересах обеспечения максимальной готовности выключателей к использованию по назначению, которая оценивается долей работоспособных в любой момент времени путевых выключателей или вероятностью того, что случайно выбранный путевой выключатель в случайный момент времени окажется готовым к использованию по назначению.

При второй же постановки задачи требуется выбрать такую периодичность проверок работоспособности специальных путевых выключателей при длительном хранении, которая обеспечивает минимальные экономические затраты, приходящиеся на каждый выключатель, поддерживаемого в состоянии готовности. Несмотря на то, что в первом случае не учитываются экономические факторы, а во втором случае учитываются, обе постановки задачи используются на практике и представляют для нее интерес.

Изложение основного материала. Очевидно,

$$T_{ц} = \bar{t}_r + \bar{t}_{нр} \tag{1}$$

где $T_{ц}$ – длительность одного цикла хранения или периода между проведением проверок при хранении;

\bar{t}_r -средняя длительность пребывания выключателя в состоянии готовности на протяжении одного любого цикла хранения;

$\bar{t}_{нр}$ - длительность пребывания выключателя в состоянии неготовности на протяжении одного любого цикла хранения.

Как известно коэффициент готовности или вероятность того, что случайно выбранный выключатель в случайный момент времени окажется в состоянии готовности, определяется соотношением

$$K_r = \bar{t}_r / T_{ц} = 1 - \bar{t}_{нр} / T_{ц} = 1 - K_n \tag{2}$$

Где

$$K_n = \bar{t}_{нр} / T_{ц} \tag{3}$$

При этом K_n означает вероятность того, что случайно выбранный путевой выключатель в случайный момент времени окажется в состоянии неготовности.

Из выражения (2) видно, что для увеличения коэффициента готовности K_T необходимо уменьшить длительность пребывания выключателя на протяжении цикла хранения в состоянии неготовности $\bar{t}_{нг}$ которая определяется соотношением

$$\bar{t}_{нг} = \bar{t}_{нр} + \tau_{п} \quad (4)$$

где $\bar{t}_{нр}$ - средняя длительность пребывания выключателя в неработоспособном состоянии между соседними проверками;

$\tau_{п}$ - длительность проведения одной проверки работоспособности выключателя. Если учесть, что в общем случае между проверками путевого выключателя оказывается в неработоспособном состоянии как за счет отказов, возникающих в процессе хранения между проверками, так и за счет отказов, возникающих при выключении после предыдущей проверки, то

$$\bar{t}_{нр} = \bar{t}_{пр1} + \bar{t}_{пр2} \quad (5)$$

где $\bar{t}_{пр1}$ - средняя длительность пребывания путевого выключателя в неработоспособном состоянии на протяжении одного цикла хранения за счет отказов, возникающих в процессе хранения т.е. между проверками;

$\bar{t}_{пр2}$ - средняя длительность пребывания путевого выключателя в неработоспособном состоянии на протяжении одного цикла хранения за счет отказов, возникающих при выключении после предыдущей проверки.

При этом для определенности условимся считать, что $\tau_{п}$ включает в себя также время, потребное на устранение обнаруживаемых в процессе проверки нарушений работоспособности путевых выключателей.

Заметим также, что в данном случае проверки предполагаются однотипными, а период их проведения детерминированным, глубина контроля при проверках обеспечивает обнаружение всех имеющихся нарушений работоспособности.

Средняя длительность пребывания путевого выключателя в неработоспособном состоянии за счет отказов, возникающих между двумя соседними проверками, может быть вычислена по уравнению

$$\bar{t}_{пр1} \approx \int_0^{T_{ц}} (T_{ц} - t) f(t) \cdot dt \quad (6)$$

где $f(t)$ - плотность распределения длительности хранения путевых выключателей на отказ.

Для точного уравнения (6) верхний предел интегрирования будет равен $T_{ц} - \tau_{п}$. Однако поскольку в случае хранения $T_{ц} \gg \tau_{п}$, то можно полагать $T_{ц} - \tau_{п} = T_{ц}$.

Например, в случае экспоненциального распределение длительность хранения на отказ будет иметь

$$f(t) = \lambda_{xp} \cdot e^{-\lambda_{xp} \cdot t} \quad (7)$$

где $\lambda_{xp} = 1/T_{xp}$ - параметр потока отказов путевого выключателя при хранении;

T_{xp} - средняя длительность хранения путевого выключателя на отказ.

Подставляя (7) в (6) и интегрируя, получим

$$\bar{t}_{пр1} \approx T_{ц} - \frac{1 - e^{-\lambda_{xp} T_{ц}}}{\lambda_{xp}} \quad (8)$$

Опыт показывает, что при имеющихся на практике место λ_{xp} и $T_{ц}$ с достаточной для расчетов точностью можно принять

$$e^{-\lambda_{xp}T_{ц}} \approx 1 - \lambda_{xp} \cdot T_{ц} + \frac{(\lambda_{xp} \cdot T_{ц})^2}{2} \quad (9)$$

С учетом выражения (9) соотношение (8), определяющее среднюю длительность пребывания путевого выключателя в неработоспособном состоянии за счет отказов, возникающих между двумя соседними проверками, экспоненциального распределения длительности хранения на отказ принимает вид

$$\bar{t}_{np1} \approx \lambda_{xp} T_{ц}^2 / 2 \quad (10)$$

Поскольку отказы путевых выключателей, возникающие при выключении после проверки, обнаруживаются и устраняются лишь в ходе следующей проверки работоспособности, то средняя длительность пребывания путевого выключателя в неработоспособном состоянии на протяжении одного цикла хранения за счет отказов, возникающих при выключении после проверки, будет определяться соотношением

$$\bar{t}_{np2} = q_{cp} (T_{ц} - \tau_{п}) \quad (11)$$

где q_{cp} - средняя вероятность того, что путевой выключатель откажет при выключении после проверки.

Как уже отмечалось ранее, с достаточной для расчетов точностью можно полагать $T_{ц} - \tau_{п} \approx T_{ц}$, ибо при хранении $T_{ц} \gg \tau_{п}$. С учетом данного обстоятельства соотношение (11) принимает вид

$$\bar{t}_{np2} = q_{cp} T_{ц} \quad (12)$$

Для случая, когда вероятность возникновения отказа путевого выключателя в процессе выключения после проверки пропорциональна порядковому номеру проведенной проверки, будем иметь

$$q_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n i \cdot q_1 \quad (13)$$

q_1 - вероятность отказа путевого выключателя при выключении после первой проверки;

n - суммарное количество проверок работоспособности путевых выключателей за весь ресурс хранения t_{xp} .

Очевидно,

$$n = t_{xp} / T_{ц} \quad (14)$$

Учитывается, что

$$\sum_{i=1}^n i = \frac{n(n+1)}{2} \quad (15)$$

Соотношение (13) примет вид

$$q_{cp} = \frac{n+1}{2} \cdot q_1 \quad (16)$$

С учетом выражений (14) и (16) соотношение (12), определяющее среднюю длительность пребывания путевого выключателя в неработоспособном состоянии на протяжении цикла хранения за счет отказов, возникающих при выключении после проверки, для случая линейной зависимости вероятности отказа путевого выключателя при выключении после проверки от порядкового номера проведенной проверки принимает вид

$$\bar{t}_{np2} = \frac{(t_{xp} / T_{ц} + 1)}{2} \cdot q_1 \quad (17)$$

Таким образом с учетом соотношений (5), (10) и (17) выражение (4), определяющее среднюю длительность пребывания путевых выключателей в состоянии

неготовности на протяжении цикла хранения, для рассматриваемых условий представляется в виде

$$\bar{t}_{нг} = \frac{\lambda_{xp} \cdot T_{ц}^2}{2} + \frac{(t_{xp} + 1) \cdot T_{ц}}{2} \cdot q_1 + \tau_{п} \quad (18)$$

Подставив выражение (18) в соотношение (3) получаем уравнение, определяющее вероятность того, что случайно выбранный путевой выключатель в случайный момент времени окажется в состоянии неготовности

$$K_{п} = \frac{\lambda_{xp} \cdot T_{ц}}{2} + \frac{t_{xp} + 1}{2} \cdot q_1 + \frac{\tau_{п}}{T_{ц}} \quad (19)$$

Для случая, когда периодичность проверок выбирается в интересах обеспечения максимальной готовности путевых выключателей к использованию по назначению, согласно (2) необходимо минимизировать $K_{п}$, определенный уравнением (19).

В целях исследования уравнения (19) на экстремум продифференцируем его по $T_{ц}$ и полученное соотношение приравняем нулю, в результате чего получим

$$\frac{\lambda_{xp}}{2} - \frac{t_{xp} \cdot q_1}{2T_{ц}^2} - \frac{\tau_{п}}{T_{ц}^2} = 0 \quad (20)$$

Решая уравнение (20) относительно $T_{ц}$ находим соотношение, определяющее оптимальную с точки зрения готовности периодичности проведения проверок работоспособности путевых выключателей при хранении.

$$T_{ц \text{ опт}} = \sqrt{(q_1 \cdot t_{xp} + 2\tau_{п}) / \lambda_{xp}} \quad (21)$$

Для случая, когда отсутствует изнашивание деталей путевых выключателей за счет проведения проверок работоспособности ($q_1=0$), уравнение (21) дает известное соотношение

$$T_{ц \text{ опт}} = \sqrt{\frac{2\tau_{п}}{\lambda_{xp}}} \quad (22)$$

При другой постановке задачи требуется выбрать периодичность проверок работоспособности путевых выключателей при хранении, обеспечивающую минимальные экономические затраты, приходящиеся на каждое поддерживаемое в состоянии готовности путевых выключателей и определяемые соотношением

$$C_{г} = C / N_{г} \quad (23)$$

где C - суммарные затраты на хранение путевых выключателей;

$N_{г}$ - среднее число путевых выключателей (из числа содержащихся на хранении), находящихся в состоянии готовности в любой момент времени.

Очевидно,

$$C = N \cdot C_{и} \quad (24)$$

$$N_{г} = N \cdot K_{г} \quad (25)$$

где N - число содержащихся на хранении путевых выключателей;

$C_{и}$ - средние затраты, приходящиеся на каждый путевой выключатель, содержащихся на хранении;

$K_{г}$ - коэффициент готовности каждого путевого выключателя или доли путевых выключателей, находящихся в состоянии готовности в любой момент времени, определяемый соотношением (2).

В свою очередь,

$$C_{и} = n \cdot C_{ц} \quad (26)$$

где N - суммарное количество проверок работоспособности путевых выключателей за весь ресурс хранения определяемое выражением (14);

$C_{ц}$ - средние затраты, приходящиеся на хранение одного путевого выключателя на протяжении одного цикла и определяемые соотношением

$$C_{ц} = m_{ц} \cdot C_{э} + \tau_{п} \cdot C_{о} \quad (27)$$

где $m_{ц}$ - среднее количество отказов путевого выключателя за один цикл хранения $T_{ц}$;

$C_{э}$ - средняя стоимость элементов и материалов, расходуемых при устранении одного отказа путевого выключателя;

$\tau_{п}$ - длительность одной проверки одного путевого выключателя;

$C_{о}$ - стоимость единицы времени проверки одного путевого выключателя.

Если потоки отказов путевых выключателей, возникающих в условиях хранения и в процессе проведения проверок, являются пуассоновскими и сохраняются одинаковыми на всех циклах хранения, то среднее количество отказов путевых выключателей за один любой цикл хранения может быть вычислено по уравнению

$$m_{ц} = \lambda_{xp}(T_{ц} - \tau_{п}) + \lambda_{п}\tau_{п} + q_{ср}n \quad (28)$$

где λ_{xp} - параметр потока отказов путевых выключателей при хранении;

$\lambda_{п}$ - параметры потока отказов путевых выключателей в режиме проверки;

$q_{ср}$ - средняя вероятность того, что путевой выключатель откажет при выключении после проверки.

С учетом выражений (24), (25), (26) соотношение (23) представляются в виде

$$C_{г} = n \cdot C_{ц}/K_{г} \quad (29)$$

Подставив соотношение (14) в выражение (29) получим

$$C_{г} = \frac{C_{ц}}{T_{ц} \cdot K_{г}} \cdot t_{xp} \quad (30)$$

5

В свою очередь, нетрудно убедиться, что средние затраты, приходящиеся на единицу времени пребывания путевых выключателей в состоянии готовности, определяется выражением

$$C_{го} = C_{ц}/T_{ц} \cdot K_{г} \quad (31)$$

С учетом (31) соотношение (30) принимает вид

$$C_{г} = C_{го} \cdot t_{xp} \quad (32)$$

Вывод.

Полученное в работе выражение (32) позволяет определить минимальные затраты при заданном сроке хранения путевых выключателей, поддерживая их в состоянии готовности.

Выражение (21) позволяет определить оптимальную с точки зрения готовности периодичности проведения проверок работоспособности путевых выключателей при их длительном хранении с учетом, что путевой выключатель изнашивается за счет проведения проверок его работоспособности и без учета экономических затрат.

Из выражения (22) можно определить тоже самое, что (21) считая, что путевой выключатель не изнашивается за счет проведения проверок.

Литература

1. Жалдак М.І., Кузьміна Н.М., Берлінська С.Ю. Теорія ймовірностей і математична статистика з елементами інформаційної технології.-К.: Вища школа, 1990р.

2. Коваленко И.Н., Гнеденко Б.В. Теория вероятностей.-К.: Высш. шк.,1990г.
3. Шторм Р. «Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества».Перевод с немецкого под редакцией Н.С. Райбман. Издательство «Мир», 1970г.
4. Гурман В.Е. Теория вероятностей математическая статистика – М.: Высш. шк., 2002г.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей.-М.: «Наука», 1969г.
6. Румшинский Л.З. «Математическая обработка результатов эксперимента». Издательство «Наука», 1971г.
7. Ширяев А.Н. «Статистический последовательный анализ». Издательство «Наука»,1969г.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРІОДИЧНОСТІ ПЕРЕВІРОК ПРАЦЕЗДАТНОСТІ
СПЕЦІАЛЬНИХ ПУТЕВИХ ПЕРЕМИКАЧІВ ПРИ
ДОВГОМУ ЗБЕРЕЖЕННІ

В. П. Самошкін, Я. Б. Форкун

У даній статті розглянуті можливі варіанти завдань оптимізації періодичності перевірок працездатності спеціальних путніх вимикачів при тривалому зберіганні в неробочому стані.

OPTIMIZATION OF PERIODICITY OF VERIFICATIONS OF
CAPACITY SPECIAL GROUND VVLYUCHATELEY
AT THE PROTRACTED STORAGE

V. Samoshkin, Y. Forkyn

In this article the possible variants of tasks of optimization of periodicity of verifications of capacity are considered special ground a switch at the protracted storage deenergized.