

## ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПЛАНОВО-ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Лимонов А. И. – к. э. н., доцент,  
Антипов А. Э. – магистрант,  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь

**Аннотация:** в работе предложен подход к расчету повреждаемости электрической сети в зависимости от интенсивности проведения планово-предупредительных ремонтов и потока повреждений, не зависящих от износа.

**Ключевые слова:** эффективность, электрическая сеть, планово-предупредительные ремонты, повреждаемость, износ.

### ON THE EFFECTIVENESS OF PLANNED PREVENTIVE MAINTENANCE OF ELECTRICAL NETWORKS

**Annotation:** the paper proposes an approach to calculating the damageability of the electrical network depending on the intensity of scheduled maintenance and the flow of damage independent of wear.

**Key words:** efficiency, electrical network, scheduled maintenance, damage, wear.

Конечный эффект от проведения планово-предупредительных ремонтов (ППР) заключается в снижении повреждаемости электрической сети. Это достигается путем плановой замены изношенных элементов. В (1) получены количественные оценки выхода из строя различных сетевых элементов (опоры, провода, изоляторы и пр.) вследствие износа на протяжении их срока службы. Тогда для совокупности сетевых элементов вероятность выхода из строя в год  $\tau$  по причине износа составит

$$F_{\tau} = F_{\tau} - F_{\tau-1}, \quad (1)$$

где  $F_{\tau}$ ,  $F_{\tau-1}$  – соответственно, вероятности того, что все элементы некоторой совокупности откажут по причине износа за  $\tau$  и  $(\tau - 1)$  лет [1].

Распределительные сети отличаются от электрических сетей более высокого класса напряжения наличием большого количества внешних повреждений, которые снижают эффект ППР. Под внешними повреждениями понимаются те, которые не зависят от износа и не могут быть заранее предотвращены (гололедно-ветровые нагрузки и прочие, вызванные внешними причинами). Пусть  $F_{в}$  – вероятность выхода из строя (в любом году) всей совокупности элементов из-за внешних повреждений. Тогда вероятность выхода из строя в год  $\tau$  совокупности элементов, прослуживших  $(\tau - 1)$  лет составит:

$$f_{\tau\Sigma}^* = f_B + f_{\tau}^*(1 - f_B) \quad (2)$$

где  $f_{\tau}^*$  – вероятность того, что совокупность элементов, прослуживших  $(\tau - 1)$  лет, вся выйдет из строя в год  $\tau$  по причине износа, определится по рекуррентной формуле:

$$f_{\tau}^* = f_{\tau} / (1 - \sum_i^{\tau-1} f_i) \quad (3)$$

Для определения  $\mu T$  – вероятности, что в год  $T$  на рассматриваемом объекте (линии или сети) откажут все элементы некоторой совокупности, необходимо учитывать предшествующие замены. Элементы, замененные в год  $t$ , успели к году  $T$  прослужить  $\tau = T - t$  лет. В общем случае при наличии предупредительных замен параметры закона выхода из строя элементов совокупностей, начавших свою службу в различные годы, будут отличаться. Искомая вероятность определится по рекуррентной формуле

$$\mu_T = \sum_{\tau=1}^T (\mu_{T-\tau} f_{\tau\Sigma}^{(T-\tau)}), \quad \mu_0 = 1, \quad (4)$$

где  $f_{\tau\Sigma}^{(T-\tau)}$  – вероятность того, что совокупность элементов, начавших свою службу в год  $(T - \tau)$ , в год  $\tau$  выйдет из строя

$$f_{\tau\Sigma}^{(T-\tau)} = (1 - \sum_{i=1}^{\tau-1} f_{i\Sigma}^{(T-\tau)}) \cdot f_{\tau\Sigma}^* \quad (5)$$

В (4) величина  $\mu_{T-\tau}$  есть вероятность замены всех элементов в год  $(T - \tau)$ . При этом значение  $\mu_0 = 1$  можно интерпретировать как вероятность того, что в год, предшествующий началу службы линии, все элементы рассматриваемой совокупности были введены в строй (заменены на новые).

Предложенный подход позволяет моделировать различные потоки внешних повреждений, не зависящих от износа, а также любую стратегию ППР с учетом эффекта от их проведения (полноты устранения изношенных элементов). Внешние повреждения, характерные для распределительных сетей, приводят к отказу элементов, «не доживших» до полного износа и, как следствие, к снижению эффективности ППР. Расчеты, выполненные на примере распределительной сети, в которой линии равномерно вводились в эксплуатацию, позволили получить квадратичную зависимость повреждаемости сети от интенсивности ППР. Если  $f_B$  для опор, проводов, изоляторов и разъединителей принять, соответственно, 0,0002, 0,012, 0,0042 и 0,99, то даже при полном отказе от ППР повреждаемость сети увеличится не более чем в 4,5 раза. При этом кратность увеличения повреждений  $n$  в группировках будет различной. Для опор  $n = 13$ , проводов – 3,5 (при  $f_B = 0$ ,  $n = 200$ ). Повреждаемость разъединителей не изменится, так как она полностью определяется внешними повреждениями.

#### Список литературы

1. Федосенко, Р. Я. Надежность электроснабжения и электрические нагрузки / Р. Я. Федосенко – М. : Энергия, – 1997. – 198 с.