

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЦЕНКИ РАСХОДА РЕСУРСА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ РЕЖИМОВ ЕГО РАБОТЫ

НАЗАРЫЧЕВ А.Н., д-р техн. наук, АНДРЕЕВ Д.А., канд. техн. наук, БЛУДОВ А.Ю., инж., ПЕДРО АНТОНИО, асп.

Рассмотрены вопросы оценки ресурса электрооборудования. Представлена математическая модель и проведены расчеты расхода ресурса трансформаторов для различных условий эксплуатации.

*Ключевые слова:* эксплуатационные факторы, технический ресурс, математическая модель оценки ресурса.

## MATHEMATICAL MODEL OF ELECTRIC INSTALLATION RESOURCE CAPACITY EVALUATION SUBJECT TO ITS OPERATING REGIMES

A.N. NAZARYCHEV, Ph.D., D.A. ANDREEV, Ph.D., A.Yu. BLUDOV, engineer, PEDRO ANTONIO, postgraduate

The work is devoted to the problems of electric installation resource evaluation. The authors present the mathematical model and transformer resource capacity calculations for different operating conditions.

*Key words:* operational factors, useful operating life, resource evaluation mathematical model.

Согласно [1], технический ресурс – это наработка от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после предупредительного ремонта до наступления предельного состояния этого объекта. Предельное состояние – это такое состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, или неустранимого снижения уровня работоспособности, или недопустимого снижения эффективности эксплуатации.

В связи с этим под ресурсом можно понимать интегральную оценку общего уровня технического состояния оборудования, измеряемую в единицах наработки. Для разных типов электрооборудования (ЭО) наработка может быть измерена в различных единицах: для трансформаторов – в годах, для выключателей – в количестве коммутаций и т.д. Поэтому для разных типов ЭО удобно пользоваться понятием «ресурс».

Причиной изменения величины ресурса является изменение эксплуатационных факторов: режимных, природных и др. В зависимости от характера фактора, его природы, интенсивности и силы, его действие приводит к сработке ресурса на определенную величину. Все эксплуатационные факторы можно разделить на  $N$  групп: тепловые; механические; электрические; химические; радиационные и др.

Из отмеченных групп для электрооборудования первые три являются наиболее важными и существенными. Действие каждой группы факторов характеризуется параметрами: для тепловых – это может быть температура; для механических – вибро смещение, виброскорость, частота и т.п.; для электрических – напряженность электромагнитного поля, уровень напряжения и др. Очевидно, что чем больше отклонение каждого из параметров по всем группам факторов от номинального значения, тем интенсивнее срабатывается ресурс ЭО. Тяжесть режима по  $i$ -му параметру предлагается оценивать коэффициентом тяжести режима  $k_i$ , определяемым по выражению

$$k_i = \frac{X_i}{X_i^{\text{ном}}}, \quad (1)$$

где  $X_i$  и  $X_i^{\text{ном}}$  – текущее и номинальное значение  $i$ -го параметра, соответственно.

Для большинства факторов при увеличении коэффициента  $k_i$  происходит закономерное ускорение сработки ресурса. Если выполняется условие

$$k_1 = k_2 = \dots = k_i = \dots = k_N = 1, \quad (2)$$

где  $i = 1 \dots N$  – количество эксплуатационных факторов, действующих на ЭО, то ЭО сработает установленную величину наработки (установленный ресурс) до предельного состояния в соответствии с нормативными документами.

Значение коэффициента  $k_i < 1$  соответствует облегчению режима работы ЭО по  $i$ -му фактору, а  $k_i > 1$  – утяжелению. Текущий режим работы ЭО характеризуется множеством значений  $k_i$  для всех возможных факторов. Отклонение любого фактора соответствует переходу ЭО в новый режим работы, которому соответствует новая скорость сработки ресурса. На каждом из установившихся режимов работы ЭО скорость сработки ресурса постоянна:

$$\frac{dR}{dt} = v = \text{const} \Rightarrow R(t) = \int_0^t v dt = vt, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость сработки ресурса, постоянная для каждого режима работы ЭО.

Зависимости ресурса  $R^*$  в относительных единицах от времени  $t$  для режимов, характеризующихся разными величинами  $v$ , представлены на рис. 1.

Как уже было отмечено выше, скорость сработки ресурса  $v$  зависит от коэффициентов тяжести режима  $k_i$ . Предположим, что при изменении коэффициента тяжести режима  $k_i$  на  $d_i$  единиц ресурс ЭО изменяется в  $e$  раз:

$$R = R_0 e^{\frac{-(k_i-1)}{d_i}}, \quad (4)$$

где  $R_0$  – установленный ресурс.

Поделив обе части равенства (4) на  $R_0$ , получим аналогичное выражение, но в относительных единицах:

$$R^* = e^{\frac{-(k_i-1)}{d_i}}. \quad (5)$$

Зависимости  $R^*(k_i)$  при различных значениях  $d_i$  представлены на рис. 2.

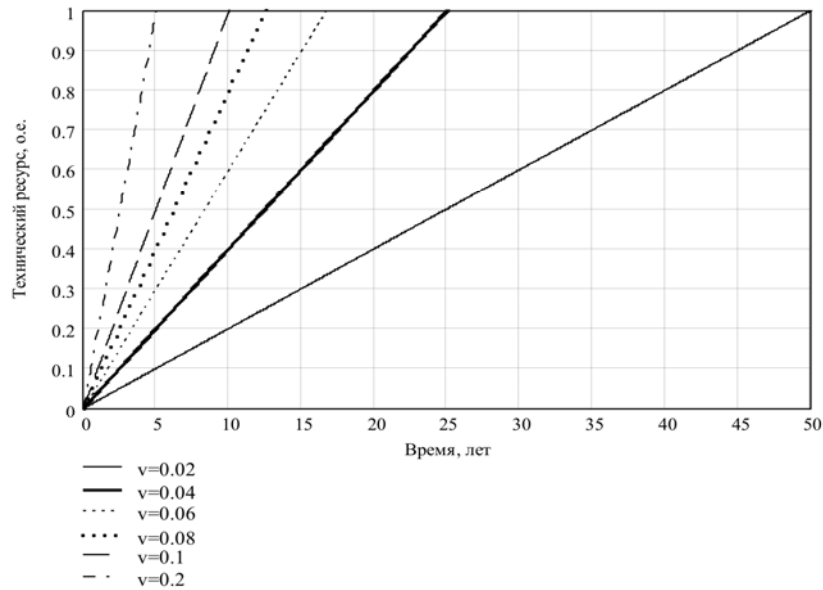


Рис. 1. Зависимость относительного ресурса  $R^*$  от времени  $t$ : ———  $v = 0,02$ ; ———  $v = 0,4$ ; .....  $v = 0,06$ ; .....  $v = 0,08$ ; — — —  $v = 0,1$ ; - - - -  $v = 0,2$

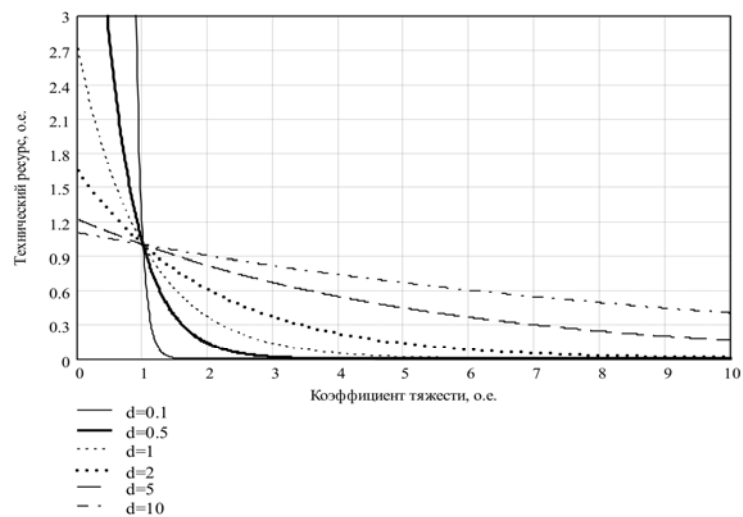


Рис. 2. Зависимость технического ресурса ЭО  $R^*$  от коэффициента тяжести  $k_i$ : ———  $d_i = 0,1$ ; ———  $d_i = 0,5$ ; .....  $d_i = 1$ ; .....  $d_i = 2$ ; — — —  $d_i = 5$ ; - - - -  $d_i = 10$

Зависимость технического ресурса ЭО  $R^*$  от коэффициента тяжести  $k_i$  (рис. 2) носит качественный, показательный характер и отражает лишь тенденцию изменения ресурса. Для точного определения зависимости (5) необходимо знать значение  $d_i$ , которое, в свою очередь, может быть определено экспертно или статистическим путем для конкретного типа ЭО и класса напряжения.

Анализ полученных зависимостей (рис. 2) показывает, какую величину ресурса по отношению к установленному может сработать ЭО при работе в течение всего срока службы с одним и тем же значением  $i$ -го параметра (фактора)  $k_i$  при номинальных значениях остальных параметров.

Если рассматривать изменение всех  $N$  факторов, то выражение (5) принимает вид

$$R^* = \prod_{i=1}^N e^{\frac{-(k_i-1)}{d_i}} = e^{\sum_{i=1}^N \frac{-(k_i-1)}{d_i}} \quad (6)$$

С учетом того, что изначально все эксплуатационные факторы по своей природе были разделены на три группы, формулу (6) можно записать в виде

$$R^* = e^{\sum_{j_1=1}^{n_1} \frac{-(k_{j_1}^{\ominus}-1)}{d_{j_1}^{\ominus}} + \sum_{j_2=1}^{n_2} \frac{-(k_{j_2}^{\top}-1)}{d_{j_2}^{\top}} + \sum_{j_3=1}^{n_3} \frac{-(k_{j_3}^{\text{M}}-1)}{d_{j_3}^{\text{M}}}} \quad (7)$$

где  $j_1 = 1 \dots n_1$  – количество электрических факторов;  $j_2 = 1 \dots n_2$  – количество тепловых факторов;  $j_3 = 1 \dots n_3$  – количество механических факторов;  $k_{j_1}^{\ominus}$  – кратность  $j_1$ -го электрического фактора;  $d_{j_1}^{\ominus}$  –

относительное отклонение  $j_1$ -го электрического фактора, при котором ресурс ЭО меняется в  $e$  раз;  $k_{j_2}^T$  – кратность  $j_2$ -го теплового фактора;  $d_{j_2}^T$  – относительное отклонение  $j_2$ -го теплового фактора, при котором ресурс ЭО меняется в  $e$  раз;  $k_{j_3}^M$  – кратность  $j_3$ -го электрического фактора;  $d_{j_3}^M$  – относительное отклонение  $j_3$ -го фактора, при котором ресурс ЭО меняется в  $e$  раз; при этом  $n_1 + n_2 + n_3 = N$ .

В самом общем случае величина  $d_i$  может меняться в зависимости от  $k_i$ , т.е.  $d_i = f(k_i)$ . Однако для упрощения в дальнейших расчетах принимаем, что  $d_i = \text{const}$  при любом значении  $k_i$ . Величина  $k_i$  в общем случае также может быть непостоянной и зависеть от величины наработки, а чаще от времени.

Допустим, ЭО работает в некотором режиме, отличном от номинального по одному или нескольким факторам. Необходимо определить, какой действительный ресурс сработает ЭО по отношению к наработке в номинальных условиях.

Воспользовавшись выражением (7), действительный сработанный ресурс в единицах наработки можно определить следующим образом:

$$\Delta R = \int_0^{R_p} R * dR = \int_0^{R_p} e^{\sum_{j_1=1}^{n_1} \frac{-(k_{j_1}^E - 1)}{d_{j_1}^E} + \sum_{j_2=1}^{n_2} \frac{-(k_{j_2}^T - 1)}{d_{j_2}^T} + \sum_{j_3=1}^{n_3} \frac{-(k_{j_3}^M - 1)}{d_{j_3}^M}} dR, \quad (8)$$

где  $\Delta R$  – реальный сработанный ресурс ЭО;  $R_p$  – реальная наработка ЭО (количество часов, коммутаций и т.п.).

Для пояснения формулы (8) рассмотрим пример. Допустим, единицами наработки для ЭО являются часы, тогда под ресурсом понимается время наработки ЭО до предельного состояния. Тогда формула (8) приобретает вид

$$\Delta T = \int_0^{T_p} e^{\sum_{j_1=1}^{n_1} \frac{-(k_{j_1}^E - 1)}{d_{j_1}^E} + \sum_{j_2=1}^{n_2} \frac{-(k_{j_2}^T - 1)}{d_{j_2}^T} + \sum_{j_3=1}^{n_3} \frac{-(k_{j_3}^M - 1)}{d_{j_3}^M}} dt, \quad (9)$$

где  $T_p$  – реальное время работы ЭО;  $\Delta T$  – фактическое (эквивалентное) время, которое наработало ЭО в данных условиях за время  $T_p$ .

Если коэффициенты тяжести в выражении (9) зависят от времени, то процесс интегрирования усложняется.

Вернемся к выражению (3). Будем считать, что установленный срок службы ЭО соответствует времени, в течение которого ЭО исчерпает свой ресурс. Если единицами наработки являются единицы времени, то понятия установленного срока службы и установленного ресурса эквивалентны. Тогда скорость сработки ресурса определяется выражением

$$v = R_y / T_y, \quad (10)$$

где  $T_y$  – установленный срок службы; если расчет ведется в относительных единицах, то  $R_y = 1$  о.е.

Отметим, что величина  $R_y$  устанавливается для номинального режима работы ЭО, т.е. когда выполняется условие (2). Если же ЭО работает в условиях, отличных от номинальных, то скорость сработки ресурса на этом интервале времени увеличивается. Скорость сработки ресурса на интервале времени  $T_p$  определяется по выражению

$$v = \Delta R / T_p. \quad (11)$$

Подставив (8) в (11), получим

$$v = \frac{1}{T_p} \int_0^{R_p} e^{\sum_{j_1=1}^{n_1} \frac{-(k_{j_1}^E - 1)}{d_{j_1}^E} + \sum_{j_2=1}^{n_2} \frac{-(k_{j_2}^T - 1)}{d_{j_2}^T} + \sum_{j_3=1}^{n_3} \frac{-(k_{j_3}^M - 1)}{d_{j_3}^M}} dR. \quad (12)$$

Единица измерения величины  $v$  зависит от единицы измерения наработки, характерной для данного типа ЭО.

Если единицами наработки являются единицы измерения времени, то величину скорости сработки ресурса  $v$  на отрезке времени  $[0, T_p]$  можно получить в относительных единицах по выражению

$$v = \frac{1}{T_p} \int_0^{T_p} e^{\sum_{j_1=1}^{n_1} \frac{-(k_{j_1}^E - 1)}{d_{j_1}^E} + \sum_{j_2=1}^{n_2} \frac{-(k_{j_2}^T - 1)}{d_{j_2}^T} + \sum_{j_3=1}^{n_3} \frac{-(k_{j_3}^M - 1)}{d_{j_3}^M}} dt. \quad (13)$$

Подставляя значения скоростей в выражение (3), получим зависимость ресурса от времени на данном временном интервале. Качественная зависимость ресурса от времени представлена на рис. 3. Исходя из этого, общая зависимость ресурса от времени будет представлять собой ломаную линию. При ее пересечении с осью времени (рис. 3) наступает окончание установленного срока службы ЭО.

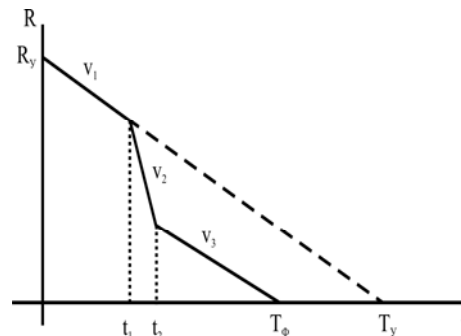


Рис. 3. Качественная зависимость ресурса от времени

Остаточный ресурс при этом определяется по выражению

$$R_{\text{ост}} = 1 - R. \quad (14)$$

Если далее оборудование будет эксплуатироваться в номинальном режиме, то можно рассчитать, сколько времени оно проработает до исчерпания своего ресурса.

Рассмотрим пример для автотрансформатора (АТ). Допустим, АТ может работать в трех режимах: нормальном (будем считать, что в этом режиме через него проходит его номинальная мощность); минимальном (когда через него проходит половина его номинальной мощности) и максимальном (когда через него проходит двойная мощность).

Будем считать, что поток мощности через АТ является единственным параметром, влияющим на его ресурс. Примем следующие исходные данные:  $T_0 = 20$  лет; время работы в году в нормальном режиме  $t_{\text{норм}} = 0,7$  года; в минимальном –  $t_{\text{мин}} = 0,15$  года; в максимальном –  $t_{\text{макс}} = 0,5$  года; коэффициент  $b = 0,3$ .

Тогда изменение ресурса за 20 лет службы АТ рассчитывается по формуле (14):

$$R_1(20t_{\text{норм}}) = +20 \cdot 0,8 \frac{1-1}{20} 2^{0,3} = 0,8 \text{ о.е.};$$

в нормальном режиме

в минимальном режиме

$$R_2(20 \cdot 0,15) = -20 \cdot 0,15 \frac{1}{20} 2^{\frac{|0,5-1|}{0,3}} = 0,476 \text{ о.е.};$$

в максимальном режиме

$$R_3(20 \cdot 0,05) = +20 \cdot 0,05 \frac{1}{20} 2^{\frac{|2-1|}{0,3}} = 0,504 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем суммарный израсходованный ресурс:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 0,8 - 0,476 + 0,504 = 0,828 \text{ о.е.}$$

Определим дополнительное время работы в номинальных условиях:

$$t_{\text{доп}} = (1 - 0,828) \cdot 20 = 3,44 \text{ года}$$

Рассмотрим еще один пример. Допустим, на подстанции, расположенной в зоне с тропическим климатом ( $\vartheta_{\text{охл.ном}} = 35^\circ\text{C}$ ), установлен трансформатор типа ТД-80000/220. Известно, что в течение суток он работал 16 ч с нагрузкой 78 МВА ( $S^* = 0,975 \text{ о.е.}$ ) при температуре охлаждающей среды  $\vartheta_{\text{охл}} = 37^\circ\text{C}$ , или  $\vartheta_{\text{охл}}^* = 0,376 \text{ о.е.}$  (0,101 о.е.), 7,5 ч – с нагрузкой 72 МВА ( $S^* = 0,9 \text{ о.е.}$ ) при  $\vartheta_{\text{охл}} = 17^\circ\text{C}$ , или  $\vartheta_{\text{охл}}^* = 0,173 \text{ о.е.}$  (0,046 о.е.), и 0,5 ч – с нагрузкой 85 МВА ( $S^* = 1,063 \text{ о.е.}$ ) при  $\vartheta_{\text{охл}} = 42^\circ\text{C}$ , или  $\vartheta_{\text{охл}}^* = 0,429 \text{ о.е.}$  (0,114 о.е.). В скобках указаны значения температур для применения формул, основанных на использовании закона Вант Гоффа–Аррениуса. В данном режиме трансформатор проработал все 25 лет своего нормативного срока службы  $R_0$ .

Для данного трансформатора принимаем  $x = 0,9$ ;  $y = 1,6$ ;  $\Delta\vartheta_{\text{м.ном}} = 60^\circ\text{C}$  (60 К), или  $\Delta\vartheta_{\text{м.ном}}^* = 0,612 \text{ о.е.}$  (0,162 о.е.);  $\Delta\vartheta_{\text{ннт.ном}} = 98 - 35 - 60 = 3^\circ\text{C}$ , или  $\Delta\vartheta_{\text{ннт.ном}}^* = 0,031 \text{ о.е.}$  (0,003 о.е.). Найдем коэффициент  $d = 315/79 = 3,987$ .

Рассчитаем фактический сработанный ресурс  $R^*$  по формуле [2]

$$R^* = R_0 + \sum_{j=1}^K R_j^* e^{\frac{\vartheta_{\text{охл}}^* + \Delta\vartheta_{\text{м.ном}}^* \left[ \frac{1+d(S^*)^2}{1+d} \right]^x + \Delta\vartheta_{\text{ннт.ном}}^* (S^*)^y - 1}{\Delta\vartheta^*}} - 1, \quad (15)$$

$$R^* = 1 + \frac{16}{8760} 365 e^{\frac{0,376+0,612 \left[ \frac{1+3,987(0,975)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(0,975)^{1,6} - 1}{0,088}} - 1 +$$

$$+ \frac{7,5}{8760} 365 e^{\frac{0,173+0,612 \left[ \frac{1+3,987(0,9)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(0,9)^{1,6} - 1}{0,088}} - 1 +$$

$$+ \frac{0,5}{8760} 365 e^{\frac{0,429+0,612 \left[ \frac{1+3,987(1,063)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(1,063)^{1,6} - 1}{0,088}} - 1 = 0,745 \text{ о.е.}$$

Предположив, что данный трансформатор имеет изоляцию класса А, величина  $\Delta X_g = -1,053 \text{ 1/К}$ , как и в предыдущем примере. Тогда

$$\Delta X_g^* = \Delta X_g / (1/371) = 1,053 \cdot 371 = 390,663 \text{ о.е.}$$

Рассчитаем фактический сработанный ресурс  $R^*$  трансформатора при тех же условиях эксплуатации по формуле [2]

$$R^* = R_0 + \sum_{j=1}^K R_j^* e^{\frac{0,264 - \vartheta_{\text{охл}}^* - \Delta\vartheta_{\text{м.ном}}^* \left[ \frac{1+d(S^*)^2}{1+d} \right]^x - \Delta\vartheta_{\text{ннт.ном}}^* (S^*)^y}{\Delta X_g^* \left[ 0,736 + \vartheta_{\text{охл}}^* + \Delta\vartheta_{\text{м.ном}}^* \left[ \frac{1+d(S^*)^2}{1+d} \right]^x + \Delta\vartheta_{\text{ннт.ном}}^* (S^*)^y \right]} - 1}, \quad (16)$$

$$R^* = 1 + \frac{16 \cdot 365}{8760} e^{\frac{0,264 - 0,376 - 0,162 \left[ \frac{1+3,987(0,975)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} - 0,031(0,975)^{1,6}}{390,663 \left[ 0,736 + 0,376 + 0,162 \left[ \frac{1+3,987(0,975)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(0,975)^{1,6} \right]} - 1} +$$

$$+ \frac{7,5}{8760} 365 e^{\frac{0,264 - 0,173 - 0,162 \left[ \frac{1+3,987(0,9)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} - 0,031(0,9)^{1,6}}{390,663 \left[ 0,736 + 0,173 + 0,162 \left[ \frac{1+3,987(0,9)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(0,9)^{1,6} \right]} - 1} +$$

$$+ \frac{0,5}{8760} 365 e^{\frac{0,264 - 0,429 - 0,162 \left[ \frac{1+3,987(1,063)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} - 0,031(1,063)^{1,6}}{390,663 \left[ 0,736 + 0,429 + 0,162 \left[ \frac{1+3,987(1,063)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(1,063)^{1,6} \right]} - 1} = 1,00031 \text{ о.е.}$$

В именованных единицах фактический сработанный ресурс будет равен  $R = 0,745 \cdot 25 = 18,625$  лет и  $R = 1,00031 \cdot 25 = 25,008$  лет.

Нормативный остаточный ресурс определится как  $R_{\text{ост}}^* = 1 - 0,745 = 0,255 \text{ о.е.}$ , или  $R_{\text{ост}} = 25 - 18,625 = 6,375$  лет. Это справедливо, если далее трансформатор в течение суток будет работать с номинальной нагрузкой 80 МВА и температурой ННТ  $98^\circ\text{C}$ .

Предположим, что такой режим работы трансформатора сохранится и далее. Тогда фактический остаточный ресурс рассчитаем по формуле [2]

$$R_{\text{ост}}^* = R_{0,\text{ост}}^* - \sum_{j=1}^K R_j^* \left( e^{\frac{\vartheta_{\text{охл}}^* + \Delta \vartheta_{\text{м.ном}}^* \left[ \frac{1+d(S^*)^{2-x}}{1+d} \right] + \Delta \vartheta_{\text{нт.ном}}^* (S^*)^y - 1}{\Delta \vartheta^*}} - 1 \right), \quad (17)$$

$$R^* = 0,255 - \left[ \frac{16}{8760} 365 e^{\frac{0,376+0,612 \left[ \frac{1+3,987(0,975)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(0,975)^{1,6} - 1}{0,088}} - 1 \right] +$$

$$+ \frac{7,5}{8760} 365 \left( e^{\frac{0,173+0,612 \left[ \frac{1+3,987(0,9)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(0,9)^{1,6} - 1}{0,088}} - 1 \right) +$$

$$+ \frac{0,5}{8760} 365 \left( e^{\frac{0,429+0,612 \left[ \frac{1+3,987(1,063)^2}{1+3,987} \right]^{0,9} + 0,031(1,063)^{1,6} - 1}{0,088}} - 1 \right) = 1,25 \text{ о.е.}$$

В именованных единицах фактический остаточный ресурс будет равен  $R_{\text{ост}} = 1,25 \cdot 25 = 31,25$  лет.

Назарычев Александр Николаевич,  
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,  
 доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электрических станций, подстанций  
 и диагностики электрооборудования,  
 телефон (4932) 26-99-43,  
 e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Андреев Дмитрий Александрович,  
 ОАО «Зарубежэнергопроект»,  
 кандидат технических наук, ведущий инженер  
 телефон (4932) 26-99-43,  
 e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Блудов Алексей Юрьевич,  
 АО «ИВЭНЕРГО»,  
 диспетчер,  
 телефон (4932) 26-99-43,  
 e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Педро Антонио,  
 ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина»,  
 аспирант кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,  
 телефон (4932) 26-99-43,  
 e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Таким образом, при условии, что трансформатор в течение суток всегда будет работать с нагрузками и температурами охлаждающей среды, указанными в данном примере, то его полная наработка до предельного состояния составит  $18,625 + 31,25 = 49,875$  лет (т.е. почти 50 лет).

### Заключение

Разработанная математическая модель оценки ресурса ЭО с учетом условий эксплуатации позволяет рассчитать фактический сработанный ресурс работы ЭО с учетом влияния температуры охлаждающей среды и нагрузки.

Результаты произведенных показательных расчетов для АТ, работающего с температурой охлаждающей среды  $20^{\circ}\text{C}$ , и для трансформатора, работающего с температурой охлаждающей среды  $35^{\circ}\text{C}$  (в зоне с тропическим климатом), показали, что ресурс работы трансформаторов напрямую зависит от температуры охлаждающей среды, снижающей срок службы трансформатора в зонах с повышенной температурой.

### Список литературы

1. Надежность систем энергетики. Терминология. Вып. 95. – М.: Наука, 1980.
2. Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005.