

Исследование влияния температуры окружающей среды на расход ресурса электрооборудования

Назарычев А.Н., д-р техн. наук, Андреев Д.А., канд. техн. наук, Педро Антонио, асп., Киреев Е.А. студ.

Рассмотрены два подхода к оценке ресурса электрооборудования с учетом влияния температуры окружающей среды.

Ключевые слова: электрооборудование, ресурс, надежность, температурный фактор.

Study of the influence of the temperature surrounding ambiances on consumption of the resource of the electro equipment

Two approaches to resources assessment of electrical equipment taking into account temperature of ambient environment influence are considered in the article.

Keywords: electrical equipment, resource, reliability, temperature factor.

Традиционно и до настоящего времени используется планово-предупредительная система ремонтов электрооборудования (ППР). На данном этапе развития применение ППР способствует медленному адаптивному электроэнергетической отрасли к реформе. Кроме того, это приводит к дополнительным затратам. Поэтому все чаще внедряются диагностические мероприятия, позволяющие не только определить наиболее оптимальную дату вывода в ремонт электрооборудования, но и предупредить возможное развитие аварии в системе. Опыт показывает, что осуществить мгновенный переход от ППР к диагностическим методикам определения сроков ремонта невозможно.

В качестве интегральной оценки технического состояния электрооборудования целесообразно выбрать величину технического ресурса R [1]. Технический ресурс – это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации до перехода в предельное состояние, а наработка определяется как продолжительность или объем работы объекта. Предельным называется состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за неустранимого нарушения требований безопасности, или неустранимого снижения уровня работоспособности, или недопустимого снижения уровня эксплуатации.

Для разных типов электрооборудования наработка может быть измерена в различных единицах: для трансформаторов – в годах, для выключателей – в количестве коммутаций и т.д.

Причиной изменения величины ресурса является снижение уровня технологического состояния под действием эксплуатационных факторов: режимов и условий работы. В зависимости от интенсивности воздействующих факторов, характера условий и режимов работы, сработка ресурса электрооборудования

происходит 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 – вибросмещение, 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 электрооборудования.

Ниже рассматривается математическая модель с учетом влияния температуры окружающей среды на ресурс электрооборудования.

Оценка ресурса электрооборудования с учетом температурного фактора [1] рассчитывается следующим образом:

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

где $k_i = \frac{X_i}{X_i^{НОМ}}$ – коэффициент тяжести режима –

отношение текущего и номинального значения i -го параметра (в данном случае отношение реальной и номинальной температуры); d_i – относительное отклонение температурного фактора, при котором ресурс электрооборудования меняется в e раз.

В самом общем случае величина d_i может меняться в зависимости от k_i , т.е. $d_i = f(k_i)$ (рис. 1). Однако для упрощения в дальнейших расчетах принимаем, что $d_i = \text{const}$ ($d_i = \{0, 1; 0,5; 1; 2; 5; 10\}$) при любом значении k_i . Величина k_i в общем случае также может быть непостоянной и зависеть от величины наработки, а чаще – от времени.

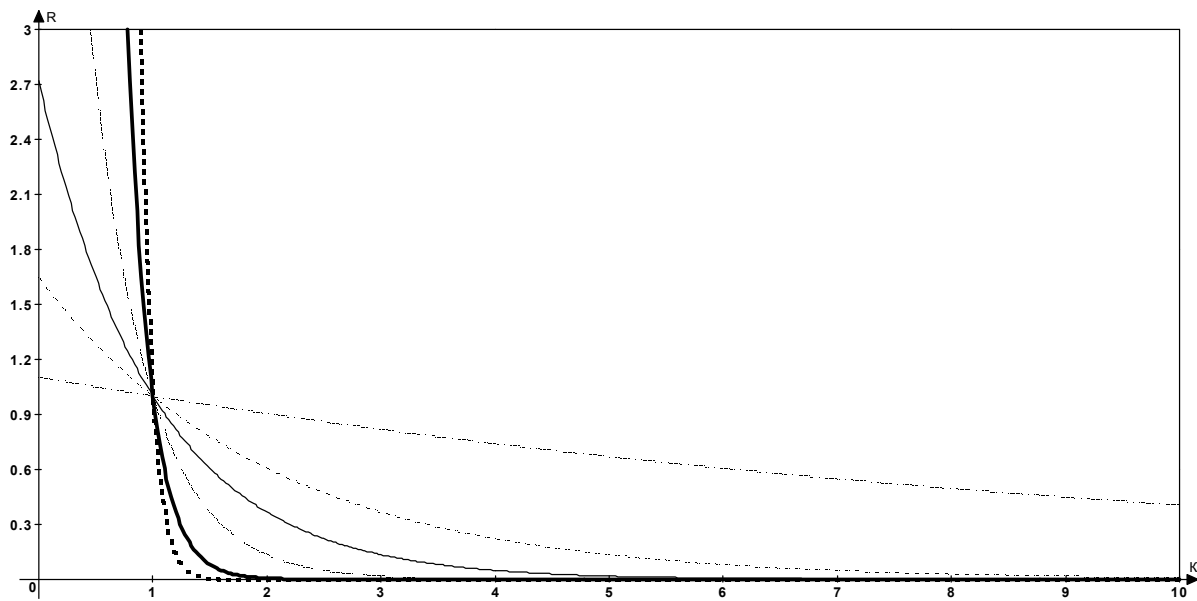


Рис. 1. Зависимость технического ресурса электрооборудования R^* от коэффициента тяжести режима k , при $d_i = \{0,1; 0,5; 1; 2; 5; 10\}$: ----- $d=0,1$; — $d=0,5$; - - - $d=1$; — $d=2$; ----- $d=5$; ----- $d=10$

Рассмотрим пример для трансформатора типа ТДЦ-80000/110. Пусть он постоянно работает с номинальной мощностью $S = 80$ МВА ($S^* = 1$). В данном режиме трансформатор проработал все 25 лет своего нормативного срока службы R_0 . Для трансформатора принимаем: $x = 1$; $y = 1,8$; $d = 5$; $\Delta\vartheta_{м.ном} = 40$ °С (40 К)

или $\Delta\vartheta_{м.ном}^* = 0,408$ о.е. (0,108 о.е.); $\Delta\vartheta_{ННТ.ном} = 38$ °С (38 К) или $\Delta\vartheta_{ННТ.ном}^* = 0,388$ о.е. (0,102 о.е.); $\Delta\vartheta = 98 - \vartheta_{окр}$ или $\Delta\vartheta^* = (98 - \vartheta_{окр})/98$ о.е.

Произведем расчет ресурса трансформатора при изменении $\vartheta_{окр}$ от -25 °С до 30 °С (см. таблицу) [1].

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

где $R_{факт}^*$ – фактически сработанный ресурс в относительных единицах трансформатора за весь нормативный эксплуатационный срок, о.е.; $R_{факт} = R^* \cdot 25$ – фактически сработанный ресурс в именованных единицах трансформатора за весь нормативный эксплуатационный срок, год; $R_{ост}^* = 1 - R_{факт}^*$ – остаточный ресурс трансформатора в относительных единицах, о.е.; $R_{ост} = 25 - R_{факт}$ – остаточный ресурс трансформатора в именованных единицах, год.

Аналогичные результаты наблюдаются при использовании следующего выражения [2]:

$$L = A e^{\frac{B}{T}}, \quad (3)$$

где L – срок службы или сохраняемость электрооборудования; T – температура, К; A , B – постоянные коэффициенты, зависящие от природы материала и условий применения, определяемые экспериментально для конкретного материала (группы, системы материалов) или изделия;

Результаты расчета

$\vartheta_{окр},$ °С	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
$R_{факт}^*,$ о.е.	0,69	0,71	0,73	0,76	0,78	0,82	0,85	0,89	0,94	1	1,07	1,16
$R_{факт},$ год	17,3	17,8	18,3	18,9	19,6	20,4	21,3	22,3	23,5	25	26,8	29
$R_{ост}^*,$ о.е.	0,31	0,29	0,27	0,24	0,22	0,18	0,15	0,11	0,06	0	-	-
$R_{ост},$ год	7,7	7,2	6,7	6,1	5,4	4,6	3,7	2,7	1,5	0	-	-

$$B = \frac{E_3}{R}, \quad (4)$$

где E_3 – эффективная энергия активации процесса, вызывающего отказ, определяемая экспериментально для конкретного материала (группы, системы материалов) или изделия; $R = 8,314$ Дж/(моль·К) – универсальная газовая постоянная.

В выражении (3) не учтено влияние влажности воздуха и воздействия агрессивных сред.

На рис. 2–5 приведены зависимости срока службы электрооборудования от температуры окружающей среды при различных постоянных коэффициентах A и B .

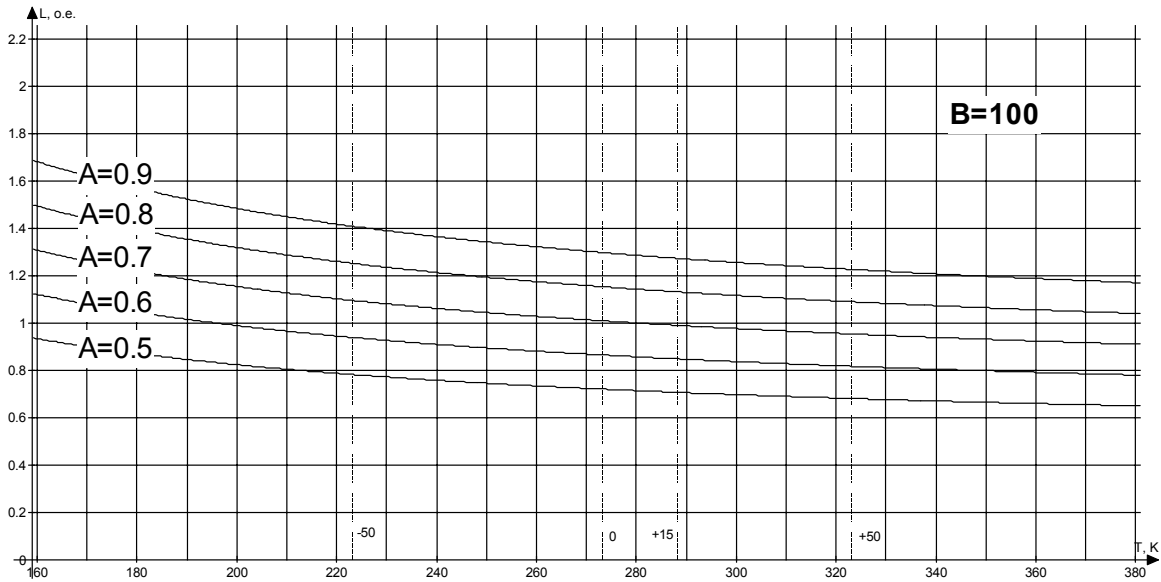


Рис. 2. Зависимости срока службы электрооборудования от температуры окружающей среды при $B = 100$ и $A = \{0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9\}$

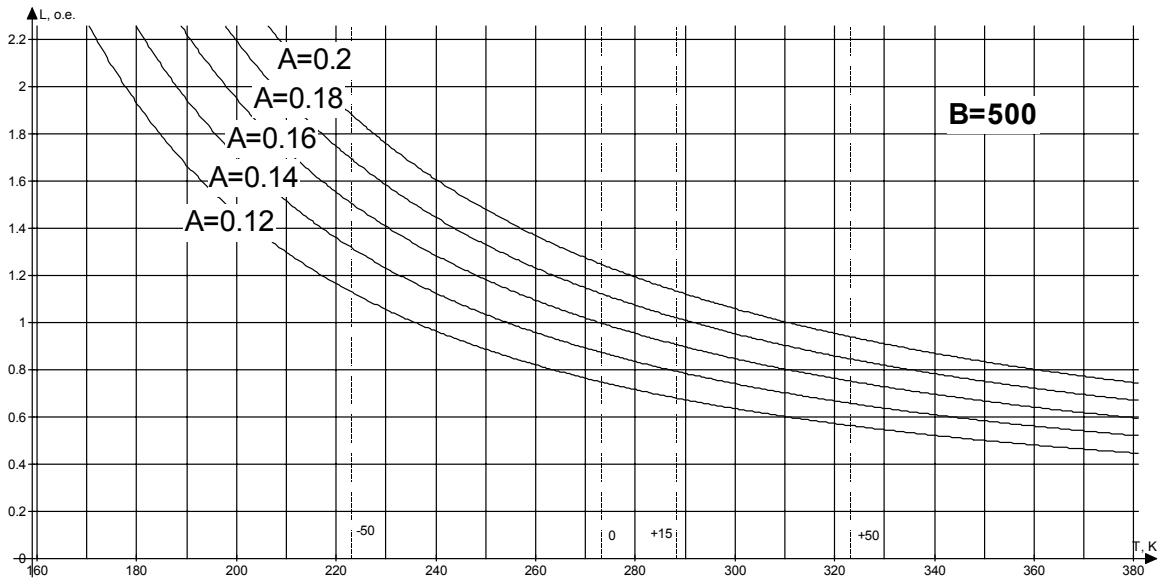


Рис. 3. Зависимости срока службы электрооборудования от температуры окружающей среды при $B = 500$ и $A = \{0,12; 0,14; 0,16; 0,18; 0,2\}$

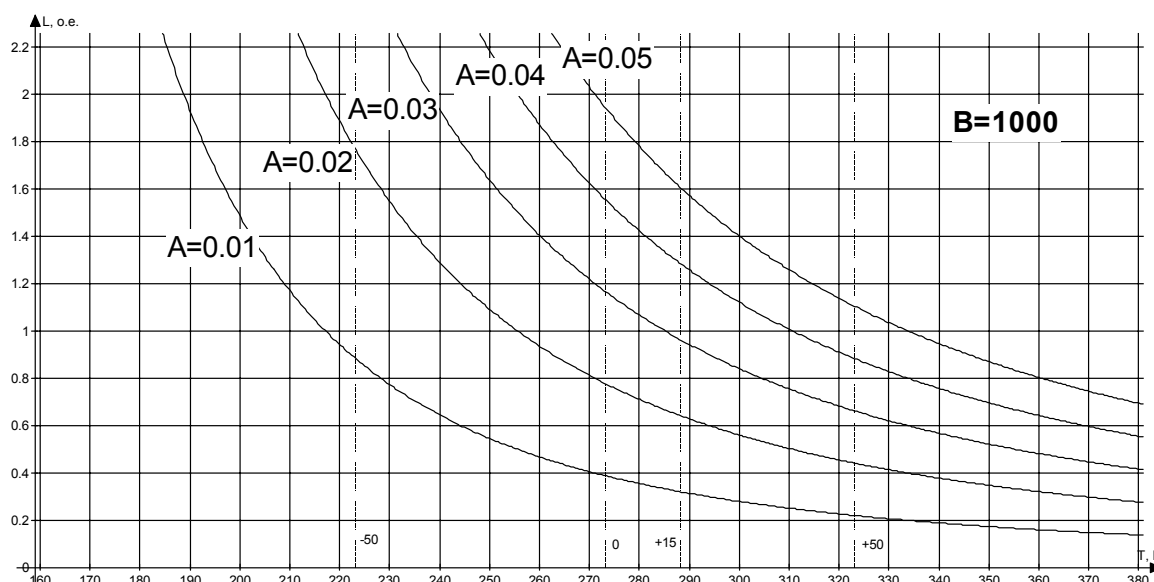


Рис. 4. Зависимости срока службы электрооборудования от температуры окружающей среды при $B = 1000$ и $A = \{0,01; 0,02; 0,03; 0,04; 0,05\}$

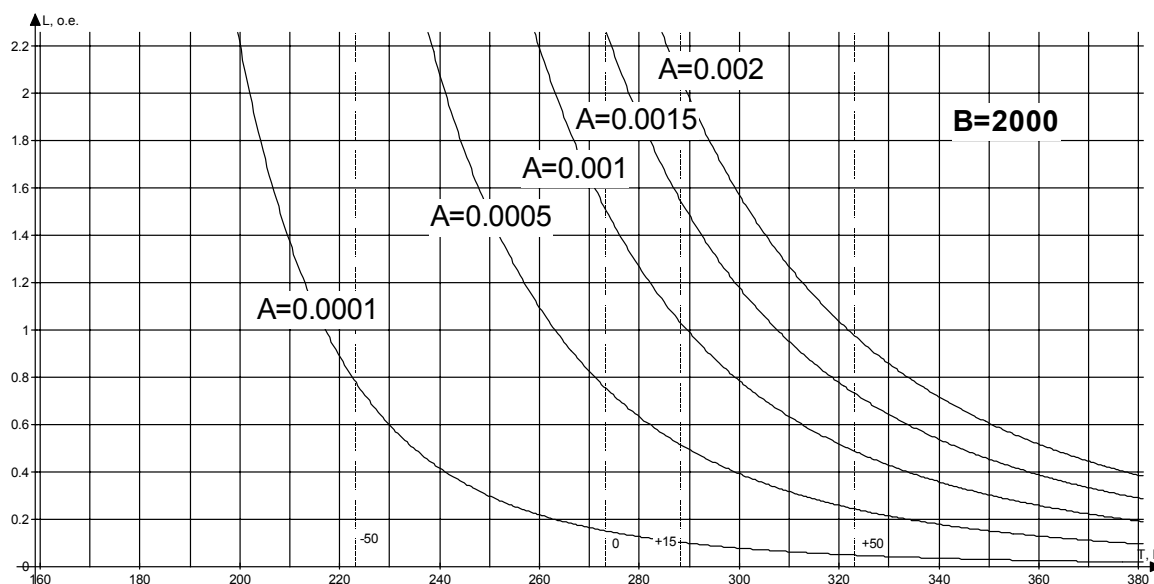


Рис. 5. Зависимости срока службы электрооборудования от температуры окружающей среды при $B = 2000$ и $A = \{0,0001; 0,0005; 0,001; 0,0015; 0,002\}$

Анализ графиков показывает, что срок службы электрооборудования экспоненциально зависит от температуры окружающей среды. Поэтому для предотвращения изнашивания электрооборудования, поддержания его ресурса на необходимом уровне и планирования рациональных сроков ремонта необходимо учитывать температурный фактор.

Заклучение

Таким образом, математические модели и расчеты, приведенные в [1], полностью подтверждаются эксплуатационной практикой, представленной в нормативном документе [2]. Теоретическая модель [1] позволяет рассчи-

тать фактический сработанный и остаточный ресурс электрооборудования с учетом влияния температуры окружающей среды. Результаты произведенных расчетов для трансформатора в зависимости от данного фактора показали, что ресурс работы трансформаторов зависит от температуры окружающей среды. Это подтверждается и на практике. Срок службы трансформатора в районах с повышенной температурой снижается в среднем на 2,5 % при увеличении температуры на 10°C . На основании выше изложенного можно сделать вывод о возможности реального, постепенного перехода ремонта электрооборудования от ППР к ремонтам на основании методов и

средств диагностики с учетом температурного фактора.

Список литературы

1. Назарычев А.Н., Андреев Д.А. Методы и математические модели комплексной оценки технического со-

стояния электрооборудования / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2005.

2. ГОСТ 15150-69. Исполнение для различных климатических районов. Категории, условия эксплуатации, хранения и транспортирования в части воздействия климатических факторов внешней среды. – Введ. 01.01.71 – М.: Госстандарт СССР: ИПК Изд-во стандартов, 1969.

Назарычев Александр Николаевич,
Ивановский государственный энергетический университет,
доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,
e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Андреев Дмитрий Александрович,
ОАО «Зарубежэнергопроект»
кандидат технических наук, начальник группы ЭТО,
e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Педро Антонио,
Ивановский государственный энергетический университет,
аспирант кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,
e-mail: kafedra@esde.ispu.ru

Киреев Евгений Александрович,
Ивановский государственный энергетический университет,
студент кафедры электрических станций, подстанций и диагностики электрооборудования,
e-mail: kafedra@esde.ispu.ru