

**ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ
ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ПРОДОЛЖЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ
ОТСЛУЖИВШИХ СВОЙ НОРМАТИВНЫЙ СРОК
ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Короткевич М. А. – д. т. н., профессор,
Старжинский А. Л. – к. т. н., доцент,
Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь

Аннотация: в распределительных электрических сетях эксплуатируется значительное число трансформаторов, срок службы которых превысил нормативные 25 лет. Данное обстоятельство обуславливает необходимость в технико-экономическом анализе для принятия решения о целесообразности дальнейшей эксплуатации этого оборудования в сравнении с его заменой на новое. Учитывая, что сетевые трансформаторы функционируют при неполной загрузке (30–40 % от номинальной), температурный режим их изоляции не достигает предельно допустимых значений. Это, в свою очередь, приводит к тому, что деградация изоляции и сокращение ее ресурса происходят крайне медленно.

Ключевые слова: трансформатор, ток короткого замыкания, ток холостого хода, эксплуатационные расходы, срок окупаемости

**TECHNICAL AND ECONOMIC JUSTIFICATION
OF THE FEASIBILITY OF CONTINUING THE OPERATION
OF TRANSFORMERS THAT HAVE REACHED THE END
OF THEIR SERVICE LIFE**

Korotkevish M. A. – Doctor of technical sciences, Professor,
Starzhinsky A. L. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Belarusian National Technical University,
Minsk, Republic of Belarus

Abstract: a significant number of transformers in operation in electrical distribution networks have exceeded the standard 25-year service life. This circumstance necessitates a feasibility study to determine the feasibility of continued operation of this equipment versus replacement. Given that network transformers operate at partial load (30–40 % of the nominal load), the temperature range of their insulation does not reach the maximum permissible values. This, in turn, leads to insulation degradation and a reduction in its service life occurring extremely slowly.

Keywords: transformer, short-circuit current, no-load current, operating costs, payback period.

По завершении нормативного срока эксплуатации силовых трансформаторов для дальнейшего обеспечения электроснабжения потребителей рассматриваются два основных сценария: замена оборудования, отслужившего свой срок, на новое, либо продление его использования на определенный период времени t . Продолжение эксплуатации трансформатора сверх установленного срока службы является допустимым, если фактический износ его изоляции оказывается ниже нормативного. Такой вывод делается на основе анализа нагрузочного режима, имевших место перегрузок и воздействия сквозных токов короткого замыкания. Данный подход позволяет отсрочить значительные капитальные вложения. Кроме того, наблюдается повышение потерь мощности холостого хода (ΔP_x) по сравнению с аналогичным показателем у новых моделей трансформаторов (ΔP_{x1}) [1]. Несмотря на временное продление эксплуатации, замена трансформатора, отработавшего свой нормативный срок, в будущем неизбежна, хотя и произойдет, предположительно, ранее окончания следующего полного нормативного срока службы. Таким образом, происходит отсрочка инвестиций в реконструкцию подстанции на время t . Объем требуемых капиталовложений для реализации сценария продления эксплуатации ($K_{\text{прод}}$) рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{прод}} = K_1(1 + E)^{-t}, \quad (1)$$

где K_1 – стоимость нового трансформатора для замены существующего в момент окончания срока его службы; E – коэффициент эффективности капиталовложений.

Расходы на текущие, капитальные ремонты и техническое обслуживание при продолжении эксплуатации отработавшего свой срок службы трансформатора будем считать увеличенным в два раза. Доля отчислений от стоимости отработавшего трансформатора на указанные цели будет равна $2(2,9+3,0) = 11,8\%$ [1]. Таким образом, эксплуатационные расходы при продолжении эксплуатации отработавшего нормативный срок трансформатора $I_{\text{прод}}$ будут равны:

$$I_{\text{прод}} = \Delta P_x 8760\beta + 0,118K, \quad (2)$$

где K – первоначальная бывшая стоимость отработавшего свой нормативный срок трансформатора;

β – стоимость одного киловатт-часа потерянной электроэнергии.

При замене работающих трансформаторов новыми потребуются капиталовложения на демонтаж K_d отработавших трансформаторов, приобретение и монтаж новых трансформаторов K_1 , отличающихся вместе с тем сниженными (по сравнению с установленным трансформатором) потерями мощности холостого хода ($\Delta P_{x1} < \Delta P_x$), т. е.

$$K_{\text{нов}} = K_d + K_1 = 0,2K + K_1, \quad (3)$$

$$I_{\text{нов}} = \Delta P_{x1} 8760\beta + 0,094K_1. \quad (4)$$

Срок окупаемости $t_{\text{ок}}$ капитальных вложений по более дорогому варианту, с меньшими эксплуатационными затратами, т.е. при замене отработавших трансформаторов новыми определяется как:

$$t_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{нов}} - K_{\text{прод}}}{I_{\text{прод}} - I_{\text{нов}}} \leq t_{\text{ок}}^{\text{норм}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{ок}}^{\text{норм}} = 1/E$ – нормативное значение срока окупаемости; при $E = 0,0975$ значение $t_{\text{ок}}^{\text{норм}} = 10,5$ лет. Оценим целесообразность продолжения эксплуатации отработавших свой нормативный срок трансформаторов с высшим напряжением 35 кВ мощностью 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 МВА. Сегодняшняя стоимость указанных новых трансформаторов K_I соответственно равна 17334,8 у.е.; 19501,6 у.е.; 22751,9 у.е.; 23835,3 у.е. Бывшая первоначальная стоимость трансформаторов K на данное напряжение и мощность 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 МВА в соответствии с [1], равна соответственно 5777,8 у.е.; 6660 у.е.; 9657 у.е.; 12555 у.е. При намерении продолжить эксплуатацию отработавшего свой срок трансформатора в течении нескольких (до 25 лет), капитальные затраты за счет отдаления момента модернизации подстанции $K_{\text{прод}}$ будут равны (1) 1785,48 у.е.; 2008,66 у.е.; 2343,4 у.е.; 2455,04 у.е. соответственно для трансформаторов мощностью 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 МВА. При замене работающих трансформаторов новыми, значение $K_{\text{нов}}$ (3) будет равно 18490,4 у.е.; 20834,9 у.е.; 24685,2 у.е.; 26093,0 у.е. соответственно для трансформаторов мощностью 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 МВА. Потери мощности холостого хода у двухобмоточных трансформаторов с высшим напряжением 35 кВ равны 3,65; 5,10; 6,7; 9,4; кВт соответственно для трансформаторов мощностью 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 МВА. В результате использования новых трансформаторов, у которых потери мощности холостого хода будут меньшими и составят в конце второго нормативного срока (2050 года) 2,0; 2,29; 3,17 и 4,82 кВт, то применительно к трансформаторам мощностью 1,6; 2,5; 4,0; 6,3 МВА $I_{\text{прод}}$, $I_{\text{нов}}$ определяется по (формулам (2) и (4)): – для трансформаторов мощностью 1,6 МВА разность $I_{\text{прод}} - I_{\text{нов}} < 0$; – для трансформатора мощностью 2,5 МВА $I_{\text{прод}} - I_{\text{нов}} = 360,3$ у.е. и $t_{\text{ок}} = 52$ года $> t_{\text{ок}}^{\text{норм}}$; – для трансформатора мощностью 4,0 МВА $I_{\text{прод}} - I_{\text{нов}} = 811,1$ у.е. и $t_{\text{ок}} = 52$ года $> t_{\text{ок}}^{\text{норм}}$; – для трансформатора мощностью 6,3 МВА $I_{\text{прод}} - I_{\text{нов}} = 1726$ у.е. и $t_{\text{ок}} = 15,4$ года $> t_{\text{ок}}^{\text{норм}}$.

Из полученных результатов видно, что, хотя с увеличением мощности отработавших трансформаторов с высшим напряжением 35 кВ срок окупаемости средств, истраченных на их замену снижается, но остается большим нормативного. Это не позволяет однозначно ответить на вопрос об эффективности замены отработавшего свой срок трансформатора новым.

Список литературы

1. Назарычев, А. Н. Методы и математические модели комплексной оценки технического состояния электрооборудования / А. Н. Назарычев, Д. А. Андреев. – Иваново: ГОУ ВПО «Иван. гос. энерг. ун-т им. В. И. Ленина», 2005. – 224 с.