

УДК 621.315.052.7 – 621.395.14

О.Н. СИНЧУК (д-р техн. наук, проф.), **Э.С. ГУЗОВ** (канд. техн. наук, доц.),**И.О. СИНЧУК** (канд. техн. наук, доц.), **Р.А. ПАРХОМЕНКО**

Государственное высшее учебное заведение

«Криворожский национальный университет»

speet@ukr.net

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ УЧАСТКОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

Произведена оценка потерь электрической энергии в шахтных трансформаторах типа ТСВ в зависимости от степени их загрузки. Определены оптимальные значения коэффициентов загрузки трансформаторов различной мощности в зависимости от их стоимости и стоимости электроэнергии.

Ключевые слова: шахтные подстанции, сухие трансформаторы, оптимальные режимы.

Постановка проблемы. Более 25% электрической мощности, потребляемой подземными потребителями железорудных шахт, приходится на добычные участки, питаемые от участковых электрических подстанций (УПП). УПП отечественных железорудных шахт обычно комплектуются двумя трансформаторами типа ТСВ мощностью от 160 до 400 кВА. При этом в настоящее время, как правило, в рабочем режиме находится лишь один трансформатор, второй является резервным.

Анализ предыдущих исследований и публикаций. Результаты исследований, в том числе авторов, показали, что рабочие трансформаторы УПП железорудных шахт Криворожского горнодобывающего региона в настоящее время в течение суток загружены на 10-30% от номинального значения, что по предварительной оценке является негативным явлением и требует детального рассмотрения.

Формулирование целей статьи. Определение оптимальных по критерию минимума затрат значений коэффициентов загрузки шахтных трансформаторов подземных участковых подстанций с учетом их стоимости и стоимости электроэнергии.

Изложение основного материала. На рис. 1 представлены рассчитанные зависимости значений коэффициента полезного действия (η) от коэффициента загрузки (K_3) для трансформаторов серии ТСВ. Коэффициент полезного действия (КПД) рассчитывается следующим образом [1,2]:

$$\eta = P_2 / P_1 = P_2 / (P_1 + \Delta P_T), \quad (1)$$

где ΔP_T – потери активной мощности в трансформаторе:

$$\Delta P_T = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2, \quad (2)$$

P_1 – мощность, поступающая из сети;

P_2 – мощность, отдаваемая трансформатором во вторичную сеть.

Активная мощность на выходе трансформатора:

$$P_2 = K_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi), \quad (3)$$

где $S_{ном}$ – номинальная мощность трансформатора.

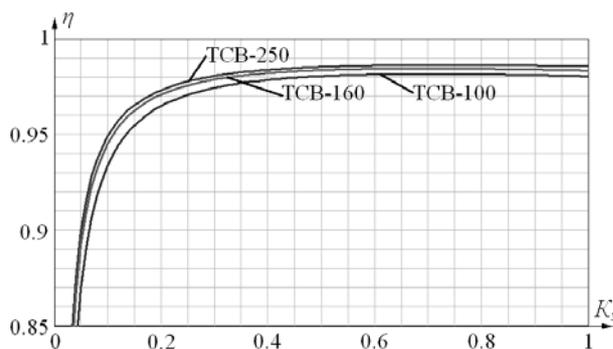


Рисунок 1 – Зависимости значений КПД (η) от коэффициента загрузки (K_3) для трансформаторов серии ТСВ

Как видно из полученных результатов, максимальное значение КПД для этой серии трансформаторов находится при коэффициенте загрузки в пределах $K_3=0,7-0,75$, что подтверждается теоретическими расчетами

полученными путем дифференцирования функции $\eta = f(K_3)$ и приравняв $d\eta/dK_3$ к нулю. Таким образом, из (1) можно найти коэффициент загрузки трансформатора соответствующий условию минимума потерь электрической энергии в трансформаторах:

$$\frac{d\eta}{dK_3} = \left(\frac{P_2}{P_2 - \Delta P_T} \right)' = \left(\frac{K_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi)}{K_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi) - (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2)} \right)' = 0, \quad (4)$$

$$K_{3МП} = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}. \quad (5)$$

По результатам эксплуатации трансформаторов ТСВ-250 в участковых подстанциях известно, что их реальный среднесуточный коэффициент загрузки находится в диапазоне 15-30% (37-75 кВА), что не соответствует условию минимума потерь электрической энергии (5). При этом трансформатор имеет также потери реактивной мощности [1,2]:

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 = \frac{I_{XX}}{100} S_{ном} + \frac{U_{K3}}{100} S_{ном} \cdot K_3^2, \quad (6)$$

Зависимость потерь активной и реактивной мощности для всего диапазона нагрузок анализируемого трансформатора ТСВ-250 можно увидеть на рис. 2.

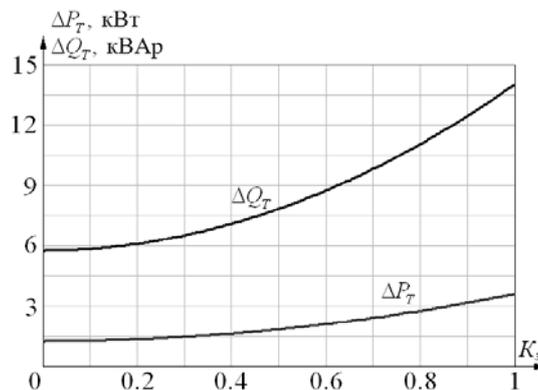


Рисунок 2 – Зависимость потерь активной и реактивной мощностей от коэффициента загрузки трансформатора ТСВ-250

Сравнивая потери активной мощности нескольких трансформаторов серии ТСВ (рис. 3 и 4), можно сделать вывод, что в зависимости от диапазона рабочих нагрузок для уменьшения потерь могут быть использованы трансформаторы как большей, так и меньшей номинальной мощности. Например, в диапазоне нагрузки от 0 до 60 кВт целесообразно использовать трансформатор ТСВ-100, в диапазоне 60-110 кВт – ТСВ-160, а для 110-250 кВт – ТСВ-250. Если же рабочий диапазон нагрузок не находится полностью в одном из перечисленных диапазонов, то необходимо проведение дополнительных расчетов. Для уменьшения потерь реактивной мощности прослеживается четкая закономерность, которая заключается в предпочтительной установке трансформатора с наименьшей номинальной мощностью.

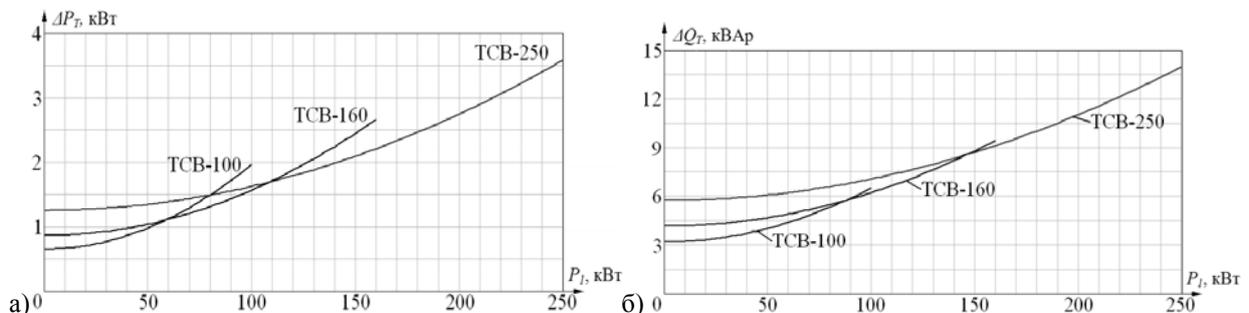


Рисунок 3 – Потери мощности в трансформаторах серии ТСВ:
а) потери активной мощности; б) потери реактивной мощности

При проектировании и эксплуатации систем промышленного электроснабжения следует также стремиться к максимально возможному использованию установленной трансформаторной мощности. Критерием экономической эффективности при выборе мощности трансформатора является минимум приведенных годовых затрат:

$$Z = \frac{K}{n} + (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) \cdot T_G \cdot C_3, \quad (7)$$

где K – стоимость трансформатора, грн ($K=130000$ для ТСВ-250/6, $K=115000$ для ТСВ-160/6 и $K=100000$ для ТСВ-100/6); n – рассматриваемый срок службы трансформатора, лет ($n=25$); T_G – количество часов работы трансформатора в году, час ($T_G = 8760$); C_3 – стоимость электроэнергии, грн/(кВт·ч).

На рис. 4 приведена зависимость удельных приведенных затрат $Z_{уд} = Z/S$ грн/кВА (где S — отдаваемая трансформатором мощность, кВА) трансформатора от коэффициента загрузки, построенная для $T_G = 8760$ часов и $C_3 = 0,8$ грн/(кВт·ч). Из него видно, что удельные приведенные затраты резко возрастают при коэффициенте загрузки, менее 0,3.

Дифференцируя функцию $Z_{уд} = f(K_3)$ и приравнявая $dZ_{уд} / dK_3$ нулю, коэффициент загрузки трансформатора, соответствующий минимуму удельных приведенных затрат будет равняться:

$$\frac{dZ_{уд}}{dK_3} = \left(\frac{\frac{K}{n} + (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) \cdot T_G \cdot C_3}{S_{ном} \cdot K_3} \right)' = 0, \quad (8)$$

$$K_{3мз} = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}} + \frac{K}{n \cdot C_3 \cdot T_G \cdot \Delta P_{K3}}}. \quad (9)$$

Из (5) и (9) следует, что $k_{3мз}$ превышает коэффициент загрузки, соответствующий минимуму потерь $k_{3мп}$. Эта разница зависит от стоимости электроэнергии C_3 , и одновременных капитальных вложений в трансформатор.

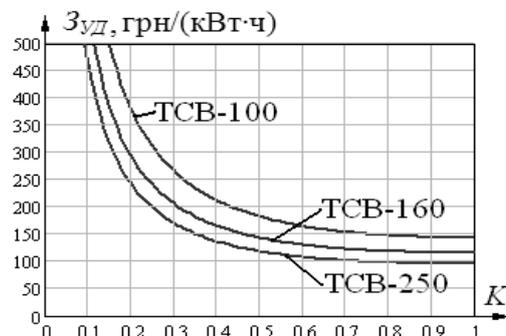


Рисунок 4 – Зависимость удельных приведенных затрат $Z_{уд}$ от коэффициента загрузки трансформаторов серии ТСВ

Если учесть, что стоимость электроэнергии не является постоянной, то зависимость оптимального по минимуму коэффициента загрузки $k_{3мз}$ трансформатора от стоимости электроэнергии C_3 будет изменяться согласно кривых (рис. 5). Характер изменения кривой показывает, что с увеличением стоимости электрической энергии $k_{3мз}$ уменьшается и что рассматриваемые трансформаторы типа ТСВ целесообразно загружать практически на номинальную мощность.

Такая ситуация объясняется высокой стоимостью шахтных трансформаторов во взрывоопасном исполнении. Для железорудных шахт давно назрела потребность применения сухих трансформаторов и передвижных подстанций в рудничном нормальном исполнении. Возможно также применение сухих трансформаторов общего назначения, выпускаемых например, Хмельницким заводом «Укрэлектроаппарат» [3]. Однако эти предложения требуют отдельных разработок и исследований.

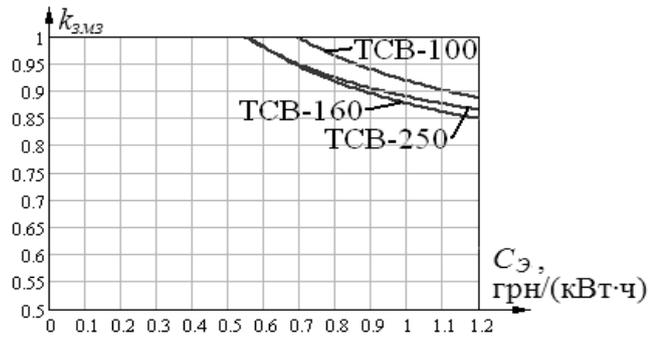


Рисунок 5 – Зависимость эффективного коэффициента загрузки трансформаторов серии TCB от стоимости электроэнергии

В свою очередь полученные расчетные значения экономически целесообразных режимов загрузки трансформаторов TCB-250/6, TCB-160/6 и TCB-100/6 приведены на рис. 6.

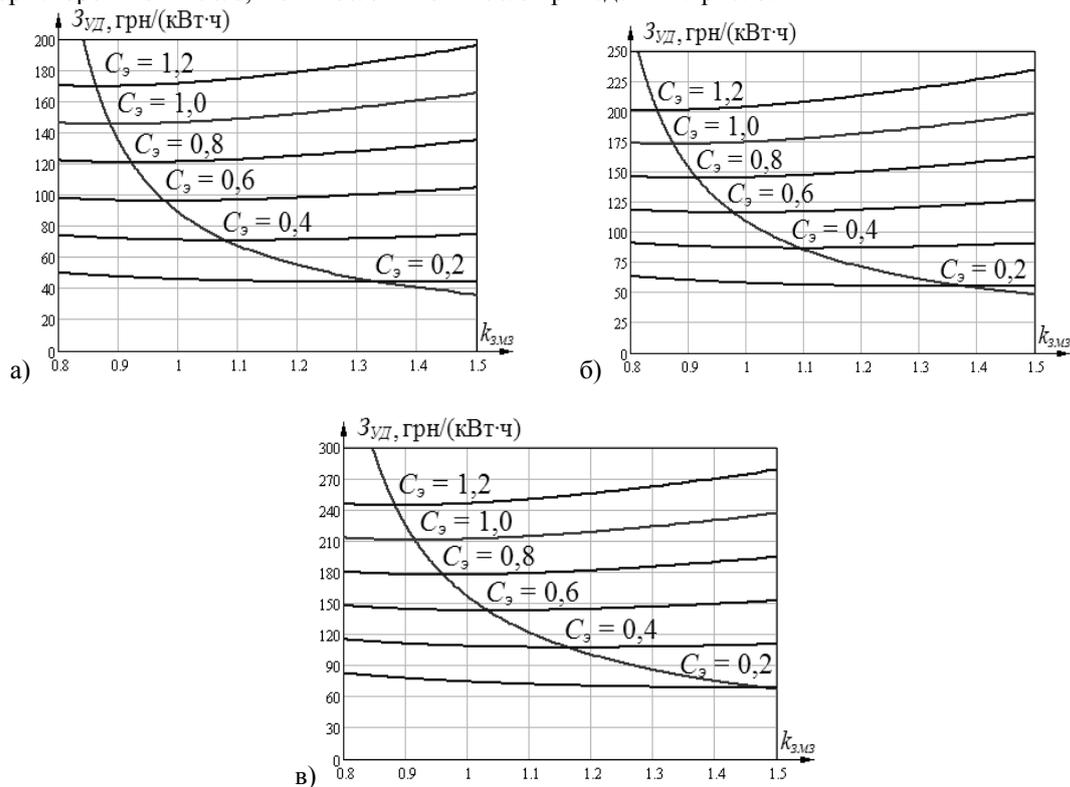


Рисунок 6 – Характеристики изменения эффективных значений загрузки и величины удельных приведенных затрат трансформатора от стоимости электрической энергии:

а) TCB-250/6 б) TCB-160/6 в) TCB-100/6

Точка пересечения зависимостей $Z_{уд} = f(k_{3,МЗ}; C_э)$ и $Z_{уд} = f(k_{3,МЗ}; S_{ном})$ соответствует экономически целесообразному коэффициенту загрузки. Так, для рассматриваемого трансформатора TCB-250/6 при $C_э = 0,8$ грн/(кВт·ч) эффективный коэффициент загрузки составляет $k_{3,МЗ} = 0,92$, что соответствует минимальным затратам $Z_{уд} = 120$ грн/(кВт·ч).

Анализ полученных результатов, на примере реальной схемы электроснабжения шахты, показывает несоответствие в сторону завышения на 50-70% установленных мощностей трансформаторов УПП для рабочего диапазона существующих электрических нагрузок участковых подстанций.

Выводы. 1. Произведена оценка потерь электрической энергии в шахтных трансформаторах УПП в зависимости от степени их загрузки.

2. Определены оптимальные значения коэффициентов загрузки трансформаторов различной мощности в зависимости от их стоимости и стоимости электроэнергии.

3. По результатам анализа коэффициент загрузки трансформаторов УПП целесообразно увеличить до 0,9 за счет уменьшения общей трансформаторной мощности подстанций горизонтов шахт.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Федоров А.А. Основы электроснабжения промышленных предприятий / А.А. Федоров, В.В. Каменева. - М.: Энергия, 1984. – 301 с.
2. Дзюбан В.С. Справочник энергетика угольной шахты / В.С. Дзюбан, Я.С. Римап, А.К. Маслий. - М.: Недра, 1983.
3. Інформація ОАО «Укрелектроапарат» [Електронний ресурс]. - Режим доступа: www.uea.com.ua

REFERENCES

1. Fedorov A.A., Kameneva V.V. Osnovy jelektrosnabzhenija promyshlennyh predpriyatij [Bases of power supply of industrial enterprises]. – М.: Energiya, 1984. 301 p.
2. Dzjuban V.S., Riemann J.S., Masliy A.K. Spravochnik jenergetika ugol'noj shahty [Reference book of power engineering specialist of coal mine]. М.: Nedra, 1983.
3. Informacija ОАО «Ukrjelektroapparat» [Information Of Ukrelectroapparat Open Joint-Stock Company] www.uea.com.ua

Надійшла до редакції 04.03.2013

Рецензент: О.О. Шавьолкін

О.Н. СІНЧУК, Е.С. ГУЗОВ, І.О. СІНЧУК, Р.О.ПАРХОМЕНКО
Державний вищий навчальний заклад «Криворізький національний університет»

Підвищення ефективності функціонування підземних дільничних підстанцій. Виконано оцінювання втрат електричної енергії в шахтних трансформаторах типу ТСВ в залежності від ступеня їх завантаження. Визначені оптимальні значення коефіцієнтів завантаження трансформаторів різноманітної потужності в залежності від їх вартості та вартості електроенергії.

Ключові слова: шахтні підстанції, сухі трансформатори, оптимальні режими.

O. SINCHUK, E. GUZOV, I. SINCHUK, R. PARHOMENKO
State Institution of Higher Education “Kryvyi Rih National University”

Improving the Efficiency of the District Underground Substations. We evaluated the loss of electric power in mine transformers of TSV type, depending on their loading degree. We also defined the optimal values of transformers load factors depending on their cost and the cost of electricity.

Key words: mine substation, dry transformers, optimum mode.