

**О.Н. Синчук, проф., д-р техн. наук, Н.И. Лесной, асист.**

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского*

**Р.А. Пархоменко, асист., А. Н. Яловая, соискатель**

*Криворожский национальный университет*

## Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций железорудных шахт

В статье приведены результаты исследований реальных электрических нагрузок на примере одной из типовых участковых трансформаторных подстанций шахты «Родина» Криворожского железорудного комбината. Показано, что реальные электрические нагрузки значительно ниже расчетных и принятых при проектировании. Предложены рекомендации по повышению эффективности использования установленных мощностей трансформаторов участковых подстанций железорудных шахт.

**участковые подстанции, трансформатор, эффективность работы**

**Введение.** Железорудное сырье – руда, 40% которой добывается на отечественных подземных горнорудных предприятиях, является одним из основных источников поступлений в валютный фонд Украины [1].

Весомым слагаемым в общей себестоимости железной руды являются энергетические затраты [1]. Снижение этого сегмента затрат важно, необходимо и реально для государственной экономики [2].

**Актуальность исследований.** Около 60% электрической энергии потребляемой современными железорудными предприятиями с технологиями подземного ведения горных работ приходится на сугубо подземные потребители [2]. Питание электрические приемники железорудных шахт получают от районных подстанций через главные понизительные подстанции (ГПП) к центральным распределительным подстанциям (ЦРП) и участковым понижающим подстанциям (УПП) (рис.1).

Эксплуатируемые в отечественных железорудных шахтах УПП обычно имеют в своем составе два трансформатора типа ТСВ мощностью 250, 450 или 630 кВА. При этом, как правило, в постоянно рабочем режиме находится лишь один трансформатор, второй в этом случае является резервным.

**Цель работы.** Оценка состояния и определение тактики повышения эффективности работы участковых подстанций.

**Материалы исследований.** Результаты исследований показали, что рабочие трансформаторы железорудных шахт Криворожского горнодобывающего региона в настоящее время в течении суток загружены на 10-30% от номинального значения (рис.2), что по предварительной оценке является негативным явлением и требует детального рассмотрения [3].

На рисунке 3 представлены зависимости значений КПД ( $\eta$ ) (1) от коэффициента загрузки ( $K_z$ ) для трансформаторов серии ТСВ.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 + \Delta P_T}, \quad (1)$$

где  $\Delta P_T$  – потери активной мощности в трансформаторе;  $P_1$  – мощность, поступающая из сети;  $P_2$  – мощность, отдаваемая трансформатором во вторичную сеть.

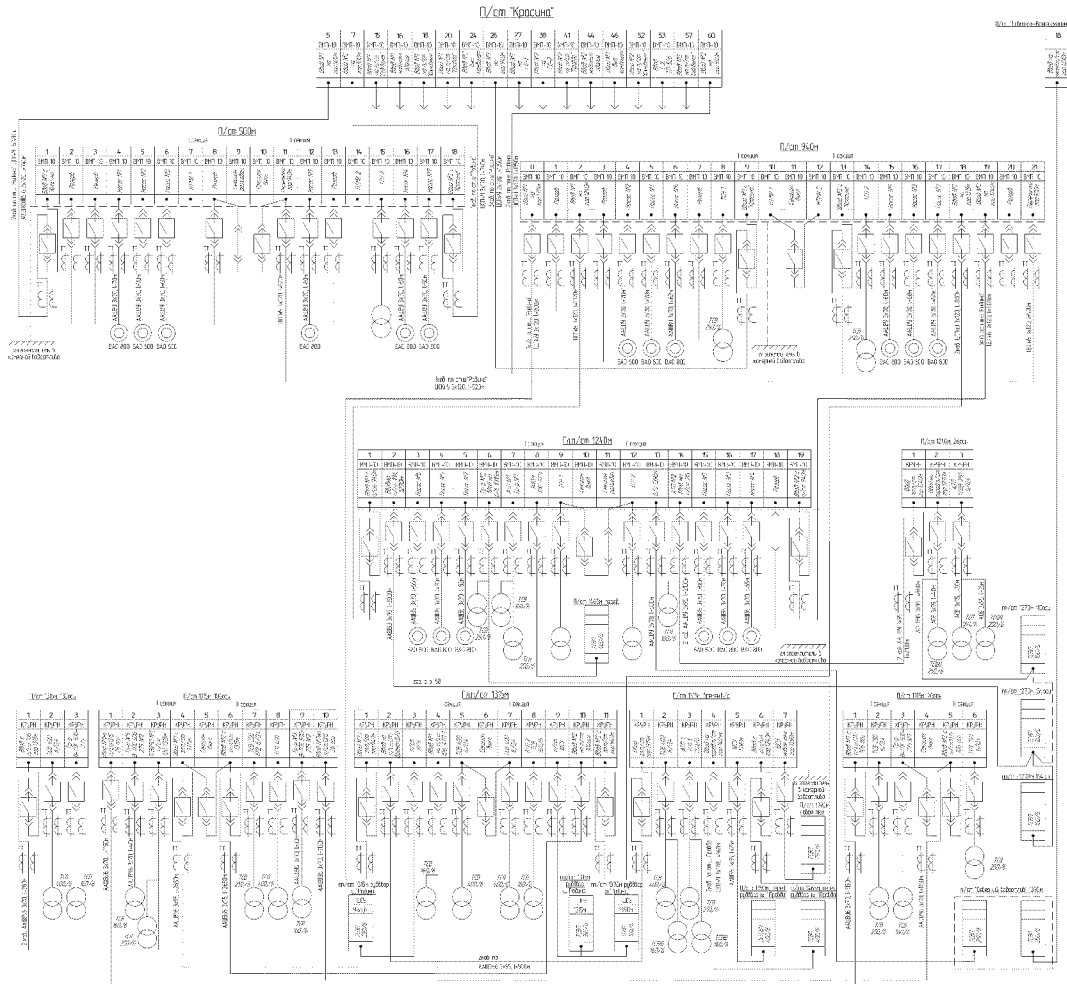


Рисунок 1 – Схема подземного электроснабжения шахты «Родина» ОАО «Кривбассжелезрудком»

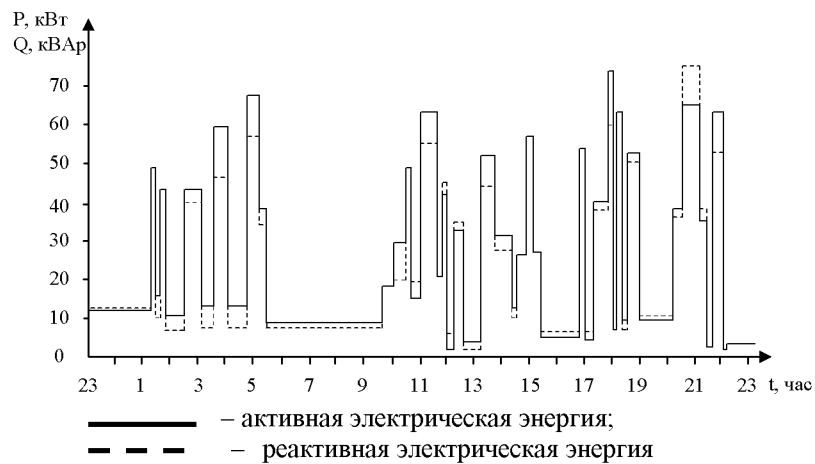


Рисунок 2 – Усредненный график нагрузки трансформатора ТСВ-250 УПП-3 шахты «Родина»

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

Активная мощность на выходе трансформатора:

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

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

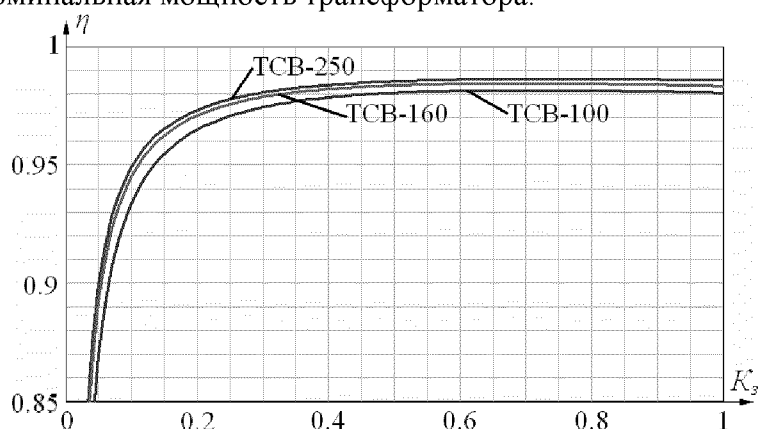


Рисунок 3 – Зависимости значений КПД ( $\eta$ ) от коэффициента загрузки ( $K_3$ ) для трансформаторов серии ТСВ

Как видно из полученных результатов, максимальное значение КПД для этой серии трансформаторов находится в пределах  $K_3=0,7-0,75$ , что подтверждается теоретическими расчетами полученными путем дифференцирования функции  $\eta = f(K_3)$  и приравнявая  $\frac{d\eta}{dK_3}$  к нулю. Таким образом из (1) можно найти коэффициент загрузки трансформатора соответствующий условию минимума потерь электрической энергии в трансформаторах:

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

$$K_{зпт} = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}}}. \quad (4)$$

По результатам эксплуатации трансформатора ТСВ-250 известно, что его среднесуточный коэффициент загрузки находится в диапазоне 15-30% (37-75 кВА), что не соответствует условию минимума потерь электрической энергии (4). При этом трансформатор испытывает потери активной (2) и реактивной (5) мощности равные 1302-1460 Вт и 5936-6492 ВАр соответственно.

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 = \frac{I_{XX}}{100} S_{ном} + \frac{u_{K3}}{100} S_{ном} \cdot K_3^2, \quad (5)$$

Зависимость потерь указанных мощностей для всего диапазона эксплуатации анализируемого трансформатора ТСВ-250 можно увидеть на рисунке 4.

Сравнивая потери активной мощности нескольких трансформаторов серии ТСВ (рис.5-6) можно сделать вывод, что в зависимости от диапазона рабочих нагрузок для их уменьшения могут быть использованы трансформаторы как большей, так и меньшей установочной 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 ранее перечисленных, это относится и к УПП-3 шахты «Родина», то необходимо проведение дополнительных расчетов. Для уменьшения потерь реактивной

мощности прослеживается четкая закономерность, которая заключается в установке трансформатора с наименьшей возможной установочной мощностью.

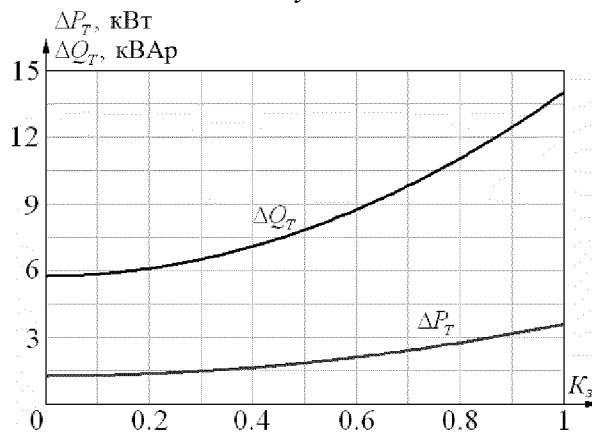
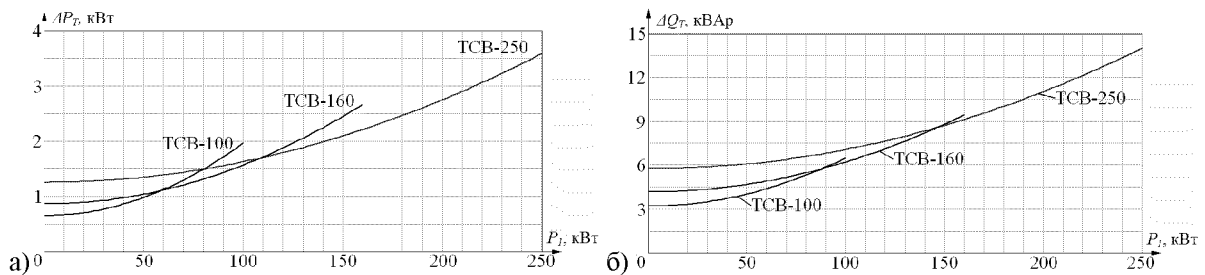
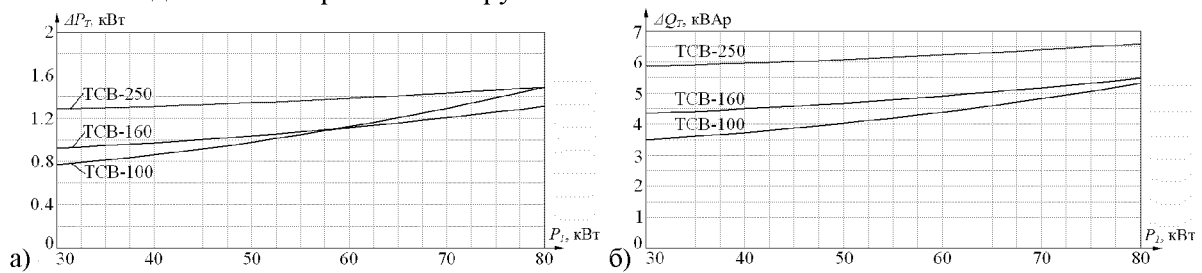


Рисунок 4 – Зависимость потерь активной и реактивной мощностей от коэффициента загрузки трансформатора ТСВ-250



а) потери активной мощности; б) потери реактивной мощности  
Рисунок 5 – Потери мощности в трансформаторах серии ТСВ

Анализируя потери мощности в трансформаторах УПП-3 шахты «Родина» при рабочем диапазоне нагрузок (рис.6), можно сделать вывод о целесообразности использования трансформатора ТСВ-160 или ТСВ-100. Однако, малая величина экономии мощности (до 0,5 кВт) и значительная стоимость трансформатора (более 100000 грн) определяют срок окупаемости мероприятия по замене трансформатора в более чем 20 лет. Поэтому представленные результаты исследований следует учесть при замене вышедшего из строя трансформатора, либо при создании новой подстанции со схожим диапазоном рабочей нагрузки.



а) потери активной мощности; б) потери реактивной мощности  
Рисунок 6 – Расчетные потери мощности в трансформаторах серии ТСВ при эксплуатации в рабочем диапазоне электрических нагрузок УПП-3 шахты «Родина»

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:

$$Z = \frac{K}{n} + (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2) \cdot T_G \cdot C_{\text{Э}}, \quad (6)$$

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 ( $n=25$ ) [4];  $T_G$  – количество часов работы трансформатора в году, час ( $T_G=8760$ );  $C_{\text{Э}}$  – стоимость электроэнергии, грн/(кВт·ч).

На рисунке 7 приведена зависимость удельных приведенных затрат  $Z_{\text{уд}} = Z/S$  (где  $S$  — передаваемая трансформатором мощность, кВА) трансформатора от коэффициента загрузки, построенная для  $T_G = 8760$  часов и  $C_{\text{Э}} = 0,8$  грн/(кВт·ч). Из него видно, что удельные приведенные затраты резко возрастают при коэффициенте загрузки, менее 0,3.

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

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

$$k_{\text{эмз}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{XX}}{\Delta P_{K3}} + \frac{K}{n \cdot C_{\text{Э}} \cdot T_G \cdot \Delta P_{K3}}}. \quad (7)$$

Из (5) и (7) следует, что  $k_{\text{эмз}}$  превышает коэффициент загрузки, соответствующий минимуму потерь  $k_{\text{эмп}}$ . Эта разница зависит от стоимости электроэнергии  $C_{\text{Э}}$ , и единовременных капитальных вложений в трансформатор.

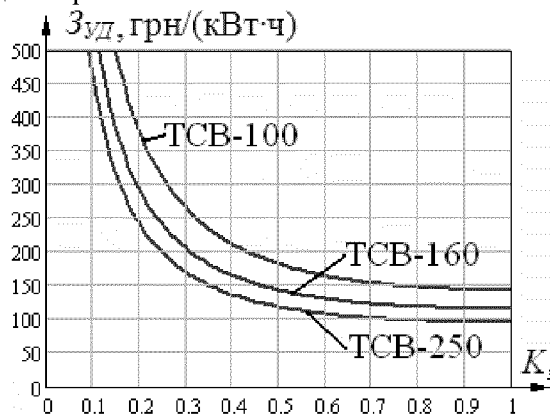


Рисунок 7 – Зависимость удельных приведенных затрат  $Z_{\text{уд}}$  от коэффициента загрузки трансформаторов серии ТСВ

Если предположить, что стоимость на электроэнергию не будет являться постоянной, то зависимость эффективного коэффициента загрузки  $k_{\text{эмз}}$  трансформатора от стоимости электроэнергии  $C_{\text{Э}}$  будет изменяться согласно кривой (рис.8). Характер изменения кривой показывает, что с увеличением стоимости на электрическую энергию  $k_{\text{эмз}}$  уменьшается и что рассматриваемые трансформаторы необходимо загружать практически на номинальную мощность, ограничиваясь лишь представленными характеристиками.

В свою очередь полученные расчетные значения экономически целесообразных режимов загрузки трансформаторов ТСВ-250/6, ТСВ-160/6 и ТСВ-100/6 приведены на рисунке 9. Точка пересечения зависимостей  $Z_{\text{уд}} = f(k_{\text{эмз}}; C_{\text{Э}})$  и  $Z_{\text{уд}} = f(k_{\text{эмз}}; S_{\text{ном}})$

соответствует экономически целесообразному коэффициенту загрузки. Так, для рассматриваемого трансформатора ТСВ-250/6 при  $C_э = 0,8$  грн/(кВт·ч) эффективный коэффициент загрузки составляет  $k_{э.мэ} = 0,92$ , что соответствует минимальным удельным затратам  $З_{уд} = 120$  грн/(кВт·ч).

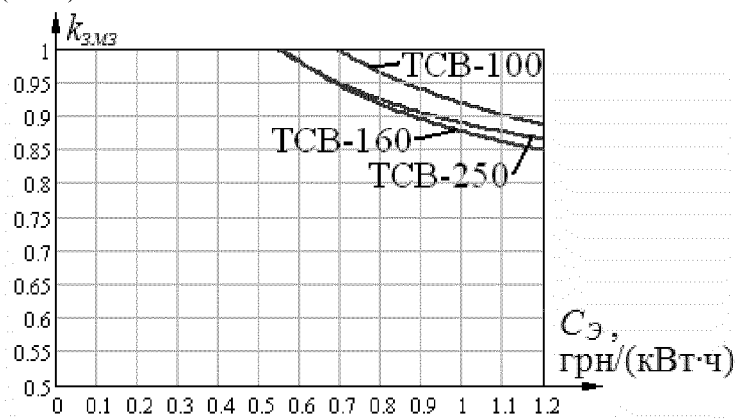


Рисунок 8 – Зависимость эффективного коэффициента загрузки трансформаторов серии ТСВ от стоимости электроэнергии

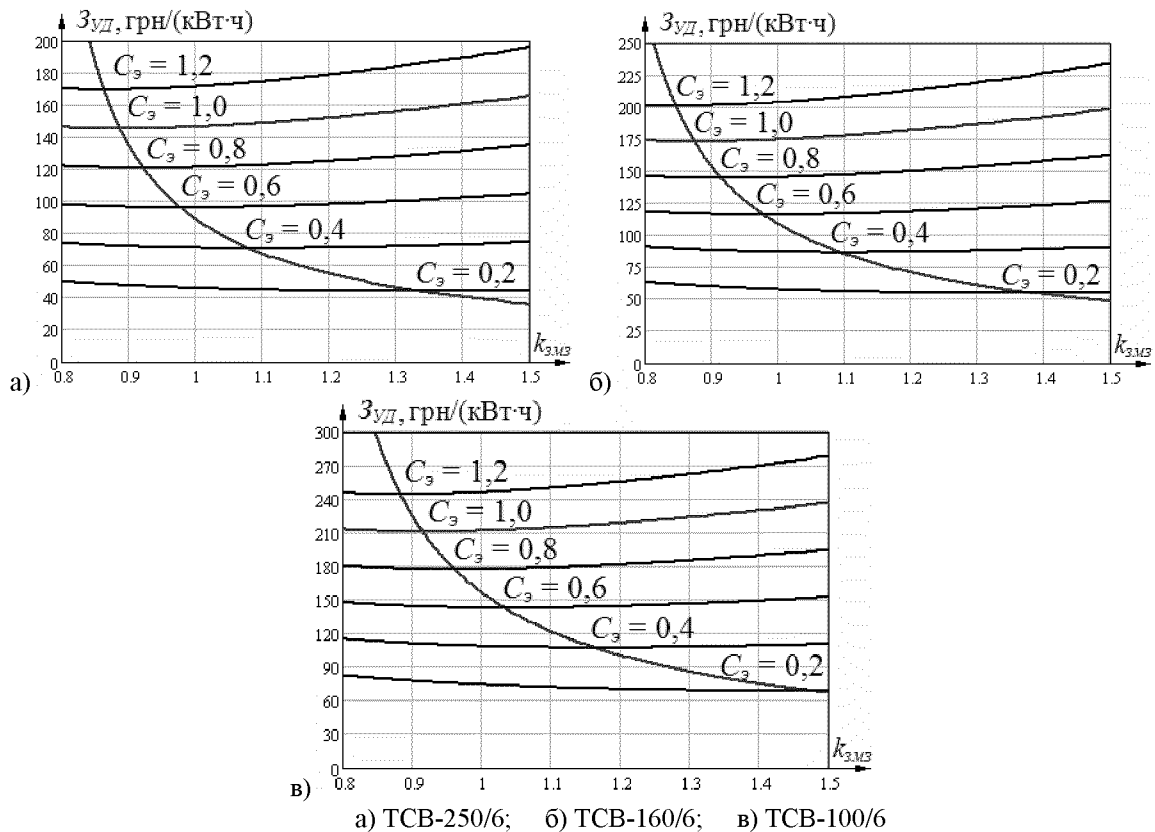


Рисунок 9 – Характеристики изменения эффективных значений загрузки и величины удельных приведенных затрат трансформатора от стоимости электрической энергии

**Выводы.** 1. На примере тяговой схемы электроснабжения шахты установлено несоответствие в сторону завышения на 50-70% установленных мощностей трансформаторов УПП для рабочего диапазона электрических нагрузок.

2. Замена имеющихся трансформаторов УПП на менее мощные не принесет желаемого экономического эффекта.

3. Для решения задачи повышения эффективности систем электроснабжения железорудных шахт в нынешних условиях производства необходимо проведение комплексных исследований по их реструктуризации.

## Список литературы

- 1 Шидловський А.К., Півняк Г.Г., Рогоза М.В., Випанасенко С.І. Геоэкономика та геополітика типа України. – Д.: Національний гірничий університет, 2007. – 282 с.
- 2 Сборник технико-экономических показателей горнодобывающих предприятий Украины в 2009-2010 гг.: Анализ мировой конъюнктуры рынка ЖРС 2004-2011 гг. / Е.Г. Бабец, Л.А. Штанько, В.А. Салганик и др. – Кривой Рог: Видавничий дім, 2011. – 329 с.
- 3 Електрифікація гірничого виробництва: Підручник для ВНЗ у 2-х т. – Вид. 2-ге, перероб. та допов. / Під ред. Л.О. Пучкова, Г.Г. Півняка. – Д.: Національний гірничий університет, 2010. – т.1. – 503 с.
- 4 Мелешко И.Ю., Френкель В.Ю., Кириллов В.М., Майзус С.И. ГОСТ 11677-85 «Трансформаторы силовые общие технические условия». – М.: 1985. – 48 с.

*О. Сінчук, М. Лісний, Р.Пархоменко, А. Ялова*

### **Оцінка стану й визначення тактики підвищення ефективності роботи дільничних підстанцій залізрудних шахт**

У статті наведені результати досліджень реальних електричних навантажень на прикладі однієї з типових дільничних трансформаторних підстанцій шахти «Родина» Криворізького залізрудного комбінату. Показано, що реальні електричні навантаження значно нижче розрахункових і прийнятих при проектуванні. Запропоновані рекомендації з підвищення ефективності використання встановлених потужностей трансформаторів дільничних підстанцій залізрудних шахт.

*O. Sinchuk, N. Lesnoi, R. Parhomenko, A. Yalova*

### **Estimation of the state and determination of tactic of increase of efficiency of work of district substations iron-ore mines**

In the article the results of researches of the real electric loadings are resulted on the example of one of model district transformer substations of mine «Rodina» of the Krivyi Rig iron-ore combine. It is rotined that the real electric loadings considerably below calculation and accepted at planning. Offered to recommendation on the increase of efficiency of the use of the set powers of transformers of district substations of iron-ore mines.

Получено 14.09.12