

УДК 621.315.052.7 - 621.395.14

О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф., Э.С. ГУЗОВ, канд.техн. наук, доц.,  
Р.А. ПАРХОМЕНКО, старший преподаватель, ГВУЗ «Криворожский национальный университет»  
Н.И. ЛЕСНОЙ, аспирант, Кременчугский национальный университет им. Михаила Остроградского

## ОЦЕНКА ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ ВЫВОДА НЕЗАГРУЖЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ РУДНИЧНЫХ ПОДСТАНЦИЙ В «ХОЛОДНЫЙ» РЕЗЕРВ

В работе приведена оценка экономической эффективности и целесообразности вывода в «холодный» резерв незагруженных трансформаторов главных понизительных подстанций железорудных комбинатов.

Ключевые слова: подстанции, трансформаторы, снижение потерь.

**Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями.** Проектные расчеты потребления электроэнергии подземными предприятиями Криворожского железорудного комбината (КЖРК), выполненные более тридцати лет тому назад, привели к объективно значительному завышению проектной мощности предприятия для нынешних условий функционирования и, как следствие, установку на главных понизительных подстанциях (ГПП) комбината силовых трансформаторов мощностью, которая более чем в три раза превышает реальные электрические нагрузки. Последнее приводит к значительным непроизводительным затратам. Строение схем электроснабжения Криворожского железорудного комбината предусматривает, что потребители электрической энергии получают питание напряжением 6 и 35 кВ от шести главных понизительных подстанций.

**Анализ исследований и публикаций.** Проведенный анализ эффективности использования установленной мощности трансформаторного оборудования, на примере реальной схемы электроснабжения шахты, показывает несоответствие в сторону завышения на 50-70% установленных мощностей практически всех трансформаторов, начиная от трансформаторов участковых подстанций и заканчивая трансформаторами ГПП для рабочего диапазона всех существующих электрических нагрузок. В то же время очевидно, что замена имеющихся трансформаторов на менее мощные не всегда приносит желаемого экономического эффекта.

**Постановка задания.** Целью работы является оценка экономической эффективности и целесообразности вывода в «холодный» резерв незагруженных трансформаторов главных понизительных подстанций степени их загрузки.

**Изложение материала и результаты.** Предварительная оценка электрических нагрузок комбината показала, что суммарная мощность, потребляемая подстанциями КЖРК, составляет 200-250 МВА, при установленной мощности двадцати двух силовых трансформаторов общей мощностью 772 МВА, т.е. средняя загрузка трансформаторов по комбинату составляет 0,26-0,32, против минимально регламентированных 0,6, т.е. соотношение необходимого и фактического значений более чем двухкратное.

Для детального рассмотрения сложившейся ситуации проведен анализ применительно к подстанции ГПП-6 (рис. 1), питающей обогатительное производство.

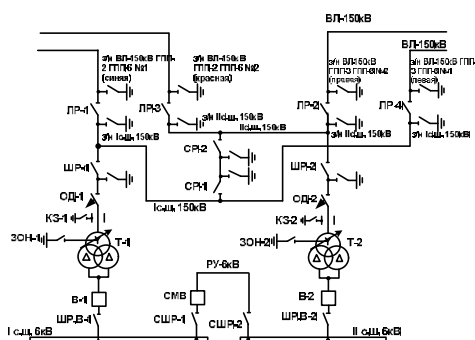


Рис. 1. Однолинейная схема электрических соединений ГПП-6 Криворожского железорудного комбината

Как следует из рис. 1, на подстанции установлено 2 трансформатора ТРДН-63000/150, данные потерь которых указаны в табл. 1.

Используя уравнения потерь активной  $\Delta P_T$  и реактивной  $\Delta Q_T$  мощности в трансформаторе найдем его полные потери  $\Delta S_T$  и КПД  $\eta_T$  в зависимости от коэффициента загрузки (рис. 2) [1,2]

$$\Delta P_T = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot K_3^2, \text{ кВт.} \quad (1)$$

$$\Delta Q_T = \Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2, \text{ кВАр.} \quad (2)$$

$$\Delta S_T = \sqrt{\Delta P_T^2 + \Delta Q_T^2}, \text{ кВА.} \quad (3)$$

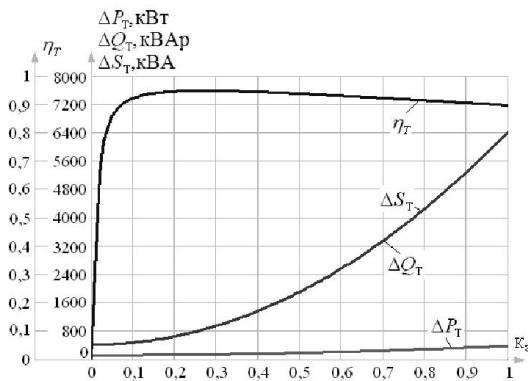
$$\eta_T = P_H / (P_H + \Delta P_T). \quad (4)$$

## Технические параметры трансформаторов ТРДН-63000/150

Таблица 1

$S_n$ , кВА	$U_{вн}$ , кВ	$U_{нн}$ , кВ	$\Delta P_{xx}$ , кВт	$\Delta P_{кз}$ , кВт	$\Delta Q_{xx}$ , кВАр	$\Delta Q_{кз}$ , кВАр
63000	150	6	137	260	409,5	6003,9

Предварительная оценка электрических нагрузок подстанции позволила установить, что средние значения коэффициентов загрузки трансформаторов Т1 и Т2 на ГПП-6 (см. рис. 1) за прошедший год эксплуатации составили:  $K_{31}=0,167$ ,  $K_{32}=0,183$ . Следовательно, их дальнейшая работа в прежнем режиме является неэффективной [2].



**Рис. 2.** Зависимости КПД, активных, реактивных и полных потерь мощности трансформатора ТРДН-63000/150 при различных значениях коэффициента загрузки

Выходом из сложившейся ситуации может служить вывод одного из трансформаторов в «холодный» резерв, что допустимо, поскольку они не запитывают потребителей I категории по надежности электроснабжения, либо полное отключение ГПП и распределение всей ее нагрузки между соседними подстанциями.

Второй вариант уже по превентивной оценке является дорогостоящим, из-за необходимости постройки дополнительных высоковольтных ЛЭП, а, следовательно, ожидаемого значительного увеличения срока окупаемости проекта (10-25 лет). Последнее снова возвращает нас к варианту вывода одного из трансформаторов ГПП-6 в «холодный» резерв.

Оценим при этом годовой экономический эффект выбранного варианта.

Потери активной  $\Delta W_{AT}$  и реактивной  $\Delta W_{RT}$  энергии в трансформаторе за год [3]

$$\Delta W_{AT} = \Delta P_{XX} T_T + \Delta P_{K3} K_3^2 \tau, \quad (5)$$

$$\Delta W_{RT} = \Delta Q_{XX} \cdot T_T + \Delta Q_{K3} \cdot K_3^2 \cdot \tau, \quad (6)$$

где  $T_T$  - число часов работы трансформатора в году,  $T_T = 8760$  ч;  $\tau$  - время максимальных потерь; условное число часов, в течение которых максимальный ток, протекающий непрерывно, создает потери энергии, равные действительным потерям энергии за год

$$\tau = \left( 0,124 + \frac{T_M}{10000} \right)^2 8760, \quad (7)$$

где  $T_M$  - время использования максимума нагрузки, условное число часов, в течение которых работа с максимальной нагрузкой передает за год столько энергии, сколько при работе по действительному графику

$$T_M = W/P_M, \quad (8)$$

где  $W$  - количество израсходованной электроэнергии за год, кВт·час

$$W = 8760 \cdot K_3 \cdot P_H, \quad (9)$$

где  $P_H$  - номинальная нагрузка, кВт;  $P_M$  - максимальная расчетная нагрузка, кВт.

Если сделать допущение, что  $P_H = P_M$ , то

$$T_M = 8760 \cdot K_3, \quad (10)$$

Тогда  $T_{M1} = 1463$  часов, а  $T_{M2} = 1603$  часов.

$$\tau_1 = \left( 0,124 + \frac{1463}{10000} \right)^2 8760 = 640 \text{ часов.}$$

$$\tau_2 = \left( 0,124 + \frac{1603}{10000} \right)^2 8760 = 708 \text{ часов.}$$

Следовательно, годовая экономия активной  $\Delta W_{AЭ}$  и реактивной  $\Delta W_{RЭ}$  энергий при выводе одного трансформатора ГПП-6 в «холодный» резерв составит:

$$\Delta W_{AЭ} = \Delta W_{AT1} + \Delta W_{AT2} - \left( \Delta P_{XX} T_{\Gamma} + \Delta P_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32}) \right)^2 \times \left( \left( 0,124 + \frac{8760 \cdot (K_{31} + K_{32})}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \right), \quad (11)$$

$$\Delta W_{AЭ} = 1204761 + 1206285 - 1251852 = 1159194, \text{ кВт}\cdot\text{ч.}$$

$$\Delta W_{PЭ} = \Delta W_{PT1} + \Delta W_{PT2} - \left( \Delta Q_{XX} \cdot T_{\Gamma} + \Delta Q_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32}) \right)^2 \times \left( \left( 0,124 + \frac{8760 \cdot (K_{31} + K_{32})}{10000} \right)^2 \cdot 8760 \right), \quad (12)$$

$$\Delta W_{PЭ} = 4608525 + 4943928 - 14971737 = -5419284 \text{ кВАр}\cdot\text{ч.}$$

что в денежном эквиваленте составит

$$C = C_A \Delta W_{AЭ} + C_P \Delta W_{PЭ}, \quad (13)$$

где  $C_A$  - средняя стоимость 1 кВт·часа электроэнергии,  $C_A = 0,4221$  грн/(кВт·час) (без НДС);  $C_P$  - средняя стоимость 1 кВАр·часа электроэнергии,  $C_P = 0,0114$  грн/(кВАр·час) (без НДС)

$$C = 0,4221 \cdot 1159194 + 0,0114(-5419284) = 427515, \text{ грн.}$$

Учитывая, что с последней проверки коэффициент загрузки трансформаторов может измениться, рассчитаем экономию активной, реактивной и полной мощности за счет уменьшения потерь при выводе одного трансформатора ГПП-6 в «холодный» резерв для всех возможных вариантов значения  $K_{31}$  и  $K_{32}$ , сумма которых не должна превышать 1

$$K_{31} + K_{32} < 1. \quad (14)$$

Снижение потерь активной мощности

$$\Delta P_{Э} = \Delta P_{T1} + \Delta P_{T2} - (\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2), \quad (15)$$

Снижение потерь реактивной мощности

$$\Delta Q_{Э} = \Delta Q_{T1} + \Delta Q_{T2} - (\Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2), \quad (16)$$

Снижение потерь полной мощности:

$$\Delta S_{Э} = \Delta S_{T1} + \Delta S_{T2} - \sqrt{(\Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2)^2 + (\Delta Q_{XX} + \Delta Q_{K3} \cdot (K_{31} + K_{32})^2)^2}, \quad (17)$$

Принимая во внимание ограничение (14), из уравнений (15) - (17) получим следующие зависимости (рис. 3)

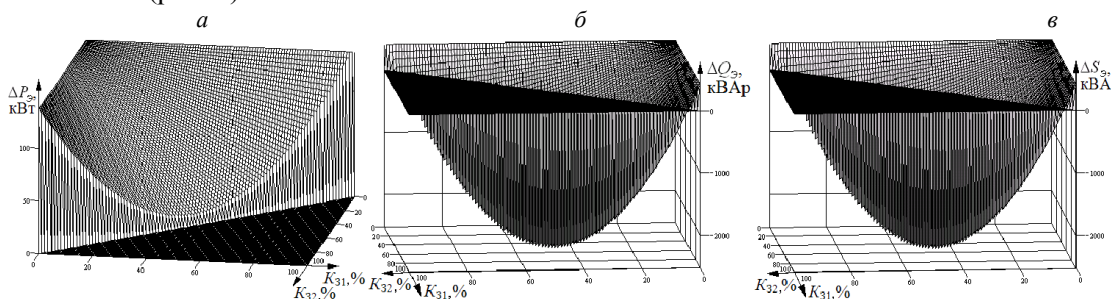


Рис. 3. Зависимость сэкономленной активной *a*, реактивной *б* и полной *в* мощности при выводе в «холодный» резерв одного из двух недогруженных трансформаторов ГПП-6

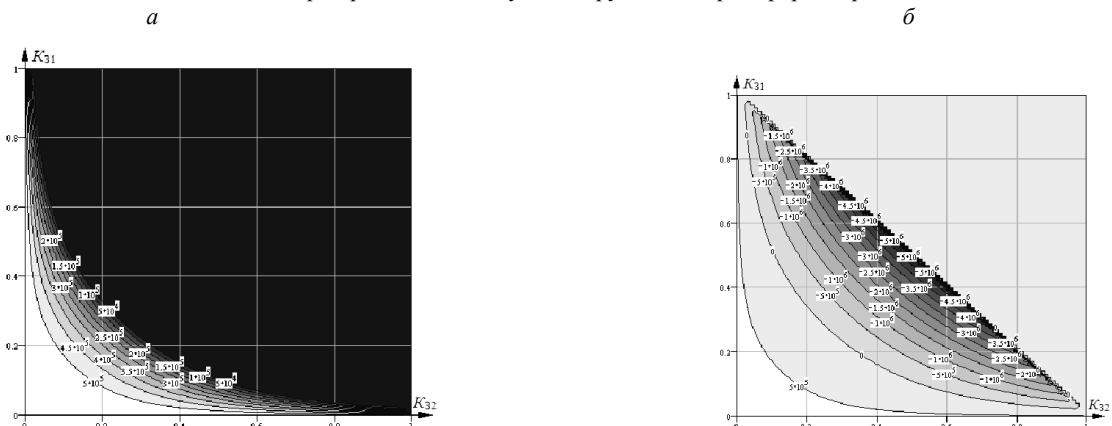


Рис. 4. Зависимость годового экономического эффекта (грн./год) при выводе в «холодный» резерв одного из двух недогруженных трансформаторов ГПП-6: *a* - зависимость положительного экономического эффекта при соблюдении условия (14); *б* - зависимость полного экономического эффекта при соблюдении условия (14)

Для более наглядной оценки зависимости годовой экономии средств - выполним расчет (5)-(7), (10)-(13) их экономии при различных значениях коэффициента загрузки трансформаторов.

Результаты расчетов представлены на рис. 4, из которого следует что экономический эффект при выводе в «холодный» резерв одного из двух недогруженных трансформаторов ГПП-6 возможен, но не всегда это решение эффективно при допустимых значениях коэффициента загрузки трансформаторов, и является сугубо индивидуальной зависимостью для каждой пары трансформаторов (в данном случае - ТРДН-63000/150).

В случае несоблюдения таких индивидуальных зависимостей, даже при выполнении условия (14), можно ожидать значительных дополнительных затрат (для ТРДН-63000/150 - до 5,07 млн грн/год).

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Представленная методика позволяет рассчитать экономический эффект от вывода одного из силовых трансформаторов подстанции в «холодный» резерв, который в рассмотренном случае может составлять до 500 тыс. грн. в год.

Результаты данных исследований также позволяют решать и обратную первоначально поставленной задачу - обоснование рациональности ввода в эксплуатацию трансформатора, находившегося в «холодном» резерве.

Для повышения надежности электроснабжения целесообразно произвести реконструкцию подстанции путем замены отделителей на элегазовые выключатели, что позволит ускорить введение «холодного» резерва в случае аварии.

#### *Список литературы*

1. **Крючков И.П., Кувшинский Н.Н., Неклепаев Б.Н.** Электрическая часть электростанций и подстанций. – М.: Энергия, 1978.
2. **Федоров А.А., Каменева В.В.** Основы электроснабжения промышленных предприятий. – М.: Энергия, 1984.
3. Справочник по проектированию электроснабжения / под ред. **Барыбина Ю.Г.** / . – М.: Энергия, 1990.

Рукопись поступила в редакцию 17.03.13

УДК 622.7:622.34

Т.А. ОЛЕЙНИК, д-р техн. наук, проф., А.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук,  
Ю.Ю. КРИВЕНКО, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ "Криворожский национальный университет"

### **ОСОБЕННОСТИ ГИДРОДИНАМИКИ ЧАСТИЦ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ПУЛЬПЫ ПРИ РАДИАЛЬНО-НАПРАВЛЕННОМ ДВИЖЕНИИ ПИТАЮЩЕГО ПОТОКА ДЕШЛАМАТОРА**

Представлены результаты расчетов, определяющие изотохи (линии постоянных скоростей струи) питающей пульпы, а также содержание твердого в пульпе и в любой точке питающей струи с учетом параметров дешламатора при радиально-направленном движении потока. Установлено, что в ядре струи, вследствие интенсивного перемешивания, практически не происходит гравитационного разделения железорудного сырья. Однако при уменьшении скорости пульпы в струе интенсивность перемешивания уменьшается, вследствие чего начинает происходить гравитационное разделение железорудного сырья.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Дешламация имеет важнейшее значение при гравитационном обогащении железных руд, поскольку оказывает существенное влияние на себестоимость получения концентрата. Процесс гидравлического обогащения железорудного сырья является достаточно сложным, поскольку зависит от многочисленных воздействий, часть из которых выступает в роли возмущений, таких как содержание твердого в пульпе, температура пульпы и окружающей среды.

Одним из возможных путей прогнозирования результатов гравитационного гидравлического обогащения является метод математического моделирования.

Реализация этого метода путем построения адекватных математических моделей с последующей организацией вычислительных экспериментов на базе современной вычислительной техники дает возможность не только расширить информационный диапазон исследований, но и найти оптимальные решения.