

1. Филиппов В.А. Конструкция, расчеты и эксплуатация устройств и оборудования для сушки минерального сырья. – изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: «Недра», 1989. – 309 с.
2. Динамика конверсии днепропетровского бурого угля в кипящем слое/ С.Г. Дулиенко, А.В. Косячков, Н.В. Чернявский // Экологические и ресурсосбережение. – 2005, № 5. - С. 3-12.
3. Павлыш В.Н., Тарабаева И.В. Математическое моделирование динамических характеристик процесса сушки обогащенных углей / Вісник Криворізького технічного університету Зб. наук. праць, вип. 14. – Кривий Ріг, 2006.– С. 170-174.
4. Павлыш В.Н., Тарабаева И.В. Математическое моделирование процесса обезвоживания увлажненной горной массы / Физико-технические проблемы горного производства: Сборник научных трудов, выпуск 12: «Кинетика и термодинамика физических процессов в горном массиве». – Донецк, 2009.– С. 103-107.
5. Руководство по проектированию угольных шахт. Государственный нормативный акт об охране труда. – Киев, 1994.

Рукопись поступила в редакцию 06.03.12

УДК 621.311.1.004.18(03)

О.Н. СИНЧУК, д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»  
Н.И. ЛЕСНОЙ, аспирант, Кременчугский национальный университет имени Мих. Остроградского

### МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИЧЕСКИ ОБОСНОВАННОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Предложена методика расчета экономически обоснованного режима работы трансформаторов главных понижающих подстанций (ГПП) предприятий с учетом ряда факторов влияющих на величину эксплуатационных затрат силовых установок. Проведена апробация методики на трансформаторе ТРND-63000/150/10.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Основные электроэнергетические показатели отечественных предприятий горно-металлургической отрасли указывают на значительное недоиспользование установленной мощности трансформаторов. Так среднее значение коэффициента загрузки трансформаторов - 0,3-0,4, а коэффициента использования - 0,2-0,3; что в свою очередь указывает на четырех-пятикратное превышение установленной мощности трансформаторов над потребной [1].

При условии реализации экономически обоснованного режима работы силового трансформатора денежные затраты на технические потери электрической энергии будут близки к минимальным.

**Анализ исследований и публикаций.** К недавнему времени, при условии незначительной величины стоимости потерь электрической энергии, при выборе номинальной мощности трансформатора обращались к кривым, или таблицам экономических интервалов [2], построенным по критериям: минимума потерь активной мощности и минимума денежных затрат на потери активной энергии. Значительное увеличение тарифа на электроэнергию, введение платы за переток реактивной энергии [1], побуждает к корректированию ранее успешно используемых методик выбора и замены силовых трансформаторов.

**Постановка задачи.** Разработка методики расчета экономически целесообразного режима работы и выбора мощности силовых трансформаторов ГПП предприятий с учетом ряда влияющих факторов.

**Изложение материала и результаты.** Эффективными режимами работы силовых трансформаторов являются режимы с наименьшими потерями в них электрической энергии. При этом нужно учитывать не только потери активной мощности в самих трансформаторах, но и потери этой слагаемой мощности, возникающие в системе электроснабжения по всей цепочке питания: от генераторов электростанции до рассматриваемых трансформаторов. Эти потери называют приведенными  $\Delta P'_T$  (1) и они отличаются от потерь в самих трансформаторах  $\Delta P_T$  (2) [2]

$$\Delta P'_T = \Delta P'_{XX} + \Delta P'_{K3} \cdot k_3^2, \quad (1)$$

$$\Delta P_T = \Delta P_{XX} + \Delta P_{K3} \cdot k_3^2, \quad (2)$$

где  $\Delta P'_{XX} = \Delta P_{XX} + \Delta Q_{XX} \cdot k_{III}$  - приведенные потери XX трансформатора, учитывающие как потери активной мощности в самом трансформаторе, так и создаваемые им в элементах всей системы электроснабжения в зависимости от реактивной мощности, потребляемой трансфор-

матором;  $\Delta P'_{K3} = \Delta P_{K3} + \Delta Q_{K3} \cdot k_{III}$  - приведенные потери КЗ;  $\Delta P_{XX}$  - потери мощности ХХ;  $\Delta P_{K3}$  - потери мощности КЗ;  $k_3$  - коэффициент загрузки трансформатора;  $k_{III}$  - коэффициент изменения потерь (табл.1) [2].

В настоящее время оптимальной загрузкой трансформатора считают загрузку, соответствующую максимальному значению КПД трансформатора (3)

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{P_2}{P_2 - \Delta P'_T}, \quad (3)$$

где  $P_1$  - мощность, поступающая из сети;  $P_2$  - мощность, отдаваемая трансформатором во вторичную сеть.

Активная мощность на выходе трансформатора рассчитывается по формуле (4), кВт

$$P_2 = k_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi), \quad (4)$$

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

Таблица 1

Характеристика трансформатора и системы электроснабжения	Коэффициент изменения потерь в трансформаторах	
	в часы максимума энергосистемы	в часы минимума энергосистемы
Трансформаторы, питающиеся непосредственно от шин электростанций	0,02	0,02
Сетевые трансформаторы, питающиеся от электростанций на генераторном напряжении	0,07	0,04
Понижающие трансформаторы 110/35/10 кВ, питающиеся от районных сетей	0,1	0,06
Понижающие трансформаторы 6—10/0,4 кВ, питающиеся от районных сетей	0,15	0,1

Дифференцируя функцию  $\eta = f(k_3)$  и приравнявая  $d\eta/dk_3$  нулю, из (3) можно найти коэффициент загрузки трансформатора из условия минимума потерь электрической энергии в трансформаторах (5)

$$\frac{d\eta}{dk_3} = \left( \frac{P_2}{P_2 - \Delta P'_T} \right)' = \left( \frac{k_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi)}{k_3 \cdot S_{ном} \cdot \cos(\phi) - (\Delta P'_{XX} + \Delta P'_{K3} \cdot k_3^2)} \right)' = 0, \quad k_{мин} = \sqrt{\frac{\Delta P'_{XX}}{\Delta P'_{K3}}}. \quad (5)$$

Для наглядности возьмем в качестве примера трансформатор ТРНД-63000/150/10 (табл. 2) [3] и представим выражение (3) и (5) на рис. 1 ( $k_{мин}=0,1$  кВт/кВАр).

Таблица 2

Технические параметры трансформатора ТРНД-63000/150/10						
$S_{ном}$ , кВА	$U_{вн}$ , кВ	$U_{нн}$ , кВ	$\Delta P_{XX}$ , кВт	$\Delta P_{K3}$ , кВт	$\Delta Q_{XX}$ , кВАр	$\Delta Q_{K3}$ , кВАр
63000	150	6	137	260	409,5	6003,9

В то же время при проектировании и эксплуатации систем промышленного электроснабжения следует стремиться к максимально возможному использованию установленной трансформаторной мощности. Критерием экономической эффективности при выборе мощности трансформатора является минимум приведенных годовых затрат (6), грн/год

$$Z = \frac{K}{n} + (\Delta P'_{XX} + \Delta P'_{K3} \cdot k_3^2) \cdot T_T \cdot C_3, \quad (6)$$

где  $K$  - стоимость трансформатора, грн ( $K=8000000$  для ТРНД-63000/150/10);  $n$  - рассматриваемый срок службы трансформатора, лет ( $n=25$ ) [4];  $T_T$  - количество часов работы трансформатора в году, час ( $T_T=8760$ );  $C_3$  - стоимость электроэнергии, грн/(кВт·ч).

На рис. 2 приведена зависимость удельных приведенных затрат  $Z_{уд} = Z/S$  (где  $S$  - передаваемая трансформатором мощность, кВА) трансформатора ТРНД-63000/150/10 от коэффициента загрузки, построенная для  $T_T = 8760$  часов и  $C_3 = 0,6$  грн/(кВт·ч). Из него видно, что удельные приведенные затраты резко возрастают при коэффициенте загрузки, менее 0,5.

Дифференцируя функцию  $Z_{уд} = f(k_3)$  и приравнявая  $dZ_{уд}/dk_3$  нулю, коэффициент загрузки трансформатора, соответствующий минимуму удельных приведенных затрат будет рассчитываться согласно (7)

$$\frac{dZ_{уд}}{dk_3} = \left( \frac{\frac{K}{n} + (\Delta P'_{XX} + \Delta P'_{K3} \cdot k_3^2) \cdot T_G \cdot C_3}{S_{ном} \cdot k_3} \right)' = 0, \quad k_{3мз} = \sqrt{\frac{\Delta P'_{XX}}{\Delta P'_{K3}} + \frac{K}{n \cdot C_3 \cdot T_G \cdot \Delta P'_{K3}}}. \quad (7)$$

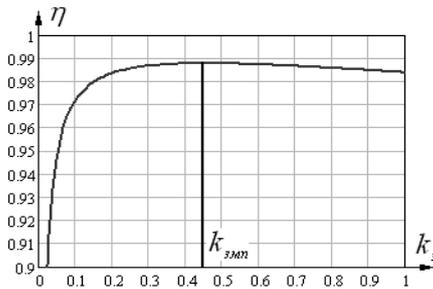


Рис. 1. Зависимость КПД трансформатора ТРНД-63000/150/10 от коэффициента загрузки

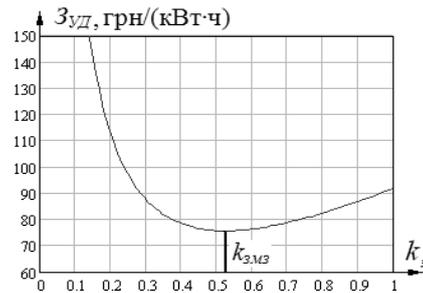


Рис. 2. Зависимость удельных приведенных затрат Zуд от коэффициента загрузки трансформатора ТРНД-63000/150/10

Из (5) и (7) следует, что  $k_{3мз}$  превышает коэффициент загрузки, соответствующий минимуму потерь  $k_{3мл}$ . Эта разница зависит от стоимости электроэнергии  $C_3$ , и единовременных капитальных вложений в трансформатор.

Если предположить, что электроэнергия приобретается у ГП «Енергоринок», и что тарифы на ее приобретение будут меняться ежечасно и в широком диапазоне (рис. 3) [5], то зависимость оптимального коэффициента загрузки  $k_{3мз}$  трансформатора ТРНД-63000/150/10 от стоимости электроэнергии  $C_3$  будет изменяться согласно кривой (рис. 4). Характер изменения кривой показывает, что с увеличением стоимости на электрическую энергию  $k_{3мз}$  уменьшается.

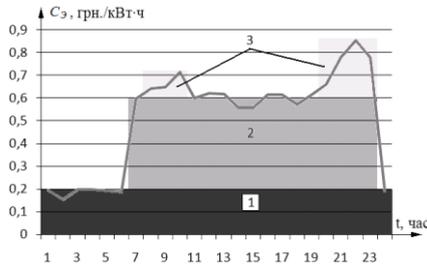


Рис. 3. Усредненный график зависимости тарифов ГП «Енергоринок» на электроэнергию от времени суток за апрель-май 2011 года: 1 - базовый тариф; 2 - полупиковый тариф; 3 - пиковый тариф

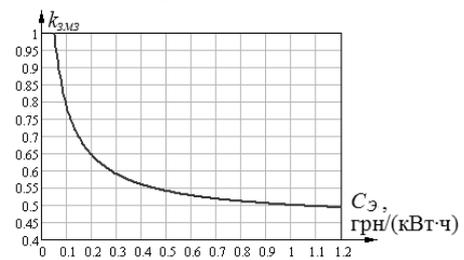


Рис. 4. Зависимость рационального коэффициента загрузки трансформатора ТРНД-63000/150/10 от стоимости электроэнергии

В свою очередь, полученные расчетные значения экономически целесообразных режимов загрузки трансформатора ТРНД-63000/150/10 приведены на рис. 5.

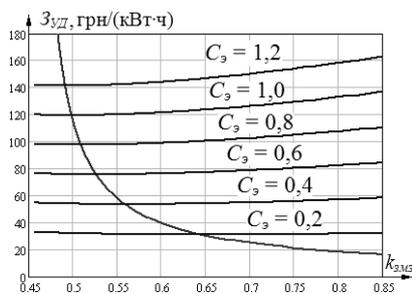


Рис. 5. Расчетные значения оптимальной загрузки трансформатора ТРНД-63000/150/10

Точка пересечения зависимостей  $Z_{уд} = f(k_{3мз}, C_3)$  и  $Z_{уд} = f(k_{3мз}, S_{ном})$  соответствует экономически целесообразному коэффициенту загрузки. Так, для рассматриваемого трансформатора при  $C_3 = 0,8$  грн/(кВт·ч) оптимальный коэффициент загрузки  $k_{3мз} = 0,51$ , что соответствует минимальным удельным затратам  $Z_{уд} = 98$  грн/(кВт·ч).

**Выводы и направления дальнейших исследований.** Разработанная методика обоснования рационального режима эксплуатации силовых трансформаторов ТРНД-63000/150/10, позволяет установить экономически эффективный коэффициент его загрузки, который должен изменяться в диапазоне 0,48-0,64 в зависимости от текущего тарифа на электроэнергию; несоответствие приведенным режимам ведет к увеличению удельных приведенных затрат трансформатора.

Представленная методика расчета может применяться как один из основных показателей для обоснования экономически целесообразного режима работы различных типов силовых трансформаторов.

торов на ГПП при их установке или замене, указывая их реальную стоимость эксплуатации.

#### Список литературы

1. Самойлович И.С., Синчук О.Н., Панасенко Н.В., Ксендзов В.В. Электроэнергетика карьеров с циклично-поточной технологией. – К.: «АДЕФ-Украина», 2010. – 210 с.
2. Федоров А.А., Каменев В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 472 с., ил.
3. Сегеда М.С. Электричні мережі та системи: Підручник. – Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2007. – 488 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.
5. Официальный сайт ГП «Енергоринок» // <http://www.er.gov.ua/>

Рукопись поступила в редакцию 06.03.12

УДК 622.831

Н.А. БУГАЕВА, аспирантка, Ю.М. СЕЛЕЗНЕВА, студентка,  
Национальный технический университет, Донецк  
И.В. НАЗИМКО, канд. техн. наук, УкрНИМИ НАН Украины, Донецк

### ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД ВОКРУГ ДЛИННОГО ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ. НАСТРОЙКА МОДЕЛИ

Проведена подготовка и настройка компьютерной модели для изучения распределения напряжений и деформаций пород вокруг лавы, показана достоверность результатов компьютерного моделирования.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Известно, что напряженно-деформированное состояние (НДС) массива значительно влияет на безопасность отработки запасов. Поэтому исследование этого состояния является актуальной научно-практической задачей.

**Анализ исследований и публикаций.** В ходе исследований используются различные методы для прогноза такого влияния, среди которых наиболее показательным является моделирование НДС с помощью метода конечных элементов (МКЭ). При этом параметры модели необходимо настроить так, чтобы расчетные показатели напряжений и деформаций соответствовали фактическим.

**Постановка задачи.** Целью работы является настройка модели для исследования НДС массива горных пород вокруг длинного очистного забоя для условий Донбасса.

**Изложение материала и результаты.** Для решения данной задачи были приняты средние горно-геологические и горнотехнические условия, которые для Донбасса характеризуются мощностью угольного пласта порядка 1,7 м, породами средней обрушаемости класса  $A_1, A_2$ . Породы представлены перемежающимися слоями алевролитов и песчаников средней прочности (40-70 МПа) с пологим залеганием. Управление кровлей осуществляется путем ее полного обрушения. Угольный пласт марки К отрабатывается по столбовой системе разработки, скорость продвижения лавы 100-150 м/мес. Исходные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Исходные данные условий подработки	
Параметры	Значение
Глубина разработки, м	210
Длина лавы, м	290
Мощность горизонтально залегающего пласта, м	1,7
Мощность наносов, м	60
Мощность слоев, м	10-15
Модуль упругости, ГПа	0,001-15
Коэффициент Пуассона	0,1-0,5
Угол внутреннего трения, град	10-50
Сцепление, МПа	0,001-15
Нагрузка, Па	2500
Объемный вес, МН/м <sup>3</sup>	0,025

Мощность пласта 1,7 м является приемлемой в связи с тем, что большинство шахт отрабатывают пласты с такой мощностью, используя механизированные комплексы. Данная мощность обеспечивает современную добычу 3-5 тыс. т/сут. при дегазации пласта скважинами с