

3. Панамарева, О. Н. Аспекты математического моделирования процесса оперативной обработки информации в АИС морского торгового порта – ключевого звена экономики [Текст] / О. Н. Панамарева, Г. Е. Панамарев // Общество: политика, экономика, право. – 2011. – № 3. – С. 96–103.
4. Семенов, К. М. Методика систематизации процессов в дискретно-событийной имитационной модели [Текст] / К. М. Семенов // Вестник АГТУ. Морская техника и технология. – 2013. – № 2. – С. 184–192.
5. Степанов, О. М. Стратегическое управление развитием морского порта [Текст] / О. М. Степанов. – Одесса: Астропринт, 2005. – 328 с.
6. Фофанова, А. Ю. Организационно-экономическое обеспечение деятельности локального регионального морского транспортного комплекса арктического региона [Текст] / А. Ю. Фофанова // Известия Российского государственного педагогического университета им. А.И. Герцена. – 2008. – Вып. 74-1. – С. 509–514.
7. Сергеев, А. С. Организационно-экономические основы формирования и развития морских портовых агломераций [Текст] / А. С. Сергеев // Экономика и управление. Вестник ТГЭУ. – 2012. – № 2. – С. 63–68.
8. Чимшир, В. І. Визначення напрямків регіонального розвитку соціотехнічних систем у рамках програми євроінтеграції [Текст] / В. І. Чимшир // Технологічний аудит та резерви виробництва. – 2013. – Т. 5, № 5 (13). – С. 20–22.
9. Чимшир, В. І. О необходимости повышения эффективности речных информационных систем с целью обеспечения безопасности судоходства [Текст] : сб. науч. пр. / В. И. Чимшир, Д. П. Коломиец // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Нові рішення в сучасних технологіях. – 2013. – № 56. – С. 112–117.
10. Шахов, А. В. Проекты, определяющие жизненный цикл социотехнической системы [Текст] : сб. науч. праць / А. В. Шахов, В. И. Чимшир // Вісник Одеського національного морського університету. – 2012. – Вип. 35. – С. 211–217.

*У даній статті показано, що оптимальні коефіцієнти трансформаторів, отримані за критерієм питомих витрат, більше оптимальних коефіцієнтів трансформаторів, отриманих за критерієм коефіцієнта корисної дії. Встановлено, що оптимальний коефіцієнт завантаження трансформаторів обернено пропорційно залежить від вартості електроенергії та від номінальної потужності трансформатора. Результати роботи можуть бути використані для забезпечення раціональних режимів роботи трансформаторів*

*Ключові слова: трансформатор, коефіцієнт трансформації, система тягового електропостачання, коефіцієнт завантаження, енергозбереження*

*В данной статье показано, что оптимальные коэффициенты трансформаторов, полученные по критерию удельных расходов, больше оптимальных коэффициентов трансформаторов, полученных по критерию коэффициента полезного действия. Установлено, что оптимальный коэффициент загрузки трансформаторов обратно пропорционально зависит от стоимости электроэнергии и от номинальной мощности трансформатора. Результаты работы могут быть использованы для обеспечения рациональных режимов работы трансформаторов*

*Ключевые слова: трансформатор, коэффициент трансформации, система тягового электроснабжения, коэффициент загрузки, энергосбережение*

УДК 621.331

## ВЛИЯНИЕ ТАРИФОВ НА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЮ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ РАБОТЫ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

**В. Г. Кузнецов**

Доктор технических наук, доцент, профессор  
Кафедра "Электроснабжение железных дорог"  
Днепропетровский национальный университет  
железнодорожного транспорта  
им. акад. В. А. Лазаряна  
ул. Ак. Лазаряна, 2, г. Днепропетровск,  
Украина, 49010  
E-mail: vkuz@i.ua

### 1. Введение

На современном этапе развития экономики Украины экономические отношения между произведе-

ниями электроэнергии, компаниями, передающими электроэнергию, и потребителями регулируются тарифами на электроэнергию. Установление научно обоснованных тарифов на электроэнергию выступа-

ет одним из самых эффективных методов управления в электроэнергетике. Тарифы на электроэнергию должны [1]:

- содержать в себе все виды затрат на производство, передачу, распределение электроэнергии, развитие сетей;

- стимулировать потребителей выравнивать свой график потребления электроэнергии, уменьшать потребление электроэнергии в пиковые часы;

- обеспечивать прозрачность измерений и расчётов за электроэнергию;

- способствовать снижению затрат, связанных с технологическими потерями электроэнергии.

В настоящее время на железнодорожных линиях Украины эксплуатируется большое количество силовых трансформаторов. На развитие железнодорожного транспорта в Украине повлиял целый ряд негативных факторов, в частности:

- прогрессирующее старение основных фондов (около 80 %);

- отсутствие государственной поддержки инновационного развития отрасли и несовершенная законодательная база для привлечения инвестиций;

- низкий уровень тарифов на перевозку пассажиров и отсутствие действенных механизмов компенсации убытков при предоставлении общественных услуг, которое приводит к перекрестному субсидированию убыточных пассажирских перевозок за счет грузовых;

- опережающий рост цен на продукцию, которая потребляется железнодорожным транспортом, сравнительно с темпами изменения тарифов на перевозку.

Большое влияние на рентабельность перевозочного процесса оказывает динамика роста тарифов на энергоносители, и, в частности, на электроэнергию. В условиях эксплуатации очень важно иметь инструментарий по определению оптимальных коэффициентов загрузки силовых трансформаторов с учётом тарифов на электроэнергию и различных вариантов расчёта за потреблённую электроэнергию. Таким образом, задача анализа влияния стоимости электроэнергии на эффективность работы силовых трансформаторов является актуальной.

## 2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

У железных дорог существует возможность выбирать метод расчёта за электроэнергию. Железные дороги могут рассчитываться за электроэнергию по одноставочным тарифам; по тарифам, дифференцированным по зонам суток, закупать электроэнергию на оптовом рынке или у независимых поставщиков электроэнергии. Так, например, при дифференцированных тарифах на электроэнергию ставка тарифа для каждого периода времени определяется путем умножения установленного розничного тарифа для потребителей соответствующего класса на тарифный коэффициент. Для определения границ периодов по часам суток (ночной, полупиковый и пиковый), установлены четыре сезона: 1-й-ноябрь, декабрь, январь, февраль, 2-й - март; 3-й-апрель, май, июнь, июль, август;

4-й - сентябрь, октябрь. Границы периодов по часам суток для каждого сезона устанавливаются соответствующими службами НЭК «Укрэнерго» по согласованию с НКРЭ. Для определения уровня ставок тарифов, дифференцированных по периодам времени, для каждого периода (ночной, дневной, полупиковый, пиковый) и всех сезонов установлены следующие тарифные коэффициенты и длительность периодов (табл. 1) [2].

Таблица 1

Тарифные коэффициенты

Период времени	ночной	дневной	полу-пиковый	пиковый
Двухзонные тарифы, дифференцированные по периодам времени				
Тарифные коэффициенты	0,35	1,8	-	-
Продолжительность периода, ч	8	16	-	-
Трёхзонные тарифы, дифференцированные по интервалам времени				
Тарифные коэффициенты	0,25	-	1,02	1,8
Продолжительность периода, ч	7	-	11	6

Принятая в Украине концепция [3], которая закреплена Законом Украины «Об электроэнергетике» и многочисленными актами Кабинета Министров Украины, предусматривает рыночное формирование цен на электрическую энергию. Розничные цены на электроэнергию формируются энергоснабжающими компаниями в соответствии с Условиями и Правилами осуществления предпринимательской деятельности по поставке электрической энергии по регулируемому тарифу. Для всех групп потребителей, кроме населения, розничные тарифы рассчитываются по рыночной формуле, которая предусматривает возмещение затрат энергоснабжающих компаний на осуществление закупки электроэнергии на рынке по оптовой цене. Оптовая цена учитывает расходы на производство электроэнергии, удержание магистральных сетей и услуги по диспетчеризации, а также на передачу электроэнергии сетями компании и поставки её потребителю.

Сегодня все железные дороги также получили лицензию на поставку электрической энергии по регулируемому тарифу. Лицензиат, то есть железная дорога, закупает электроэнергию на Оптовом рынке электрической энергии Украины согласно условиям его деятельности и осуществляет соответствующее проведение расчётов с оптовым поставщиком электрической энергии. Кроме того лицензиат, который осуществляет передачу принадлежащей лицензиату электрической энергии, если электрическая энергия поставляется сетями, которые не являются его собственностью, должен проводить соответствующие расчёты с субъектами предпринимательской деятельности.

Тарифы на электроэнергию на протяжении всего периода истории независимой Украины постоянно возрастали. Доля энергетической составляющей в

себестоимости железнодорожных перевозок на сегодняшний день составляет около 20 % [4].

Моделированию цен на электроэнергию, разработке методик прогнозирования тарифов посвящены работы [5 – 7]. Работы [8 – 11] посвящены оптимизации параметров систем тягового электроснабжения.

Приверженность к старым методам принятия решений (опирающихся на одноставочные тарифы) приводит зачастую к завышенным потерям материальных ресурсов. Сегодня экономное расходование энергоресурсов, внедрение энергосберегающих технологий является для Укрзализныци одним из главных путей снижения себестоимости перевозок. Здесь, по нашему мнению, возникает проблема стимулирования энергосбережения на предприятиях и в отраслевых службах Укрзализныци. Энергосберегающие мероприятия внедряются в линейных предприятиях всех служб железных дорог, а результат виден лишь в тяговых сетях и сетях нетягового электроснабжения, которые эксплуатируются линейными предприятиями служб электрификации и электроснабжения.

Из вышеприведенного становится очевидно, что для выбора мероприятий по энергосбережению на железных дорогах Украины, для определения рациональных режимов силового оборудования (в частности трансформаторов) необходимо использовать такие критерии, которые бы учитывали рыночные условия хозяйствования, различные способы расчётов за потреблённую электроэнергию.

Цель исследования – разработка научных подходов к определению оптимальных коэффициентов загрузок трансформаторов при применении современных методов расчёта за электроэнергию.

В соответствии с данной целью можно сформулировать задачи исследования:

1. Предложить критерий выбора оптимальных режимов работы силовых трансформаторов, который бы учитывал стоимость электроэнергии.
2. Разработать научные подходы к определению оптимальных коэффициентов загрузок силовых трансформаторов.
3. Проанализировать влияние стоимости электроэнергии на величину оптимальных коэффициентов загрузки трансформаторов.

### 3. Определение оптимальных коэффициентов загрузок трансформаторов

Классическим подходом к определению оптимальных коэффициентов загрузок трансформаторов является определение таких коэффициентов загрузок, которые максимизируют КПД трансформаторов. В качестве одного из альтернативных критериев оптимизации загрузки трансформаторов может выступать приведенный расход, отнесённый к переданной мощности  $S$  [12, 13], который целесообразно минимизировать:

$$P_{\text{тр}} = \frac{Z_{\text{тр}}}{S}, \quad (1)$$

где  $Z_{\text{тр}}$  – приведенные расходы на один трансформатор,  
 $S$  – передаваемая мощность.

Приведенные расходы на один трансформатор могут быть рассчитаны следующим образом (рассматриваем двухобмоточный трансформатор).

$$Z_{\text{тр}} = k_n K + (\Delta P'_{\text{xx}} + \Delta P'_{\text{кз}} k_3^2) \cdot T_n c_e, \quad (2)$$

где  $k_n$  – нормативный коэффициент;

$K$  – одноразовые капитальные вложения в один трансформатор;

$c_e$  – стоимость (тариф) 1 кВт·ч электроэнергии;

$\Delta P'_{\text{xx}}; \Delta P'_{\text{кз}}$  – приведенные потери холостого хода и короткого замыкания;

$k_3$  – коэффициент загрузки трансформатора;

$T_n$  – период работы трансформатора под нагрузкой.

Имея в виду, что  $S = S_n \cdot k_3$ , получим следующее выражение для приведенных расходов

$$P_{\text{тр}} = \frac{k_n K + (\Delta P'_{\text{xx}} + \Delta P'_{\text{кз}} k_3^2) \cdot T_n c_e}{S_n k_3}. \quad (3)$$

Ввиду того, что при использовании тарифов на электроэнергию, дифференцированных во времени, применяются тарифные коэффициенты (табл. 1) целесообразно переписать выражение (3)

$$P_{\text{тр}} = \frac{k_n K + (\Delta P'_{\text{xx}} + \Delta P'_{\text{кз}} k_3^2) \cdot T_n k_{\text{тар}} c_e}{S_n k_3}, \quad (4)$$

где  $k_{\text{тар}}$  – тарифный коэффициент, принимаемый в соответствии с [3].

Определим оптимальное значение коэффициента загрузки трансформатора  $k_{\text{зопт}}$ , которое минимизирует выражение (2).

На основании последнего выражения можно получить оптимальный коэффициент загрузки, который отвечает минимуму приведенных расходов:

$$k_{\text{зопт}} = \sqrt{\frac{\Delta P'_{\text{кз}}}{\Delta P'_{\text{к}}} + \frac{k_n \cdot K}{c_e \cdot T_n \cdot k_{\text{тар}} \cdot \Delta P'_{\text{к}}}}. \quad (5)$$

В табл. 2 в качестве примера приведены рассчитанные по оптимальные коэффициенты загрузки понизительных трансформаторов, которые находятся в эксплуатации на железных дорогах Украины.

Проанализируем, как влияет изменение тарифа на электроэнергию на величину оптимального коэффициента загрузки понизительного трансформатора. Для этого в выражении (5) будем изменять тариф на электроэнергию. Рассмотрим понизительный двухобмоточный трансформатор ТДТН 16000/110/10. Зависимость оптимального коэффициента загрузки данного трансформатора от тарифа на электроэнергию приведена на рис. 1.

Распространим рассмотренный подход к определению оптимальных коэффициентов загрузки силовых трансформаторов на трёхобмоточные трансформаторы. В отличие от тяговых подстанций переменного тока, на тяговых подстанциях постоянного тока обмотки понизительных трансформаторов загружены одинаково. Поэтому для тяговых подстанций постоянного тока методика определения оптимальных коэффициентов загрузки понизительных трансформаторов аналогична вышеизложенной для двухобмоточных трансформаторов.

Таблица 2

Оптимальные коэффициенты загрузки понизительных трансформаторов

Тип	Потери, кВт		$k_{зонт}$		$k_{зонт}$ при трёхзонных дифференцированных тарифах		
	$\Delta P_{х.х.}$	$\Delta P_{к.э.}$	По max КПД	По р1т	Ночной тариф	Полупик	Пик
ТМ-25/10	0,13	0,6	0,465	0,957	1,736	0,950	0,778
ТМ-40/10	0,19	0,88	0,465	0,834	1,462	0,829	0,695
ТМ-63/10	0,265	1,28	0,455	0,749	1,273	0,744	0,635
ТМ- 100/35	0,465	1,97	0,486	0,737	1,211	0,733	0,638
ТМ-250/10	0,82	3,7	0,471	0,711	1,164	0,707	0,616
ТМ-400/10	1,05	5,5	0,437	0,695	1,166	0,691	0,594
ТМ-630/10	1,56	7,6	0,453	0,697	1,152	0,693	0,601
ТМ-1000/10	2,4	12,2	0,444	0,660	1,074	0,657	0,574
ТМ-2500/35	5,1	25	0,452	0,766	1,316	0,761	0,645
ТМ-4000/10	6,4	33	0,440	0,736	1,259	0,731	0,622
ТМ-6300/35	9,4	46,5	0,450	0,952	1,738	0,945	0,770
ТДТН-16000/110	32	105	0,552	0,908	1,544	0,903	0,771
ТДТНЭ-25000/110	45	145	0,557	0,936	1,603	0,930	0,790
ТДТНЭ-40000/110	63	200	0,561	0,928	1,581	0,922	0,786
ТРДП-12500/10ЖУ1	18,7	84	0,472	0,862	1,518	0,856	0,715

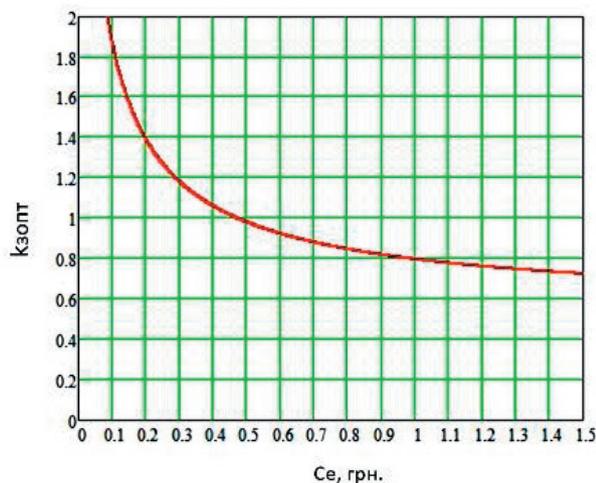


Рис. 1. График зависимости оптимального коэффициента загрузки трансформатора ТДТН 16000/110/10 от тарифа на электроэнергию

**4. Апробация результатов исследования**

Описанные в данной статье научные подходы к определению рациональных коэффициентов загрузки силовых трансформаторов были использованы при создании программного комплекса по определению рациональных режимов системы тягового электро-

снабжения постоянного тока с учетом переменных в течение суток тарифов на электроэнергию и уровня надежности силового оборудования [14]. Данные подходы могут быть применены в хозяйствах электрификации и электроснабжения железных дорог Украины. Использование рациональных режимов силового оборудования в системах тягового электроснабжения позволяет уменьшить величину технологического расхода электроэнергии на покрытие потерь в элементах системы электроснабжения.

**5. Выводы**

В статье предложен критерий выбора оптимального режима работы силовых трансформаторов, учитывающий стоимость электроэнергии, разработаны научные подходы к определению оптимальных коэффициентов загрузки силовых трансформаторов. Показано, что оптимальные коэффициенты загрузки трансформаторов, полученные по критерию удельных расходов, больше оптимальных коэффициентов загрузки, полученных по критерию коэффициента полезного действия.

Проанализировано влияние стоимости электроэнергии на величину оптимальных коэффициентов загрузки трансформаторов. Установлено, что оптимальный коэффициент загрузки трансформаторов, рассчитанный по критерию минимума приведенных расходов, обратно пропорционален стоимости электроэнергии и номинальной мощности трансформатора.

**Литература**

1. Бурбело, М. Й. Стимулювання зменшення втрат в електричних мережах [Текст]: монографія / М. Й. Бурбело, Л. М. Мельничук. – Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. – 110 с.
2. Постанова Національної комісії регулювання електроенергетики [Текст] / № 1241 від 20.12.2001. – К.: НКРЕ, 2001.
3. Концепція функціонування та розвитку оптового ринку електричної енергії України [Текст] / Затв. Постановою Кабінету Міністрів України від 16 листопада 2002 р. № 1789. – К., 2002. – 75 с.

4. Kuzniecowa, W. G. Problem zasilania energii w systemach zasilania trakcji elektrycznej [Text] / W. G. Kuzniecowa // Infrastruktura transportu. – 2012. – №3. – P. 38–40.
5. Ruibal, C. M. Forecasting the Mean and the Variance of Electricity Prices in Deregulated Markets [Text] : proc. of the power sys. / C. M. Ruibal, M. Mazumdar // IEEE Transactions. – 2008. – № 1. – P. 25–32.
6. Yunhe, H. Modeling of electricity prices [Text] : Intern. Conf. / H. Yunhe, H. Yang // Proceedings of the Green Circuits and Systems (ICGCS), 2010. – P. 549–554.
7. Zhengjun, L. Electricity price forecasting model based on chaos theory [Text] : 7th intern. conf. / L. Zhengjun, Y. Hongming, L. Mingyong // Proceedings of the Power Engineering Conference: IPEC, 2005. – P. 1–449.
8. Hui-Jen, C. Optimization of inverter placement for mass rapid transit systems using genetic algorithm [Text] : proc. of conf. / C. Hui-Jen, C. Chao-Shun, L. Chia-Hung, C. Shi-Hong // Transmission and Distribution Conf. and Exhibition. Asia and Pacific, 2005 IEEE/PES, 2005. – P. 1–6.
9. Miyatake, M. Numerical analyses of minimum energy operation of multiple trains under DC power feeding circuit [Text] : european Conf. / M. Miyatake, H. Ko // Proceedings of the Power Electronics and Applications, 2007. – P. 1–10.
10. White, R. D. AC/DC railway electrification and protection [Text] / R. D. White // Proceedings of the Electric Traction Systems, 2008: IET Professional Development course, 2008. – P. 258–305.
11. Kothari, D. P. Power system optimization [Text] / D. P. Kothari, J. S. Dhillon. – New Delhi: Prentice Hall of India, 2007. – 572 p.
12. Киреева, Э. А. Рациональное использование электроэнергии в системах промышленного электроснабжения [Текст]: Вып. 10 (22) / Э. А. Киреева. – М: НППФ “Энергопрогресс”, 2000. – 76 с.
13. Кузнецов, В. Г. Про коефіцієнт завантаження силових трансформаторів тягових підстанцій залізниць [Текст] / В. Г. Кузнецов // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2009. – № 26. – С. 56–59.
14. Кузнецов, В. Г. Комп’ютерна програма “Автоматизована система раціональних систем тягового електропостачання” [Текст]: Свідчення про реєс. автор. права на твір / В. Г. Кузнецов, В. І. Шинкаренко, Н. В. Коваленко. – Зареєс. 03.12.12. – № 46611К. – ДСІВУ, 2012.

*Стаття присвячена аналізу методів прогнозування розвитку транспортних систем та їх впливу на навколишнє середовище. Показана доцільність використання прогностичних моделей на початковій стадії планування. Для прогнозування транспортної роботи, використання енергоресурсів та викидів CO<sub>2</sub> запропоновано застосовувати модель ForFITS, за допомогою якої проведено первинний прогноз розвитку пасажирської транспортної системи України*

*Ключові слова: методи прогнозування, стійкі транспортні системи, модель ForFITS, викиди CO<sub>2</sub>*

*Статья посвящена анализу методов прогнозирования развития транспортных систем и их воздействия на окружающую среду. Показана целесообразность использования прогностических моделей на начальной стадии планирования. Для прогнозирования транспортной работы, использования энергоресурсов и выбросов CO<sub>2</sub> предложено применять модель ForFITS, с помощью которой проведен первоначальный прогноз развития пассажирской транспортной системы Украины*

*Ключевые слова: методы прогнозирования, устойчивые транспортные системы, модель ForFITS, выбросы CO<sub>2</sub>*

УДК 656.078

## АНАЛИЗ МЕТОДА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

**П. Ф. Горбачев**

Доктор технических наук, профессор,  
заведующий кафедрой\*

E-mail: gorbachev\_pf@mail.ru

**А. А. Самчук**

Соискатель\*

\*Кафедра транспортных систем и логистики

E-mail: ane4kasamchuk@rambler.ru

Харьковский национальный автомобильно-  
дорожный университет  
ул. Петровского, 25, г. Харьков,  
Украина, 61002

### 1. Введение

Роль транспорта в обеспечении устойчивого развития общества находится в фокусе современных

дискуссий. Транспорт имеет ключевое значение для эффективного функционирования экономики, обеспечения международной торговли. Мобильность населения является основной потребностью в 21-м веке,