

С. В. Серебренніков, канд. техн. наук, доцент, К. Г. Петрова, аспірант
Кіровоградський національний технічний університет

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ СПОЖИВАЧІВ МЕТОДАМИ СІТЬОВОГО ПЛАНУВАННЯ ТА УПРАВЛІННЯ В УМОВАХ ДІЇ ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ ТАРИФІВ

Досліджено можливість застосування методів сітьового планування та управління при вирівнюванні режиму електроспоживання промислових споживачів у часі за рахунок технологічного ресурсу. Доведено ефективність використання запропонованого методу для економії витрат на оплату електроенергії за умов незмінності обсягу спожитої енергії.

Исследована возможность применения методов сетевого планирования и управления при выравнивании режима электропотребления промышленных потребителей во времени за счет технологического ресурса. Доказана эффективность использования предложенного метода для экономии затрат на оплату электроэнергии в условиях неизменности объема потребленной энергии.

Вступ. За умов постійного зростання цін на паливно-енергетичні ресурси проблеми економії витрат на їх оплату та мінімізації втрат енергії є одними з найбільш актуальних.

На сьогодні об'єднана енергосистема (ОЕС) та виробники електричної енергії (ЕЕ) прагнуть до вирівнювання режиму електроспоживання в часі, натомість споживачі найбільше зацікавлені у економії оплати за ЕЕ. З метою досягнення сукупності цих результатів в дію введено диференційовані тарифи [1].

Питання підвищення рівня ефективності електроспоживання промислових споживачів (ПС) в умовах дії диференційованих тарифів розглянуті в [2-3]. Проте, незначна кількість енергоспоживачів (менше 5 %), які перейшли на оплату за дифтарифами свідчить про необхідність подальших пошуків дієвих методів та стимулів для зменшення нерівномірності добового електроспоживання.

Діюча система диференційованих тарифів спонукає до перерозподілу навантаження із зон його піку та напівпіку до нічної зони, проте ПС з жорстким технологічним процесом (ТП) та тримінімним режимом роботи обмежені в можливості регулювання режиму електроспоживання. Для таких ПС доцільно застосовувати або адитивне зміщення всього ТП в часі [4], або локальне регулювання у межах технологічного циклу [5], наприклад, методами сітьового планування та управління (СПУ) [6].

При цьому для ПС є важливим аби в результаті регулювання підвищувалась «економічна ефективність» електроспоживання, під якою будемо розуміти економію витрат на оплату ЕЕ за рахунок цілеспрямованого перерозподілу електронавантаження в часі при незмінному обсязі спожитої енергії.

Метою роботи є дослідження можливостей використання методів СПУ для зменшення витрат на оплату ЕЕ за рахунок вирівнювання добового режиму електроспоживання в умовах дії диференційованих тарифів.

Матеріал і результати дослідження. Залежно від способу перетворення матеріалів та енергії, розділимо ТП на 3 групи: неперервні, неперервно-дискретні та дискретні.

Перебудова ТП, а відповідно і режиму енергоспоживання в часі, може відбуватись за рахунок наступних змін:

- a) оптимізації техпроцесу та окремих операцій за критерієм мінімальної енергоємності;
- b) зміни динаміки роботи електроспоживача (швидкості протікання ТП);

с) часової координації взаємодії технологічних операцій, що забезпечує їх паралельне функціонування.

В групі неперервних ТП неможливо здійснити результативний зсув навантажень у часі, але можна зменшити електроспоживання на 5...10 % за рахунок їх оптимізації шляхом зменшення енергоємності виробництва (п. "а"), зсуву в часі допоміжних операцій (п. "б"), переносу до нічної зони окремих з паралельно функціонуючих незалежних операцій (п. "с"), зниження продуктивності виробництва вдень з відповідним збільшенням продуктивності вночі.

В групі неперервно-дискретних ТП можна досягти економії електроенергії в години максимуму навантаження на 10...20 % за рахунок пунктів "а", "б".

В групі дискретних ТП, особливо при однозмінному режимі роботи енергоспоживачів, реально досягається економія до 80 % за рахунок пунктів "а", "б", "с".

Таким чином, найбільш гнучкими є дискретні ТП, яким і слід приділяти основну увагу при регулюванні електроспоживання в умовах дії диференційованих цін.

Використовуючи методи СПУ зменшимо загальну нерівномірність ГЕН, зберігаючи задану послідовність технологічних операцій, тривалість ТП і його енергоємність.

Вихідні дані, необхідні для розрахунків, становлять наступні відомості про ТП: перелік операцій, послідовність їхнього виконання, тривалість та потужність навантаження кожної з них (тривалість окремих операцій і необхідні енергетичні ресурси визначаються за існуючими нормативами та на основі хронометричних замірів).

Така незначна кількість вихідної інформації щодо ТП, яка не потребує специфічних досліджень його особливостей, обумовлює універсальність методів СПУ і можливість їх застосування до ПС з будь-якої галузі [5].

Головним елементом в системі СПУ є сітьова модель (СМ) – інформаційно-динамічна модель, що відображає всі технологічні взаємозв'язки й результати операцій, необхідні для досягнення кінцевого результату.

Проведемо аналіз ефективності застосування методів СПУ на прикладі підприємства харчової галузі промисловості з дискретним ТП, а саме – кондитерського цеху хлібозаводу.

На основі вихідних даних щодо ТП складемо схему СМ кондитерського цеху (рис.1).

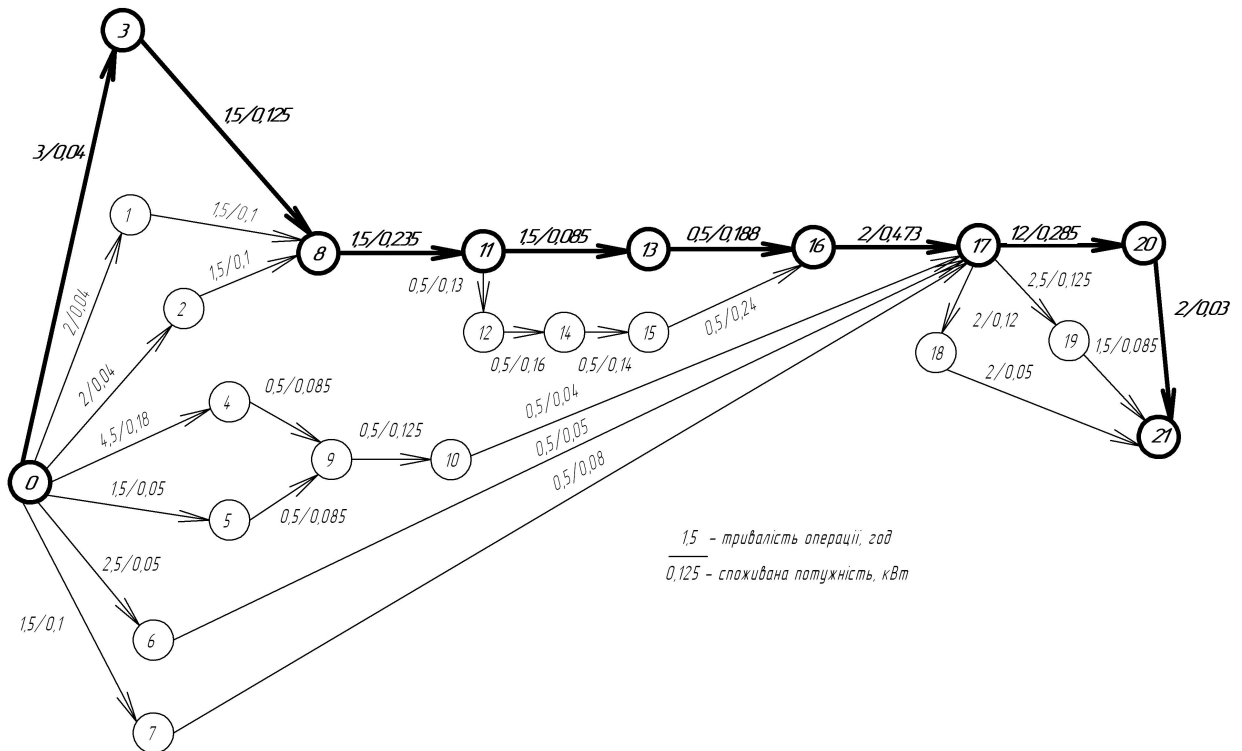


Рисунок 1 – Схема сітьової моделі технологічного процесу

Події на СМ позначені кружками з номерами від 0 до 21. Подією є підсумок

виконання однієї або декількох попередніх операцій. Наприклад, для операції 0-1 (просіювання борошна): 0 – це вихідна подія (означає початок просіювання), 1 – завершальна подія операції (означає закінчення просіювання). Операція являє собою дію, що потребує визначеного часу та ресурсів на виконання, графічно операцію зображують у вигляді напрямлених відрізків, які пов'язують події, із позначенням біля них тривалості операції та спожитої потужності (рис.1). Перелік операцій вказано в табл.1.

На СМ розрізняють декілька шляхів, кожен з яких складається з певної сукупності послідовних операцій. Шлях максимальної тривалості від початкової 0 до кінцевої 21 події є критичним (на рис.1 критичний шлях позначено потовщеною лінією, він становить 24 год). Всі інші шляхи мають меншу тривалість, що й обумовлює наявність резервів часу, які визначаються різницею тривалості критичного і даного шляхів.

Наявні резерви часу дозволяють змістити моменти стартів окремих паралельних операцій в середині технологічного циклу (наприклад, паралельно можуть виконуватися операції шляхів 0-1-8, 0-2-8 та 0-3-8), без впливу на швидкість та якість перебігу інших операцій і ТП в цілому.

Аналітичний метод розрахунку параметрів СМ включає в себе визначення наступних величин: критичного шляху та його тривалості t_{KP} ; найбільш раннього початку T^P та найбільш пізнього із допустимих термінів закінчення подій T^I ; резервів часу подій R ; ранніх строків початку T^{PI} та завершення операцій T^{P3} ; пізніх строків початку T^{PII} та завершення операцій T^{PI3} ; повного резерву часу операції R^I , що для операції $(i-j)$ визначається як: $R_{(i-j)}^I = T_j^I - T_i^P - t_{(i-j)}$, де $t_{(i-j)}$ - тривалість операції.

Саме повний резерв операцій R^I є визначальним при регулюванні режиму електроспоживання, оскільки він показує можливість зсуву операцій вдовж технологічного циклу.

Результати розрахунку параметрів СМ для всіх подій та операцій досліджуваного ТП (рис.1) отримані аналогічно [5] і зведені до табл.1.

Таблиця 1 - Параметри СМ технологічного процесу

Шифр операцій	Найменування операцій	$t_{(i-j)}$, год	T^{PI} , год	T^{PII} , год	T^{P3} , год	T^{PI3} , год	R^I , год
1	2	3	4	5	6	7	8
0-1	Просіювання борошна	2	0	1	2	3	1
0-2	Просіювання цукру	2	0	1	2	3	1
0-3	Підготовка та переробка яєць (миття, дезинфекція, приготування яєчної маси)	3	0	0	3	3	0
0-4	Приготування варення	4,5	0	4	4,5	8,5	4
0-5	Зачистка, подрібнення, нарізання масла	1,5	0	7	1,5	8,5	7
0-6	Очищення та підготовка горіхів та арахісу	2,5	0	7	2,5	9,5	7
0-7	Подрібнення цукру в цукрову пудру	1,5	0	8	1,5	9,5	8
1-8	Дозування, складання борошна	1,5	2	3	3,5	4,5	1
2-8	Дозування, складання цукру	1,5	2	3	3,5	4,5	1
3-8	Дозування, складання яєчної маси	1,5	3	3	4,5	4,5	0
4-9	Перемішування, остигання варення	0,5	4,5	8,5	5	9	4
5-9	Підігрівання, перемішування масла	0,5	1,5	8,5	2	9	7
9-10	Збиття крему	0,5	5	9	5,5	9,5	4
8-11	Перемішування, приготування крему	1,5	4,5	4,5	6	6	0
11-12	Розкачування тіста	0,5	6	6	6,5	6,5	0
11-13	Приготування емульсії	1,5	6	6	7,5	7,5	0
12-14	Охолодження тіста	0,5	6,5	6,5	7	7	0
14-15	Повторне розкачування тіста	0,5	7	7	7,5	7,5	0

Продовження табл.1

1	2	3	4	5	6	7	8
13-16	Переміщення емульсії в накопичувальну ємність та на аератор	0,5	7,5	7,5	8	8	0
15-16	Виготовлення з тіста круасанів	0,5	7,5	7,5	8	8	0
16-17	Випікання виробів	2	8	8	10	10	0
10-17	Транспортування начинки для круасанів	0,5	5,5	9,5	6	10	4
6-17	Транспортування обсипки для тортів	0,5	2,5	9,5	3	10	7
7-17	Транспортування цукрової пудри	0,5	1,5	9,5	2	10	8
17-18	Наповнення начинкою круасанів	2	10	20	12	22	10
17-19	Начинка тортів	2,5	10	20	12,5	22,5	10
17-20	Охолодження напівфабрикатних коржиків	12	10	10	22	22	0
18-21	Зважування та упаковка круасанів	2	12	22	14	24	10
19-21	Прикрашання, обсипка та упакування тортів	1,5	12,5	22,5	14	24	10
20-21	Фасування та упакування напівфабрикатних коржиків	2	22	22	24	24	0

Розглянемо добовий графік електронавантаження (ГЕН) кондитерського цеху (рис.2), який розкладемо на прямокутники, ширина котрих дорівнюватиме тривалості відповідної операції, а висота – споживаній потужності; таким чином, площа кожного прямокутника характеризує спожиту при виконанні операції енергію.

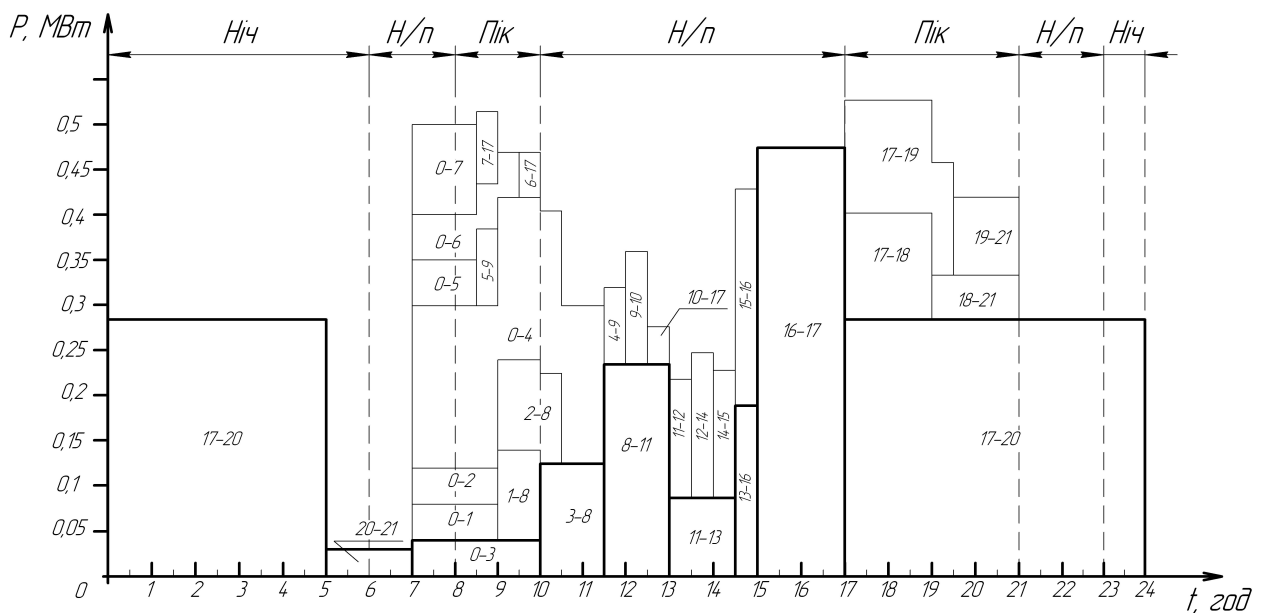


Рисунок 2 - Вихідний графік добового електроспоживання цеху (цифрами $i - j$ позначені шифри операцій, пунктирною лінією виділено межі тарифних зон)

При графічному аналізі ГЕН, спочатку виокремлюють ланцюжок прямокутників для операцій критичного шляху (прямокутники з потовщеною лінією), а над ними надбудовують відповідні некритичні операції за їх раннім початком T^{PII} (табл. 1). Пунктирні лінії вказують межі трьох цінових зон – нічної, напівпікової та пікової [1].

Синтез нового ГЕН (рис.3) слід проводити шляхом перерозподілу моментів стартів та фінішів операцій керуючись двома основними критеріями:

- зменшення нерівномірності добового ГЕН;
- мінімізації плати за диференційованим тарифом.

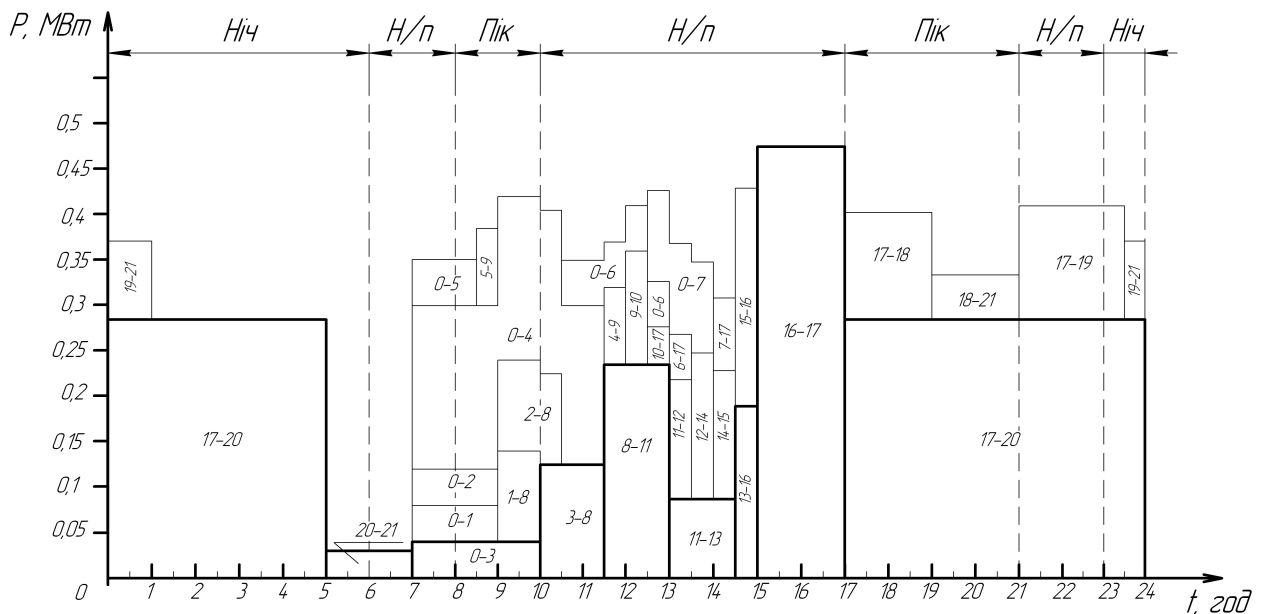


Рисунок 3 - Графік електроспоживання цеху після регулювання

З порівняння рис.2 і рис.3 видно, що в результаті застосування до ТП методів СПУ дотримано обидва критерії – по-перше, зменшилася оплата Π_E за діючим диференційованим тарифом (табл.2), а по-друге, відбулося підвищення рівномірності добового ГЕН, про що свідчать основні показники, розраховані аналогічно до [7] і наведені у табл. 3.

Таблиця 2 – Результати розрахунку оплати за диференційованим тарифом

№ з/п	Зона доби	Варіанти регулювання електроспоживання	
		До регулювання	Після регулювання
1	Добове споживання електроенергії за зонами W_i , кВт · год		
	а) пік	5745	4959
	б) напівпік	7405	8069
	в) ніч	3735	3857
2	Добова оплата електроенергії за зонами Π_E , грн		
	а) пік	8760	7562
	б) напівпік	6855	7471
	в) ніч	1186	1226
3	Разом	16801	16258

Таблиця 3 - Порівняння показників нерівномірності ГЕН до та після регулювання режиму електроспоживання

Варіанти режиму електроспоживання	Основні показники нерівномірності ГЕН				
	$K_{3Г}$	K_M	K_{HP}	K_Φ	Dp
Вихідний	0,6700	1,4925	0,05714	1,5014	0,0157
Після регулювання	0,7217	1,3856	0,06316	1,4836	0,0118

З аналізу наведених у табл. 3 показників нерівномірності ГЕН слідує, що:

- зменшення K_M на 7 % свідчить про скорочення максимального піку ГЕН;
- $K_{3Г}$ збільшився на 7,7 %, а отже, і загальна рівномірність, котру він характеризує зростає (для рівномірного ГЕН $K_{3Г} \rightarrow 1$);
- K_{HP} збільшився на 10,5 %, тобто зменшилась різниця між P_{MIN} та P_{MAX} (зменшився розмах графіку);

- зменшення K_{ϕ} з 1,5014 до 1,4836 говорить про наближення $P_{СРКВ}$ до $P_{СР}$.

Окрім економії в платі за ЕЕ, вирівнювання ГЕН сприяє зменшенню втрат електроенергії в мережах ПС. За відомими значеннями коефіцієнтів форми K_{ϕ} до і після вирівнювання ГЕН (табл.3) при середній величині втрат електроенергії 20,7 % [8] від усїєї споживаної цехом електроенергії, отримаємо величину зменшення втрат δW визначену згідно з [9]:

$$\delta W = \Delta W_n \cdot \left[1 - \frac{K_{\phi 2}^2}{K_{\phi 1}^2} \right] = \frac{20,7\% \cdot 16885}{100\%} \cdot \left[1 - \frac{1,4836^2}{1,5014^2} \right] = 82,382 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

де ΔW_n — електричні втрати в мережі цеху ПС до запровадження заходів із вирівнювання графіка навантаження;

$K_{\phi 1}^2$, $K_{\phi 2}^2$ — коефіцієнти форми графіка відповідно до і після запровадження заходів із вирівнювання графіка навантаження.

Тобто, втрати електроенергії зменшились на 82,382 кВт·год, що в грошовому еквіваленті за добу складає:

$$P_{ВТР} = \delta W \cdot C_0 = 82,382 \cdot 0,9076 = 74,77 \text{ грн}.$$

де C_0 - вартість електричної енергії за одноставковим тарифом для промислових споживачів напругою 10 кВ, грн/кВт·год [1].

Втім, розглянутий метод регулювання ГЕН пов'язаний не лише із економією в оплаті та зменшенням втрат електроенергії в мережах ПС, а й з можливими додатковими витратами. Так, при переносі деяких операцій до нічної зони слід враховувати збільшення фонду заробітної плати та витрат на додаткове освітлення. Наприклад, перенесення операції 19-21, котра виконувалась з 19:30 до 21 години, до зони дії нічного тарифу з 23:30 до 1 години, вимагає залучення до роботи у нічний час додатково двох кондитерів. У табл. 5 показано відповідні перевитрати на заробітну плату кондитерів.

Таблиця 4 - Визначення фонду заробітної плати по змінах *

Посада	Середня годинна ставка	Кількість робітників	Кількість відпрацьованих годин	Основна зарплата, грн	Основна зарплата з відрахуваннями, грн
До регулювання (I, II зміна)					
Кондитер	11,45	2	1	22,9	34,69
Після регулювання (нічна III зміна)					
Кондитер	16,03	2	1	32,06	48,56
РІЗНИЦЯ $\Delta\Phi_{ЗП}$					13,87

* - розраховано згідно з штатним розписом підприємства.

Отже, перевитрати на заробітну плату складуть близько 14 грн на добу; в результаті загальна економія від вирівнювання добового ГЕН складатиме:

$$E = P_E + P_{ВТР} - \Delta\Phi_{ЗП} = 543 + 74,77 - 13,87 \approx 603,9 \text{ грн}.$$

Висновки

1. Методи СПУ дозволяють просто і наочно аналізувати можливість проведення локальних регулювань електроспоживання у межах технологічного циклу. Незначна кількість потрібної вихідної інформації щодо ТП, яка не вимагає специфічних досліджень особливостей ТП, обумовлює універсальність методів СПУ і доцільність їх застосування до ПС будь-яких галузей.

2. В результаті використання виявлених резервів часу у операцій ТП досягнуто збільшення рівномірності добового ГЕН, зменшення втрат електроенергії в мережах ПС і економії в оплаті спожитої електроенергії.

3. Подальшого підвищення рівня економічної ефективності і вирівнювання режиму електроспоживання ПС можна досягти за рахунок поширення регулювання на інші цехи ПС, варіювання швидкості перебігу певних операцій, впровадження заходів з енергоощадження, а також суцільною автоматизацією операцій.

Список літератури

1. <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua/>
2. Розен В.П., Прокопенко В.В., Майстренко В.Е. Тарифы на электрическую энергию как средство выравнивания графиков нагрузки энергосистем: Тезисы докл. конф. "Кризисные ситуации в энергетике: экономическая оценка и моделирование решений по их нейтрализации". – Киев, 1994. – С.38–39.
3. Крутов Г.В., Добровольський В.В., Кучма О.І., Недашковський Ю.В. Економічна ефективність регулювання енергоспоживання в умовах диференційованих тарифів на електричну енергію // Вісник Криворізького технічного університету: Зб. наук. праць. Вип. 28. – Кривий Ріг: КТУ, 2011. – С. 260 – 264.
4. Серебренников Б.С. Маркетинговое управление энергоспоживанням на роздрібному ринку електроенергії // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. праць КНТУ. Вип. 15. – Кіровоград: КНТУ, 2004. – С. 147 – 153.
5. Петрова К. Регулювання режимів електроспоживання промислових підприємств з використанням технологічного ресурсу // Енергетика та системи керування: Матеріали III Міжнародної конференції молодих вчених ЕРЕС-2011. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2011. – С.100 – 103.
6. Кофман А. Сетевые методы планирования и их применение. / А. Кофман, Г. Дебазей – М.: Прогресс, 1968. – 182 с.
7. Петрова К.Г. Порівняльний аналіз типових та реальних добових графіків електричних навантажень промислових споживачів / К.Г. Петрова // Наукові записки КНТУ.– Вип.11. Частина I.– Кіровоград: КНТУ, 2011. – С. 274–278.
8. <http://kiroe.com.ua/>
9. Бондарчук А.С., Поносов В.В.. Прогностичне оцінювання енергетичного, економічного та екологічного ефекту вирівнювання графіка електричного навантаження міста // Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. Вып. 2(32). – Одесса: ОГПУ, 2009. – С. 84 – 87.

INCREASING ECONOMIC EFFICIENCY OF ELECTRICITY CONSUMPTION OF INDUSTRIAL CONSUMERS USING METHODS NETWORK PLANNING AND MANAGEMENT UNDER THE CONDITIONS OF DIFFERENTIAL FARES

S.V. Serebrennikov, K.G. Petrova

A investigated of possibility of using methods of network planning and management in alignment mode power consumption of industrial consumers over time with the use of technological resource. Proven the effectiveness of the proposed method to save the cost of electricity under conditions of constant amount of energy consumed.

Одержано