

- ний випуск «Електроенергетичні та електромеханічні системи». – 2009. – № 637. – С. 3–7.
3. Качан, Ю. Г. О возможности распознавания топологии оптимальной системы электроснабжения / Ю. Г. Качан, В. В. Дьяченко // Гірничі електромеханіка та автоматика. – 2007. – № 78. – С. 3–5.
 4. Заболотний, А. П. Алгоритм визначення проміжних вузлів навантаження радіальних розподільчих мереж / А. П. Заболотний, Д. В. Федоша, К. І. Парусімова, С. В. Усенко // Електротехніка та електроенергетика. – 2010. – № 1. – С. 66–71.

Стаття надійшла до редакції 05.07.2011.

А. П. Заболотний

Побудова структури систем електропостачання, що містять «малу генерацію», на основі принципів декомпозиції і редукції

Запропоновано метод оптимального проектування систем електропостачання, які містять «малу генерацію», на основі принципів декомпозиції і редукції, який реалізує одночасне вирішення задач визначення числа вузлів навантаження, розподілу між ними електроприймачів та враховує дискретність конструктивного виконання елементів системи.

Ключові слова: система електропостачання, мала генерація, вузол навантаження, проектування, декомпозиція, редукція, топологія.

A. P. Zabolotny

Design of the structure of power systems containing «minor generation» based on the principles of decomposition and reduction

In this article the method of optimal design of power systems containing «minor generation», based on the principles of decomposition and reduction, is proposed; it implements the simultaneous solution of the problem of determination of the load nodes number, collector distribution among them, taking into account the discreteness of the system elements embodiment.

Key words: power supply system, minor generation, unit load design, decomposition, reduction, topology.

УДК 620.9:621.311.153

С. В. Серебренніков¹, К. Г. Петрова²

¹Канд. техн. наук, доцент Кіровоградського національного технічного університету

²Аспірант Кіровоградського національного технічного університету

УДОСКОНАЛЕННЯ КРИТЕРІЇВ ПРІОРИТЕТНО-КРОКОВОГО МЕТОДУ РЕГУЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

Досліджено достатність критеріїв пріоритетно-крокового методу для оцінки пріоритетності варіанту вирівнювання графіка електроспоживання у реально досяжних межах зсувів його складових у часі. Доведено необхідність доповнення критеріїв показниками нерівномірності графіку та аналізу динаміки всієї їх сукупності при пошуку найбільш прийняттого варіанту регулювання.

Ключові слова: режим електроспоживання, зсув навантажень у часі, критерії вирівнювання, графік електричних навантажень, показники нерівномірності.

ВСТУП

Нерівномірність добових графіків електроспоживання значно ускладнює забезпечення перманентного балансу електроенергії (ЕЕ).

Підтримання електроенергетичного балансу можна досягти шляхом нарощування маневрових генеруючих потужностей або цілеспрямованим регулюванням режиму електроспоживання у часі. Оскільки більшість генеруючих станцій в Україні є базовими та нерегульованими, то раціонально використовувати саме другий шлях.

АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ПУБЛІКАЦІЙ

У роботах [1–4] висвітлюються технічні та економічні аспекти управління електроспоживанням для його ви-

рівнювання протягом доби. Разом з тим, у зазначених роботах не враховуються специфіка та індивідуальні можливості окремих груп споживачів до регулювання, не пропонується однозначних критеріїв, алгоритмів та моделей, за якими можна було б синхронізувати процес виробництва-споживання ЕЕ в часі. Тому, актуальним є пошук простих інженерних методик, що дозволять знизити загальну нерівномірність графіків електричних навантажень (ГЕН) як окремих споживачів, так і об'єднаної енергосистеми (ОЕС) в цілому.

Метою даної роботи є удосконалення критеріїв пріоритетно-крокового методу для оцінки пріоритетності варіанту регулювання у реально досяжних часових межах для вирівнювання загального споживання електроенергії промисловими споживачами (ПС) обласних енергокомпаній (ЕК).

ВИКЛАДЕННЯ МАТЕРІАЛУ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Найбільш потужним сегментом за електроспоживанням є промислові підприємства [2, 3], крім того, цей сегмент є досить гнучким в плані регулювання режиму електроспоживання.

Впливати на споживачів електроенергетичного ринку можна за допомогою декількох важелів, зокрема: техніко-технологічних, економічних, нормативних, організаційних, адміністративних, інформаційно-пропагандистських тощо.

Для ПС найбільш властивими є нормативні та техніко-технологічні методи впливу. Одним з таких методів є пріоритетно-кроковий (ПКМ), або так званий, кореляційно-резонансний метод [1]. Головною перевагою даного методу є його універсальність, оскільки він може бути застосований на будь-якому рівні системи – від окремих ділянок цехів до ОЕС в цілому.

Проте, як показали проведені дослідження, результат застосування ПКМ в реальних умовах не завжди відповідає поставленому завданню, а його критерії – не є однозначними.

В процесі реалізації ПКМ нами було опрацьовано понад 700 режимних ГЕН діючих ПС різних галузей; вони були проранжовані за формою та потужністю і об'єднані у 10 груп за значенням коефіцієнта кореляції графіків ПС з графіком ЕК. Група ПС з максимальним значенням коефіцієнта кореляції обрана для подальших досліджень.

Розглянемо ГЕН двох найбільш енергоємних галузей в обласному сегменті «Промисловість» – машинобудування з потужністю 534,7 МВт, що складає 25,8% від всього сегменту (крива 1 на рис. 1, а) та паливної з потужністю 553,1 МВт, що становить відповідно 26,7% (крива 2 на рис. 1, а). Шляхом зсуву ГЕН цих двох галузей один відносно одного та відносно третього графіку для решти галузей сегменту «Промисловість» (крива 3 на рис. 1, а)

досягаємо зменшення нерівномірності сумарного графіку всього сегменту (рис. 2) (при цьому загальне енергоспоживання залишається сталим). Вибір найкращого варіанту зсуву проводиться за критерієм мінімальних значень взаємкореляційної функції (ВКФ) та дисперсії сумарного графіка, отриманого після зсуву [1].

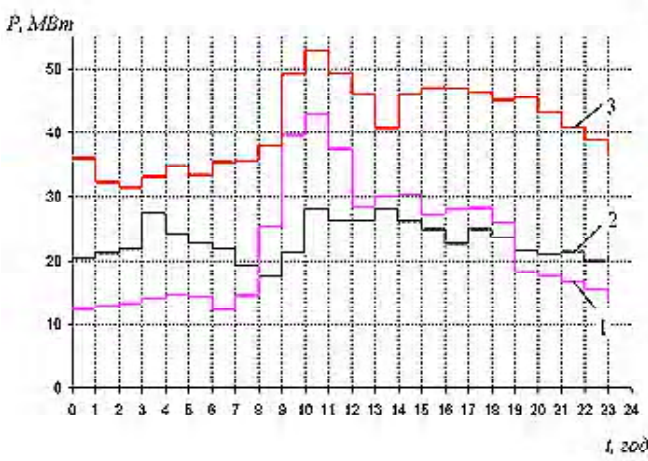
Формула для визначення ВКФ двох періодичних графіків має вигляд

$$k(p_{RS}(\tau)) = \frac{1}{t_{Ц}} \left[\int_0^{t_{Ц}-\tau} p_R(t)p_S(t+\tau)dt + \int_{t_{Ц}-\tau}^{t_{Ц}} p_R(t)p_S(t-t_{Ц}+\tau)dt \right] - p_R p_S, \quad (1)$$

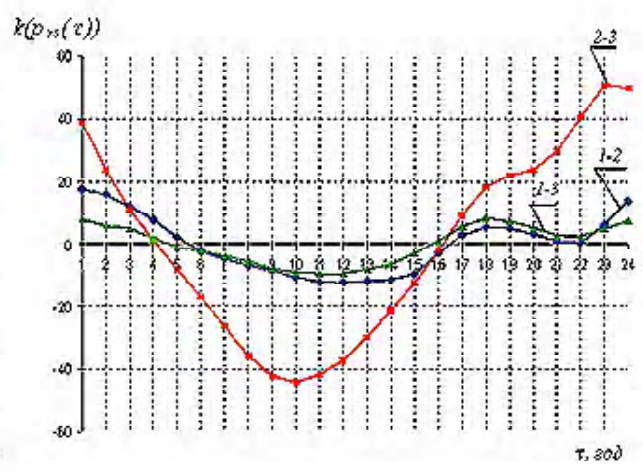
де $\tau = t_{RS}$ – значення зсуву між першим та другим графіками, год; $t_{Ц}$ – тривалість циклу, $t_{Ц} = 24$ год; $p_R(t)$; $p_S(t)$ – потужність обох ГЕН у момент t , МВт; p_R – середня потужність першого ГЕН, МВт; p_S – середня потужність другого ГЕН, МВт.

Із розрахованих за (1) і наведених на рис. 1, б кривих зміни ВКФ при погодинному зсуві ГЕН у межах $\tau = 1 \dots 24$ год видно, що мінімуми ВКФ, а відповідно й дисперсії Dp_{Σ} , сумарного графіка «Промисловості» припадають на вершини параболічноподібних залежностей, тобто – на 10...11-годинний зсув першого і другого графіків відносно третього (на рис. 1, а).

Такі значні зсуви є оптимальними з точки зору максимального вирівнювання сумарного графіка сегменту «Промисловість»; у разі їх реалізації отримаємо максимально згладжений графік (крива 2 на рис. 2, а). Дисперсія вихідного ГЕН промисловості становить 272,91, дисперсія при теоретично оптимальному зсуві зменшиться до 59,39.



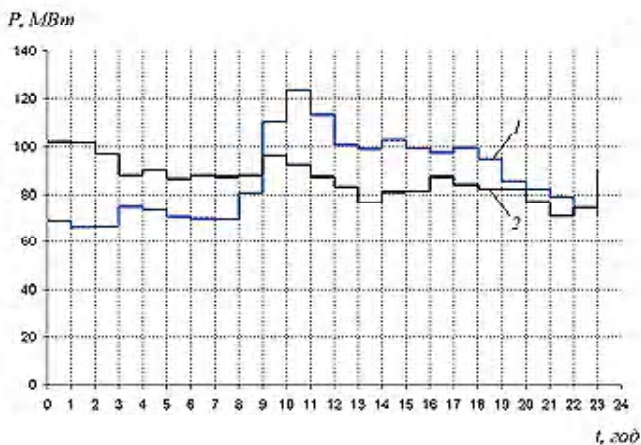
а)



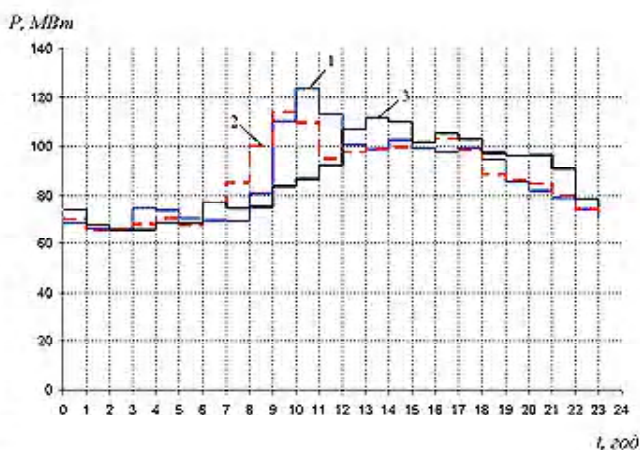
б)

Рис. 1:

а) Добові ГЕН відокремлених за потужністю галузей промисловості (1 – машинобудівна галузь, 2 – паливна галузь, 3 – решта галузей промисловості); б) залежність ВКФ від взаємного зсуву ГЕН галузей у часі (крива 1–2 – машинобудування відносно паливної галузі; 2–3 – паливна галузь відносно решти галузей промисловості; 1–3 – машинобудівна галузь відносно решти галузей промисловості)



а)



б)

Рис. 2:

а) Вихідний (1) та отриманий шляхом оптимальних зсувів ГЕН галузей (рис.1а) деформований (2) графіки сегменту «Промисловість» б) Порівняння ГЕН сегменту «Промисловість»: 1 – вихідний, 2 – після зсуву ГЕН галузей за варіантом 1, 3 – після зсуву за варіантом 2

При цьому, ефект вирівнювання підтверджується не тільки мінімальними значеннями ВКФ і D_p , а й всіма основними показниками нерівномірності ГЕН [5] – $K_{3Г}$, K_M , K_{HP} , K_Φ (див. табл. 1).

Проте, на практиці зреалізувати теоретично оптимальний зсув ГЕН на 10...11 год є проблематичним, а тому, необхідно розглядати інші, більш реальні діапазони зсувів – на 1...2 (або на 22...23) години.

При регулюванні графік 3 на рис. 1, а залишаємо зафіксованим у часі, а графіки 1 та 2 – зміщуємо відносно нього.

Обґрунтування першого варіанту зсуву проводимо за результатом аналізу на мінімум ВКФ тих ділянок залежностей з рис. 1, б, які розташовані у межах $\tau = |1...2|$ (лівий або правий край кривих на рис. 1, б). Для залежності 2–3 спостерігається наступне співвідношення значень ВКФ: $k(p_{23}(23)) > k(p_{23}(22)) > k(p_{23}(1)) > k(p_{23}(2))$, що говорить про перевагу варіанту дво-годинного зсуву ГЕН паливної галузі відносно графіку всіх інших галузей промисловості. Для кривої 1–3 $k(p_{13}(1)) > k(p_{13}(2)) > k(p_{13}(23)) > k(p_{13}(22))$, тобто пріоритетним є 22-годинний зсув машинобудівної галузі відносно всіх інших галузей промисловості. Таким чином, ГЕН машинобудівної та паливної галузі зміщуються у різні боки на 2 години, в результаті чого дисперсія результуючого ГЕН (рис. 2, б, крива 2) зменшилась ($220,35 < 272,91$).

В процесі аналізу інших варіантів регулювання виявлено, що при зсуві ГЕН обох галузей в один бік на 22 години (2-й варіант), результуючий ГЕН (рис. 2, б, крива 3) характеризується дещо більшою дисперсією ($223,3 > 220,35$). Але інші показники нерівномірності ($K_{3Г}$, K_M , K_{HP}) свідчать про вищий ступінь вирівнювання саме у 2-му варіанті (табл. 1).

Таким чином, спостерігається певне протиріччя між значеннями критеріїв вирівнювання у двох варіантах регулювання (табл. 1): D_p та K_Φ свідчать про покращення режиму споживання при 1-му варіанті, натомість $K_{3Г}$, K_M , K_{HP} – про погіршення порівняно з 2-м варіантом.

Отже, запропонований у [1] критерій не є достатнім при розгляді можливих для реалізації на практиці варіантів вирівнювання ГЕН. Необхідно аналізувати весь комплекс показників, а критерієм кращого варіанту вирівнювання є наступна динаміка сукупності всіх параметрів:

$$\begin{cases} (D_p, K_\Phi, K_M) \downarrow; \\ (K_{3Г}, K_{HP}) \uparrow. \end{cases} \quad (2)$$

Тобто, лише при повному виконанні усіх умов системи (2) можна говорити про однозначне покращення режиму електроспоживання; проте, у випадку, коли хоча б один з показників нерівномірності відрізняється за своєю динамікою, необхідним є додаткове експертне дослідження результатів вирівнювання ГЕН у відповідності з основною метою регулювання і розглядом конкретної ситуації.

Крім організаційно-адміністративного методу, яким можна досягти потрібного зміщення ГЕН, серйозний вплив на стимулювання до регулювання власного режиму електроспоживання ПС мають й економічні важелі, зокрема – оплата P_E електроенергії за диференційованим тарифом. У табл. 2 наведені результати розрахунку оплат ЕЕ для трьох розглянутих варіантів зсувів ГЕН.

Порівняння оплат показало, що $P_E \text{ без зсуву} > P_E(1\text{вар}) > P_E(2\text{вар}) > P_E \text{ теор.онт}$. При реально досяжному зсуві критерій $P_E \rightarrow \min$ також свідчить про вигідність для споживачів саме 2-го варіанту регулювання.

Отже, для підсилення економічної зацікавленості ПС у вирівнюванні ГЕН ЕК і ОЕС необхідне подальше удосконалення системи диференційованих тарифів, оскільки критерій $P_E \rightarrow \min$ для споживачів є важливішим за всі інші критерії із (2). Тому величину оплати P_E слід використовувати як додатковий критерій вирівнювання:

$$\begin{cases} (D_p, K_\Phi, K_M, P_E) \downarrow; \\ (K_{3Г}, K_{HP}) \uparrow. \end{cases} \quad (3)$$

Таблиця 1. Результати розрахунку показників нерівномірності ГЕН «Промисловості» за розглянутими варіантами регулювання

Варіанти	Основні показники нерівномірності графіків навантажень				
	$K_{3Г}$	K_M	K_{HP}	K_Φ	D_p
До зсуву	0,6981	1,4325	0,5363	1,0181	272,9052
Теоретично оптимальний зсув	0,847	1,18	0,6951	1,004	59,39
Практично можливий зсув (варіант 1)	0,7574	1,3202	0,5758	1,0146	220,353
Практично можливий зсув (варіант 2)	0,7737	1,2925	0,5882	1,0148	223,304

Таблиця 2. Оплата електроенергії за диференційованим тарифом при різних варіантах регулювання електроспоживання

Зона доби	Варіанти регулювання електроспоживання			
	Без зсуву	Реальні зсуви		Теоретично оптимальний зсув
		1 варіант	2 варіант	
Добова оплата за електроенергію P_E , грн				
ніч	110443	109295	109858	146799
напівпік	660705	672178,5	678473	603400
пік	621593	608201,9	595135	541464
Всього	1392740	1389676	1383470	1291663

ВИСНОВКИ

1. Досліджено критерії регулювання режиму електроспоживання за мінімумом взаємкореляційної функції та дисперсії. Визначено, що теоретично оптимальні з точки зору максимального вирівнювання сумарного ГЕН зсуви його складових становлять занадто велике значення – 10...11 год.

2. При регулюванні у реальних межах в 1...2 год виявлено протиріччя між критеріями вирівнювання за D_p , K_Φ і за $K_{3Г}$, K_M , K_{HP} , P_E , тому під час регулювання слід проводити аналіз всього комплексу показників (3) для вибору найбільш прийняттого варіанту.

3. Для підсилення економічної зацікавленості ПС у вирівнюванні ГЕН ОЕС необхідно удосконалити системи диференційованих тарифів та здійснювати пошук нових ефективних методів прямого впливу на добовий попит.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гордеев, В. И. Регулирование максимума нагрузки промышленных электрических сетей / В. И. Гордеев. – М. : Энергоатомиздат, 1986. – 184 с.

2. Розен, В. П. Використання внутрішніх резервів технологічних процесів при керуванні режимами електроспоживання промислових підприємств / В. П. Розен, М. В. Прокопеч // Автоматизація виробничих процесів. – 2006. – № 1(22). – С. 26–30.
3. Розен, В. П. Алгоритм и многокритериальная модель управления режимом электропотребления промышленного предприятия в условиях ограниченной энергосистемы / В. П. Розен, А. Н. Закладный // Энергетика та електрифікація. – 2009. – № 2. – С. 41–44.
4. Праховник, А. В. Контроль ефективності енерговикористання – ключові проблеми управління енергозбереженням / А. В. Праховник, В. Ф. Находов, О. В. Бориченко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2009. – № 8. – С. 41–54.
5. Петрова, К. Г. Порівняльний аналіз типових та реальних добових графіків електричних навантажень промислових споживачів / К. Г. Петрова // Наукові записки КНТУ. – Вип. 11. (Ч I). – Кіровоград : КНТУ, 2011. – С. 274–278.

Стаття надійшла до редакції 24.10.2011.

С. В. Серебренников, Е. Г. Петрова
Усовершенствование критериев приоритетно-шагового метода регулирования электропотребления
 Исследована достаточность критериев приоритетно-шагового метода для оценки приоритетности варианта выравнивания графика электропотребления в реально достижимых границах сдвигов его составляющих

во времени. Доказана необходимость дополнения критериев показателями неравномерности графика и анализу динамики всей их совокупности при поиске наиболее приемлемого варианта регуляции.

Ключевые слова: режим электропотребления, сдвиг нагрузок во времени, критерии выравнивания, графики электрических нагрузок, показатели неравномерности.

S. V. Serebrennikov, K. G. Petrova

Improvement of the criteria of priority-step method regulation of power consumption

The criteria sufficiency of priority-step method for assessment of the power consumption graph alignment option priority in really achievable shift borders of its over time components were investigated. It was proved the necessity of criteria supplement with indicators of uneven graph of power consumption and analysis of the whole set dynamics in finding the most appropriate regulatory option.

Key words: regime of power consumption, the offset loadings in time, the criteria for equalization, schedule of electric loads, uneven indicators.

УДК.681.518.54

Д. Г. Алексеевский¹, П. Д. Андриенко², В. П. Метельский³, И. Ю. Немудрый⁴

¹Канд. техн. наук, доцент Запорожской государственной инженерной академии

²Д-р техн. наук, проф. Запорожского национального технического университета

³Канд. техн. наук, проф. Запорожского национального технического университета

⁴Аспирант Запорожского национального технического университета

АНАЛИЗ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ВЕТРОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ С АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ МУЛЬТИПЛИКАЦИЕЙ

Изложены результаты моделирования режимов работы ветроэлектрической установки с аэродинамической мультипликацией при переменной частоте вращения турбин. Предложены основные технические средства для повышения их эффективности работы.

Ключевые слова: ветроэлектрическая установка, турбина, мощность, эффективность.

Создание нового класса ветроэлектрических установок (ВЭУ) с аэродинамической мультипликацией требует детального анализа их характеристик.

Основные соотношения, определяющие характеристики ВЭУ с аэродинамической мультипликацией, получены в [1].

В работе [2] методом математического моделирования было показано, что ВЭУ с аэродинамической мультипликацией при постоянных оборотах ветротурбин обладает эффектом автостабилизации электромеханической системы в оптимальном режиме при работе на сеть большой мощности с переменной скоростью вращения ветроколеса ВЭУ в относительно широком диапазоне изменения скорости ветрового потока. Вместе с тем, при скорости ветрового потока (V_B) менее $0,5 \div 0,6 (V_{вн})$ наблюдается отклонение мощности ВЭУ от оптимальной.

Целью статьи является поиск технических решений, позволяющих повысить эффективность ВЭУ при относительно низких скоростях ветрового потока.

С использованием математической модели работы [2] были проведены исследования поведения электромеханической системы при изменении скорости вращения турбин ветрогенераторов ВЭУ типа ТГ-750. Результаты моделирования представлены на рис. 1 зависимостью относительной максимальной мощности от относительной скорости ветрового потока.

Из полученных зависимостей следует, что максимальный отбор мощности может быть получен при переменных скоростях вращения турбин ω_{21} и ветроколеса ω_{11} . При этом полностью исчезает «вентиляторный» эффект ВЭУ при малых ветровых потоках.

Реализация такого способа управления достаточно сложна, т. к. требует измерения большого количества параметров и учета нелинейностей уравнений динамики [4].

Анализ статической характеристики (рис. 1) показывает, что работа ВЭУ при скоростях ветрового потока менее 2 м/с мало эффективна, т.к. генерируемая мощность относительно мала и соизмерима с механическими потерями.

Из зависимости $P_{\max} f(V) f(V_B^*)$ (рис. 1) следует, что технически наиболее целесообразно перейти на работу ветротурбин с постоянной частотой вращения $\approx 0,5 \omega_n$. При этом ВЭУ снова приобретает свойства автостабилизации ее работы в оптимальном режиме, отбор мощности ветрового потока возрастает на величину $(0,01 \div 0,02) P_n$. Поскольку в этом режиме генератор работает с частотой ≈ 25 Гц, то для согласования с сетью необходим преобразователь, в качестве которого может быть использован двухзвенный преобразователь с автономным или ведомым сетью инвертором. При этом требуемая мощность преобразователя уменьшается примерно в 4 раза. Поддержание стабильной частоты вращения обеспечивается регулятором частоты. Вариант реализации такого алгоритма приведен в работе [3].

В [2, 4] показано, что для повышения эффективности ВЭУ ось турбины устанавливается на неповоротных частях лопасти ветроколеса, под некоторым оптимальным углом α в плоскости вращения ветроколеса.

При этом, скорость набегающего на турбины потока V_2 определяется соотношением [4]