

ПОБУДОВА ОПТИМАЛЬНИХ РОЗРАХУНКОВИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОБАЛАНСІВ ВИРОБНИЧО-ГОСПОДАРСЬКИХ ОБ'ЄКТІВ

В. Ф. Находов, канд. техн. наук., О. В. Бориченко, інж., О. О. Мусатова, студ. (НТУУ «КПІ»)

Проанализированы методы построения энергетических балансов технологических и производственно-хозяйственных объектов. Предложено направление дальнейшего усовершенствования методики построения балансов потребления электрической энергии на основе методов оптимального программирования для определения наиболее достоверной структуры расходной части баланса.

Ключевые слова: баланс, потребление, электричество, энергия, оптимизация, модель электробаланса.

Проаналізовано методи побудови енергобалансів для технологічних та виробничо-господарських об'єктів. Запропоновано напрямок подальшого удосконалення методики побудови балансів споживання електричної енергії, який базується на застосуванні методів оптимального програмування для визначення найбільш достовірної структури витратної частини балансу.

Ключові слова: баланс, споживання, електрична енергія, оптимізація, модель електробалансу.

Methods for forming power balances for technological and productive objects are analyzed. The direction of further improvement the method for forming power consumption balances which is based on methods of optimal programming to determine the most reliable structure of expense side of balance is suggested.

Key words: balance, consumption, electricity, energy, optimization, power balance model.

Вступ. Необхідність практичного розв'язання задач енергозбереження в усіх ланках національної економіки, насамперед, у промисловості, яка є найбільшим споживачем палива та енергії всіх видів, стає все більш нагальною. Для досягнення бажаних результатів у сфері енергозбереження потрібно здійснювати управління цими процесами як на державному рівні, так і на конкретних підприємствах, в організаціях чи установах. При цьому обов'язковою і надзвичайно важливою функцією такого управління є систематичний контроль та аналіз ефективності використання ПЕР на відповідних об'єктах [1].

Як відомо, в Україні оцінка та контроль енергоефективності, зокрема, у промисловості традиційно здійснюється шляхом нормування питомих витрат палива та енергії, яке у свою чергу базується на побудові, аналізі та раціоналізації енергетичних балансів виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ, їх структурних підрозділів тощо) [2]. Тому надзвичайно важливо, щоб енергетичні баланси, які будуються з метою контролю та аналізу енергоспоживання відповідних господарських об'єктів, були якомога більш точними і максимально об'єктивно відображали реально існуючі напрямки та обсяги корисного споживання і втрат палива чи енергії.

Метою статті є розроблення об'єктивної процедури побудови розрахункових моделей електробалансів, яка була б достатньо обґрунтованою і дозволяла визначати найбільш реальну структуру витратної частини балансів електроспоживання.

Аналіз традиційних методів побудови електричних балансів виробничо-господарських об'єктів. Теоретично для побудови енергобалансів будь-яких технологічних чи виробничо-господарських об'єктів можуть бути застосовані експериментальний (дослідний), розрахунково-аналітичний або комбінований методи, останній з яких являє собою поєднання двох попередніх методів [4, 5].

Найбільш точно енергобаланси технологічних об'єктів (машин, установок, агрегатів, окремих технологічних процесів тощо) можуть бути отримані експериментальним (дослідним) методом. Однак застосування цього методу для отримання енергетичних балансів господарських об'єктів (підприємств, організацій, установ, їх структурних підрозділів) здебільшого є просто неможливим, оскільки у цьому випадку мова йде про необхідність проведення синхронізованих у часі вимірювань у багатьох десятках чи навіть сотнях пунктів. Тому про використання експериментального методу для побудови енергобалансів господарських об'єктів мова може йти лише у тому випадку, якщо підприємство, організація чи установа має розгалужену систему технічного обліку енергоспоживання, зокрема відповідну автоматизовану систему обліку. Проте на сьогоднішній день переважна частина господарських об'єктів таких систем обліку не має.

Найбільш реальним для побудови енергобалансів різних виробничих об'єктів традиційно вважається комбінований метод. Однак практичне застосування цього методу також є суттєво обмеженим, зокрема, через неможливість отримання з зазначених вище причин необхідних експериментальних даних.

Таким чином, для побудови балансів споживання електричної енергії для різних виробничо-господарських об'єктів зараз фактично використовується лише один метод – розрахунково-аналітичний. При використанні цього методу обсяги споживання електричної енергії для більшості установок та агрегатів на практиці визначаються за спрощеною розрахунковою формулою, тобто як добуток їх номінальної потужності на коефіцієнт завантаження і на тривалість роботи у відповідному періоді. Очевидно, що застосування такої спрощеної розрахункової формули не тільки не дозволяє враховувати конкретні умови та режими роботи обладнання на тому чи іншому підприємстві, але й створює низку додаткових проблем, що виникають при нормалізації питомих витрат електричної енергії [2, 3]. Зокрема, коефіцієнт завантаження та тривалість роботи обладнання, що використовуються в зазначеній спрощеній формулі, здебільшого являють собою невизначені параметри, числові значення яких необґрунтовані відповідними експериментальними вимірюваннями, розрахунками або технологічною документацією. Таким чином, на сьогоднішній день баланси споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, що

складаються з використанням розрахунково-аналітичного методу, фактично будуються в умовах невизначеності та неточності вихідних даних.

При цьому числові значення коефіцієнтів завантаження кожного з видів обладнання при побудові електробалансів, як правило, визначаються на основі відповідної довідкової літератури (наприклад, [8]). Однак зрозуміло, що довідкові коефіцієнти є середньостатистичними величинами і здебільшого не відповідають конкретним виробничим умовам того чи іншого підприємства; до того ж їх величини наводяться у досить широкому діапазоні. Очевидно, що прийняття різних можливих значень довідкових коефіцієнтів завантаження (наприклад, мінімальних або максимальних) дуже помітно впливає на результати розрахунку обсягу споживання електроенергії того чи іншого виду обладнання. Тому необхідна точність побудови балансу споживання електроенергії на об'єкті досягається шляхом виконання численних ітеративних розрахунків, в ході яких підбираються найбільш достовірні значення коефіцієнтів завантаження відповідних установок чи агрегатів.

Те ж саме стосується тривалості роботи устаткування, достовірні значення якої також визначаються шляхом підбору. Очевидно, що при такому підході не можна очікувати, що прийняті в результаті ітеративних розрахунків значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного з видів обладнання відповідати їх реальним величинам.

Отже, можна сказати, що електробаланси виробничо-господарських об'єктів, одержані розрахунково-аналітичним методом, в дійсності являють собою не фактичні чи планові баланси, а деякі їх розрахункові моделі, причому процедура побудови таких моделей не є чітко визначеною і значною мірою має суб'єктивний характер.

Постановка задачі. Зазначені обставини призводять до того, що при достатньо хорошому збігу розрахункового та фактичного обсягів споживання електроенергії по господарському об'єкту в цілому розподіл загального електроспоживання між підрозділами та окремими видами обладнання здебільшого виявляється суттєво спотвореним і не відповідає структурі витратної частини фактичного електробалансу. Тобто, одержані таким чином розрахункові моделі балансів споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів не є достатньо адекватними їх реальним балансам.

Таким чином, цілком очевидно, що в існуючих умовах удосконалення і подальший розвиток методів побудови балансів споживання електричної енергії на господарських об'єктах є задачею важливою і актуальною. Не менш очевидно також, що для об'єктів, не оснащених автоматизованими системами обліку споживання електроенергії, мова може йти про удосконалення методів побудови розрахункових моделей їх електробалансів. При цьому перш за все необхідно розробити певну об'єктивну процедуру побудови таких моделей, яка була б достатньо обґрунтованою і дозволяла визначати найбільш реальну структуру витратної частини балансів електроспоживання.

Опис побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів. Як свідчить практика, спеціалісти та експлуатаційний персонал підприємства (енергетики, технологи,

виробничі менеджери тощо) зазвичай мають досить чітке уявлення про межі, в яких з досить високою ймовірністю знаходяться фактичні значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи тих чи інших установок, до роботи яких ці працівники мають безпосереднє відношення.

Отже, з метою побудови найбільш реальних балансів споживання електричної енергії на виробничо-господарських об'єктах цілком можливим і доцільним є попереднє встановлення інтервалів, в яких знаходяться фактичні значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного виду обладнання. Для одержання обґрунтованих результатів визначення меж таких інтервалів необхідно використовувати відомі процедури експертного опитування відповідних спеціалістів [6, 7].

Виходячи з того, що для будь-якого виробничо-господарського об'єкту на основі даних обліку завжди є точно відомим фактичний загальний обсяг споживання електричної енергії за період, на який необхідно побудувати електробаланс, визначення найбільш реальної структури його витратної частини може бути сформульоване як задача оптимального програмування. В процесі розв'язання цієї задачі необхідно визначити такі числові значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи кожного виду обладнання, при яких розрахунковий обсяг споживання електроенергії на об'єкті буде мінімально відрізнятися від фактичного обсягу його електроспоживання за один чи декілька відповідних попередніх періодів.

Таким чином, цільова функція такої оптимізаційної задачі має вигляд:

$$z = (W_{\text{факт}} - W_{\text{розра}})^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

де $W_{\text{факт}}$ – фактичний загальний обсяг споживання електричної енергії на виробничо-господарському об'єкті за певний період, кВт·год; $W_{\text{розра}}$ – розрахунковий обсяг витрати електричної енергії на цьому об'єкті для того ж періоду, кВт·год.

Як зазначалося, при застосуванні розрахунково-аналітичного методу для визначення обсягу споживання електроенергії на будь-якому виробничо-господарському об'єкті використовується спрощена формула

$$W_{\text{розра}} = \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}i} \cdot k_i \cdot T_i, \quad (2)$$

де n – кількість видів обладнання, що споживає електричну енергію; $P_{\text{вст}i}$ – загальна встановлена потужність обладнання i -го виду, кВт; k_i – середній коефіцієнт завантаження відповідного обладнання; T_i – середня тривалість роботи цього обладнання, год.

Враховуючи залежність (2), цільова функція оптимізаційної задачі, що розглядається, остаточно може бути записана у такому вигляді:

$$z = \left(W_{\Sigma} - \sum_{i=1}^n P_{\text{вст}i} \cdot k_i \cdot T_i \right)^2 \rightarrow \min. \quad (3)$$

Очевидно, що на числові значення всіх змінних k_i та T_i , що входять до цільової функції (3), повинні бути накладені обмеження, які мають вигляд нерівностей:

$$\begin{aligned} k_{i,\min} \leq k_i \leq k_{i,\max}, \quad k_i > 0; \\ T_{i,\min} \leq T_i \leq T_{i,\max}, \quad T_i > 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Відповідні мінімальні та максимальні величини змінних, що входять до нерівностей (4), визначаються на основі результатів експертного опитування відповідних спеціалістів щодо інтервалів значень, в яких знаходяться фактичні коефіцієнти завантаження та тривалості роботи кожного виду обладнання.

Таким чином, визначення найбільш реальної структури витратної частини балансу споживання електричної енергії на будь-якому виробничо-господарському об'єкті являє собою задачу квадратичного програмування з обмеженнями, для розв'язання якої можна скористатися одним з методів прямого пошуку оптимального значення цільової функції n змінних, зокрема методом Хука–Дживса [9, 10].

Можливість та доцільність практичного застосування методики побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів, створеної авторами цієї статті, може бути проілюстрована на прикладі побудови балансу споживання електричної енергії однією з технологічних ліній підприємства з виробництва кабельної продукції, а саме лінії виробництва мідної катанки. Склад основного та допоміжного обладнання цієї лінії, що споживає електричну енергію, встановлена потужність, прийняті значення коефіцієнтів завантаження та тривалості роботи цього обладнання, а також відповідні розрахункові обсяги річного електроспоживання наведені в табл. 1.

Дані табл. 1 є реальними, оскільки вони являють собою частину розрахунків, виконаних для встановлення і затвердження норм питомої витрати електричної енергії для одного з підприємств з виробництва кабельної продукції.

З метою визначення оптимальних значень коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи обладнання T_i авторами цієї статті розроблена програма для ПЕОМ, що базується на використанні метода Хука–Дживса. Результати розв'язання цієї задачі для зазначеної вище технологічної лінії виробництва мідної катанки, а також їх порівняння з відповідними розрахунковими величинами наведено в табл. 2 та на рис. 1 і 2.

Таблиця 1. Розрахункові значення витрат електричної енергії технологічною лінією з виробництва мідної катанки

№ п/п	Найменування енергоспоживаючого обладнання	Встановлена потужність одиниці обладнання, кВт	Кількість одиниць обладнання, шт.	Загальна встановлена потужність обладнання, кВт	Розрахунковий коефіцієнт завантаження обладнання	Середня потужність обладнання, кВт	Розрахункова тривалість роботи за рік, год	Розрахункове річне електроспоживання, кВт·год
Дільниця кабелю–дроту–жили								
Виробництво мідної катанки								
Технологічне обладнання								
1	Піч плавильна S7T400	460	1	460	0,8	368	8006	2946208
2	Ливарна витяжна машина	16,5	1	16,5	0,8	13,2	8006	105679,2
3	Піч роздаточна	190	1	190	0,8	152	8006	1216912
4	Намотувальне обладнання	0,46	10	4,6	0,6	2,76	8006	22096,56
5	Дистилятор	2	2	4	0,7	2,8	8006	22416,8
Всього:								4313313
Допоміжне обладнання								
6	Кран-балка, Q = 10 т, № 72334	30	1	30	0,6	18	2001,5	36027
7	Освітлення ДРЛ	0,4	21	8,4	1,12	8,4672	4336,583	36718,72
Всього:								72745,72
Всього по дільниці:								4386058

Таблиця 2. Порівняння результатів визначення оптимальних значень коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи обладнання T_i з їх розрахунковими величинами

Найменування енергоспоживаючого обладнання	Розрахунковий коефіцієнт завантаження обладнання	Оптимальний коефіцієнт завантаження обладнання	Похибка результату, %	Розрахункова тривалість роботи за рік, год.	Оптимальна тривалість роботи за рік, год.	Похибка результату, %
Піч плавильна S7T400	0,8	0,8	0	8006	7980	0,32
Ливарна витяжна машина	0,8	0,85	6,25	8006	7982	0,3
Піч роздаточна	0,8	0,8	0	8006	7960	0,57
Намотувальне обладнання	0,6	0,65	8,33	8006	7978	0,35
Дистилятор	0,7	0,75	7,14	8006	7978	0,35
Кран-балка, $Q=10$ т № 72334	0,6	0,65	8,33	2001,5	1980	1,07
Освітлення	1,12	1,15	2,68	4336,583	4260	1,77
Середня похибка результатів	X	X	4,68	X	X	0,68

Як свідчать дані табл. 2, оптимальні значення коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи T_i кожного виду обладнання несуттєво відрізняються від їх розрахункових величин.

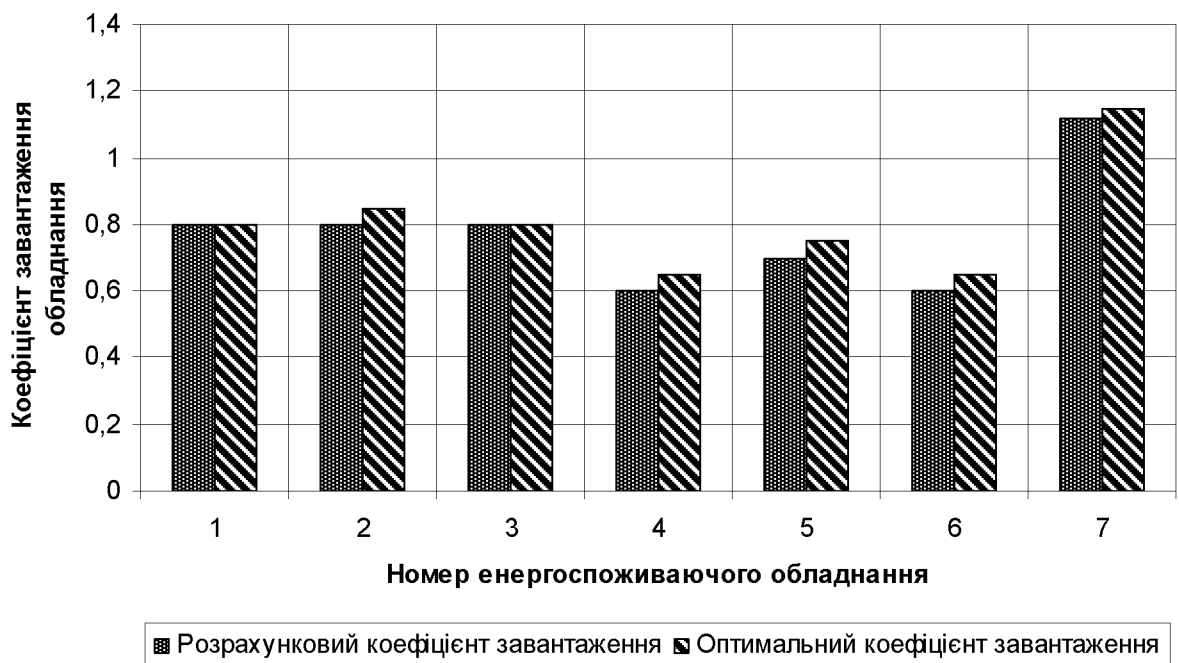


Рис. 1. Порівняння оптимальних та розрахункових значень коефіцієнтів завантаження енергоспоживаючого обладнання технологічної лінії виробництва мідної катанки

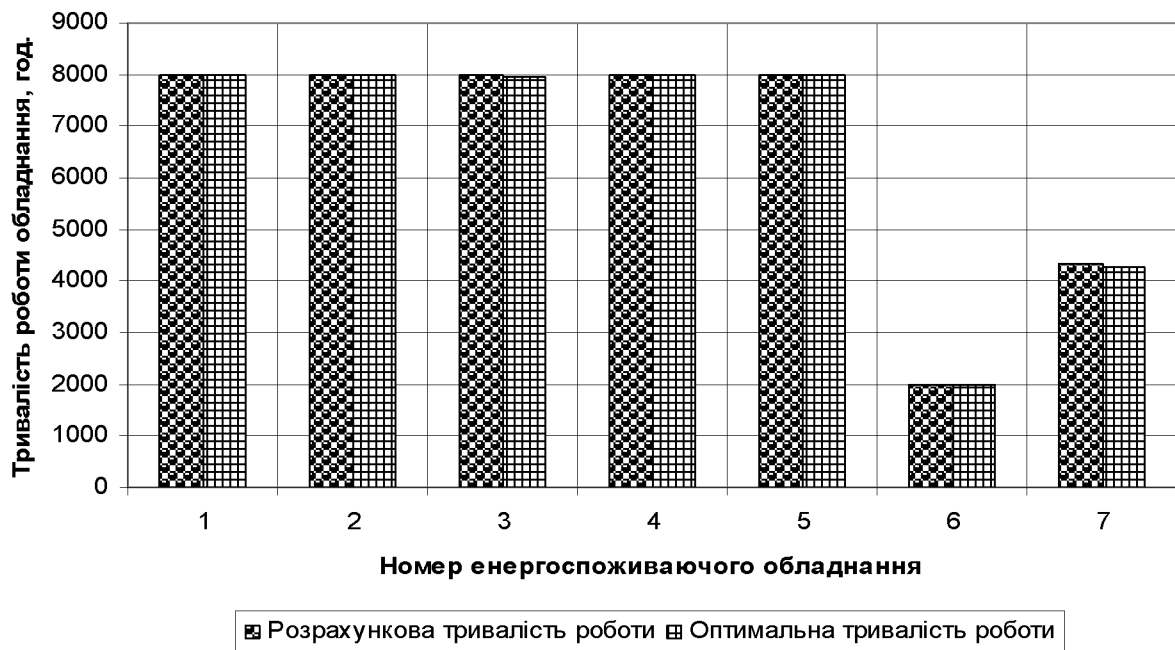


Рис. 2. Порівняння оптимальних та розрахункових значень тривалості роботи енергоспоживаючого обладнання технологічної лінії виробництва мідної катанки

Результати численних подібних розрахунків, виконаних для інших виробничо-господарських об'єктів, підтверджують, що застосування для них методики побудови оптимальних розрахункових моделей електробалансів, розробленої авторами цієї статті, у кожному випадку дозволило отримати однозначний результат розв'язання задачі, а також визначити оптимальні значення коефіцієнтів завантаження k_i та тривалості роботи T_i обладнання, близькі за величиною до відповідних розрахункових показників.

Висновки. Таким чином, можна стверджувати, що використання запропонованої методики дає можливість будувати баланси споживання електричної енергії виробничо-господарських об'єктів, які відображають найбільш достовірну структуру їх витратної частини, а також є набагато більш обґрунтованими у порівнянні з електробалансами, одержаними розрахунково-аналітичним методом.

1. *Находов В. Ф.* Энергосбережение и проблема контроля эффективности энергоиспользования / *Находов В. Ф.* // Промелектро. – 2007. – № 1. – С. 34–42.

2. *Находов В. Ф.* Аналіз діючих в Україні методик нормування питомих витрат паливно-енергетичних ресурсів / *В. Ф. Находов, О. В. Бориченко, К. К. Кочетова* // Промелектро. – 2007. – № 2. – С. 42–48.

3. *Находов В. Ф.* Ймовірно-статистичний підхід до побудови енергобалансів виробничо-господарських об'єктів / *В. Ф. Находов, О. В. Бориченко* // Промелектро. – 2007. – № 6. – С. 45–54.

4. *Справочник по электропотреблению в промышленности* / [О. А. Аузинь, О. Т. Балыковский, Л. Г. Бедынерман и др.]; под ред. Г. П. Минина, Ю. В. Копытова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1978. – 496 с., ил.

5. *Архипов Л. И.* Методы составления энергобалансов промышленных предприятий: учебное пособие по курсу «Энергобалансы промышленных предприятий» для студ., обучающ. по направлению «Теплотехника» / [Л. И. Архипов, А. Б. Гаряев, В. А. Горбенко и

др.]; А. Л. Ефимов (ред.); Московский энергетический ин-т (Технический ун-т). – М.: Издательство МЭИ, 2000. – 48 с.

6. *Экспертные оценки* и их применение в энергетике / [И. С. Вартазаров, И. Г. Горлов, Е. В. Минаев, Р. М. Хвастунов]; под ред. Р. М. Хвастунова. – М.: Энергоиздат, 1981. – 188 с.

7. *Экспертные оценки* в научно-техническом прогнозировании / [Г. М. Добров, Ю. В. Ершов, Е. И. Левин, Л. П. Смирнов]. – К.: Наук. думка, 1974. – 160 с.

8. *Справочник по электроснабжению* и электрическому оборудованию: В 2 т. Т. 2. Электрооборудование / [Р. Б. Авринский, С. И. Вершинина, С. И. Гамазин и др.]; под общ. ред. А. А. Федорова. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с.

9. *Зайченко Ю. П.* Дослідження операцій: [підручник] / Зайченко Ю. П. – [4-те вид., перероб. і допов.]. – К.: ЗАТ “ВПОЛ”, 2001. – 688 с.

10. *Банди Б.* Методы оптимизации. Вводный курс [пер. с англ.]/Б. Банди – М.: Радио и связь, 1988. – 128 с.