

УДК 621.311

DOI: <https://doi.org/10.15407/publishing2023.66.033>

АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ПІДХОДІВ ДО ВИЗНАЧЕННЯ НАЙБІЛЬШ ДОСТОВІРНОГО МЕТОДУ ПОБУДОВИ ЕНЕРГОБАЛАНСУ

П.В. Лавринович

Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського",
Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту,
вул. Борщагівська, 115, 03056, Київ, Україна
e-mail: pavlo199677@gmail.com

Проводився аналіз основних підходів, що впливають на визначення методу побудови найбільш достовірного енергобалансу. Розглянуто особливості побудови енергобалансів в умовах відсутності достатньої моніторингової бази, а саме: за середнім значенням, згідно з методом найбільшої ймовірності за нормального розподілу та методом максимальної правдоподібності. Розглянуто основні проблеми релевантності даних формування енергобалансу. Показано, що на точність результатів дослідження впливає кількість складових, на які поділено розглянутий об'єкт. Розглядалися можливості побудови графіків максимальної правдоподібності при оцінюванні якості показників енергобалансу та напрями можливого використання даного методу в задачах покращення енергоефективності. Бібл. 4, рисунок, табл. 5.

Ключові слова: енергоефективність, енергетичний баланс, паливно-енергетичний баланс, метод найбільшої ймовірності, метод максимальної правдоподібності.

Вступ. Енергобаланс є важливим інструментом для планування енергозабезпеченості та стратегії використання енергії на підприємстві або в іншій організації. Правильний підхід до побудови енергобалансу дозволяє визначити всі джерела та споживачів енергії на підприємстві, зібрати дані про всі енергетичні процеси, включаючи споживачів та джерела енергії, які використовуються для її отримання.

Використання енергобалансу дозволяє визначити ефективність використання енергії на підприємстві, а також виявити можливість зменшення витрат на енергію. При побудові енергобалансу важливо враховувати всі види енергії, які використовуються на підприємстві, включаючи електроенергію, теплову енергію, паливо, воду та інші.

Методика побудови енергобалансу може варіюватись в залежності від особливостей підприємства та мети його використання. Для визначення правильного підходу до побудови енергобалансу можна використовувати різні методики, такі як аналіз прямих та непрямих затрат, топ-довідковий аналіз, методики розрахунку фактичної потреби в енергії, визначення потенціалу зменшення витрат на енергію та інші.

Отже, правильний підхід до побудови енергобалансу є важливим етапом в плануванні енергозабезпеченості підприємства та виявленні можливостей зменшення витрат на енергію.

Мета та завдання. Метою статті є аналіз можливих підходів до визначення методу побудови найбільш достовірного енергобалансу.

Для досягнення даної мети розглядалися наступні питання:

Необхідність застосування ймовірно-статистичних методів побудови енергобалансу в умовах відсутності достатньої моніторингової бази.

Проблеми релевантності даних формування енергобалансу.

Напрями можливого використання методу максимальної правдоподібності в задачах покращення енергоефективності.

Основні матеріали дослідження. Ефективність використання електричної енергії у промисловості традиційно оцінюється і контролюється шляхом нормування її питомих витрат, що, у свою чергу, ґрунтується на побудові та аналізі електричних балансів виробничо-господарських об'єктів (підприємств, організацій та установ, їхніх структурних підрозділів тощо) [1]. Таким чином, електричним балансам має належати провідна мобілізуюча та організаційна роль у підвищенні ефективності використання електричної енергії. Крім того, електричні баланси повинні використовуватись як засіб для забезпечення науково-технічної



обґрунтованості норм питомих витрат електроенергії [2]. Тому надзвичайно важливо, щоб електричні баланси, які будуються для контролю та аналізу електроспоживання відповідних господарських об'єктів, були якомога точнішими і об'єктивно відображали реально існуючі напрями та обсяги корисного споживання і витрат електричної енергії.

Для побудови енергобалансу було взято фактичні дані про обсяг електричної енергії за місяцями, що споживалася на реальному підприємстві хімічної промисловості, показані в табл. 1[1], а також звітні дані про кількість виробленої продукції в кожному з цехів за ті ж самі періоди з використанням програми BALANS03 [1], показані в табл. 2.

Таблиця 1

Електропостачання за видами продукції:							
	31.Січ	28.Лют	31.Бер	30.Кві	31.Тра	30.Чер	Рік
<i>W1</i>	23464000	26542849	26231199	24806885	26450301	25994191	290045930
<i>W2</i>	2654820	2767270	2817140	1050	2917600	3069360	27756345
<i>W3</i>	6922372	6456119	6950980	874441	5320014	6814059	67001398
<i>W4</i>	2375841	2578669	2772871	2484720	2396771	2464801	24169338
W	35417033	38344907	38772190	28167096	37084686	38342411	408973011
Електропостачання за видами продукції:							
	31.Лип	31.Сер	30.Вер	31.Жов	30.Лис	31.Гру	Рік
<i>W1</i>	22132089	14105091	25286956	23836402	24979965	26216002	290045930
<i>W2</i>	3346015	3400260	3544490	32090	656610	2549640	27756345
<i>W3</i>	6801757	6176838	6259396	3192277	4569832	6663313	67001398
<i>W4</i>	2532814	2108211	2237767	382540	591299	1243034	24169338
W	34812675	25790400	37328609	27443309	30797706	36671989	408973011

Таблиця 2

Вихідні дані (фактичні значення обсягів виробництва за місяцями)					
<i>Q1</i>	<i>Q2</i>	<i>Q3</i>	<i>Q4</i>	<i>W</i>	
33520	47330	33161	70259	35417033	31.Січ
37240	48960	29780	76653	38344907	28.Лют
36775	49350	33851	74865	38772190	31.Бер
34990	46280	1538	70574	28167096	30.Кві
36915	49200	22640	72200	37084686	31.Тра
35185	47420	31730	64484	38342411	30.Чер
29850	48260	32183	60196	34812675	31.Лип
18930	45685	28133	49461	25790400	31.Сер
34735	46580	26982	55119	37328609	30.Вер
30734	248	13798	13691	27443309	31.Жов
33410	2130	18479	19251	30797706	30.Лис
35760	34710	29396	38144	36671989	31.Гру
25457281	3,25E+08	92868940	4,59E+08	2,23E+13	Дисперсія
398044	466153	301671	664897	4,09E+08	Сума

Рівняння математичної моделі балансу споживання електричної енергії, можна зобразити: $W = F + b_1 Q_1 + \dots + b_n Q_n + \varepsilon$, де W – загальний обсяг споживання електроенергії; A і b_i – невідомі параметри рівняння множинної регресії; Q_i – обсяги виробництва їхньої продукції; ε – випадкова величина, що характеризує похибку регресійної моделі.

Відповідно до щомісячних обсягів споживання та фактичних значень обсягів виробництва за місяцями, можна визначити питомі витрати виробництва X , що розраховуються за формулою: $X = \frac{W}{Q}$.

Комбінуючи всі можливі альтернативи згідно з формулами

$$W_{11} + W_{21} + \dots + W_{n1} = W_{12}^P$$

$$\begin{aligned} W_{12} + W_{22} + \dots + W_{n2} &= W_{2\Sigma}^P, \\ W_{13} + W_{23} + \dots + W_{n3} &= W_{3\Sigma}^P, \\ &\dots \\ W_{1m} + W_{2m} + \dots + W_{nm} &= W_{m\Sigma}^P, \end{aligned}$$

можна визначити можливі варіанти загального споживання електроенергії підприємства. Якщо припустимо відхилення розрахункового значення обсягу електроспоживання від його фактичного дорівнює $\Delta = 5\%$, то з подальшого розгляду виключаються варіанти, для яких

виконується нерівність [1] $\frac{W_{j\Sigma}^{\Phi} - W_{j\Sigma}}{W_{j\Sigma}^{\Phi}} \cdot 100 \geq \Delta$, де $W_{j\Sigma}^{\Phi}$ – фактичний обсяг споживання

електроенергії по підприємству в цілому в j -у періоді; Δ – заздалегідь встановлене припустиме відхилення розрахункового значення загального електроспоживання від його фактичного.

Як результат роботи програми BALANS03 (100 початкових точок та 10 кроків оптимізації): з 1000 отриманих рішень відібрано 235, які забезпечують мінімум цільової функції, що дорівнює нулю і мають найменші залишкові помилки опису [1].

Для всіх варіантів, що залишилися, розраховується ймовірність їхньої появи з урахуванням імовірності появи кожної з альтернатив. Варіант, який має найбільшу сумісну ймовірність появи, відповідає найбільш вірогідній структурі витратної частини фактичного енергобалансу. Результати визначення питомих витрат для кожного цеху наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Фактичні питомі витрати												
Рік	31.Січ	28.Лют	31.Бер	30.Кві	31.Тра	30.Чер	31.Лип	31.Сер	30.Вер	31.Жов	30.Лис	31.Гру
728,68	700,00	712,75	713,29	708,97	716,52	738,79	741,44	745,12	728,00	775,57	747,68	733,11
59,54	58,47	56,52	57,08	0,02	59,30	64,73	69,33	74,43	76,09	129,40	308,27	73,46
222,10	194,69	216,79	205,34	568,56	234,98	214,75	211,35	219,56	231,98	231,36	247,30	226,67
36,35	36,70	33,64	37,04	35,21	33,20	38,22	42,08	42,62	40,60	27,94	30,72	32,59

Оскільки отримані 235 рішень формувались відповідно до фактичного обсягу споживання електроенергії по підприємству в цілому та за рік, з'являється необхідність визначити рішення, при якому не тільки сумарний результат буде найближчим до факту. Необхідне рішення, при якому ймовірність отримання результату буде найбільш достовірним.

Перевірка достовірності – процес визначення того, що модель або виконується імітації точно представляє детальний концептуальний опис. Перевірка достовірності також оцінює ступінь відповідності моделі або імітації змісту і проводиться з використанням прийнятих методів [3].

Для визначення достовірності найближчого до реального результату дослідження, використовувались такі методи:

1. Визначення середнього значення кожного з наборів даних
2. Визначення найбільшої ймовірності за нормальним розподілом з застосуванням розрахунку щільності
3. Метод максимальної правдоподібності.

Для вибору найбільш релевантного варіанту визначення даних, що мають

Таблиця 4

X1	X2	X3	X4
805,9447	23,58159	240,1705	7,108595
940,31	29,17783	51,09467	8,530314
901,43	41,38324	74,145	12,79547
734,62	47,87328	281,0791	14,21719
865,99	71,57952	67,97723	15,63891
871,55	46,47765	96,29333	17,06063
595,73	138,8661	212,5478	64,66089
588,98	141,5094	221,3453	62,85946
589,58	141,5542	220,7884	62,72082
589,88	141,7553	221,4046	62,12126
672,01	123,8653	202,3947	34,12126
604,39	138,0598	221,1557	56,13766
604,79	137,9765	220,9315	56,05953
604,66	137,9633	220,932	56,14266
605,38	138,5524	220,4028	55,54298
663,38	117,5534	220,4028	35,54298

слугувати основою для побудови енергобалансу, було проведено вибір даних за використання вищевказаних методів для кожного з набору чисел $X1-...X4$ (частково зображені в табл. 4).

1) Визначення середнього значення було проведено згідно з формулою $X = \frac{\sum X}{n}$.

В результаті було отримано наступні дані балансу: $X1_{сер} = 786,343$; $X2_{сер} = 62,437$; $X3_{сер} = 175,09$; $X4_{сер} = 21,13$.

Визначення найбільшої ймовірності за нормальним розподілом з застосуванням розрахунку щільності $f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$, де μ – середнє значення, σ – стандартне відхилення, X – значення випадкової величини.

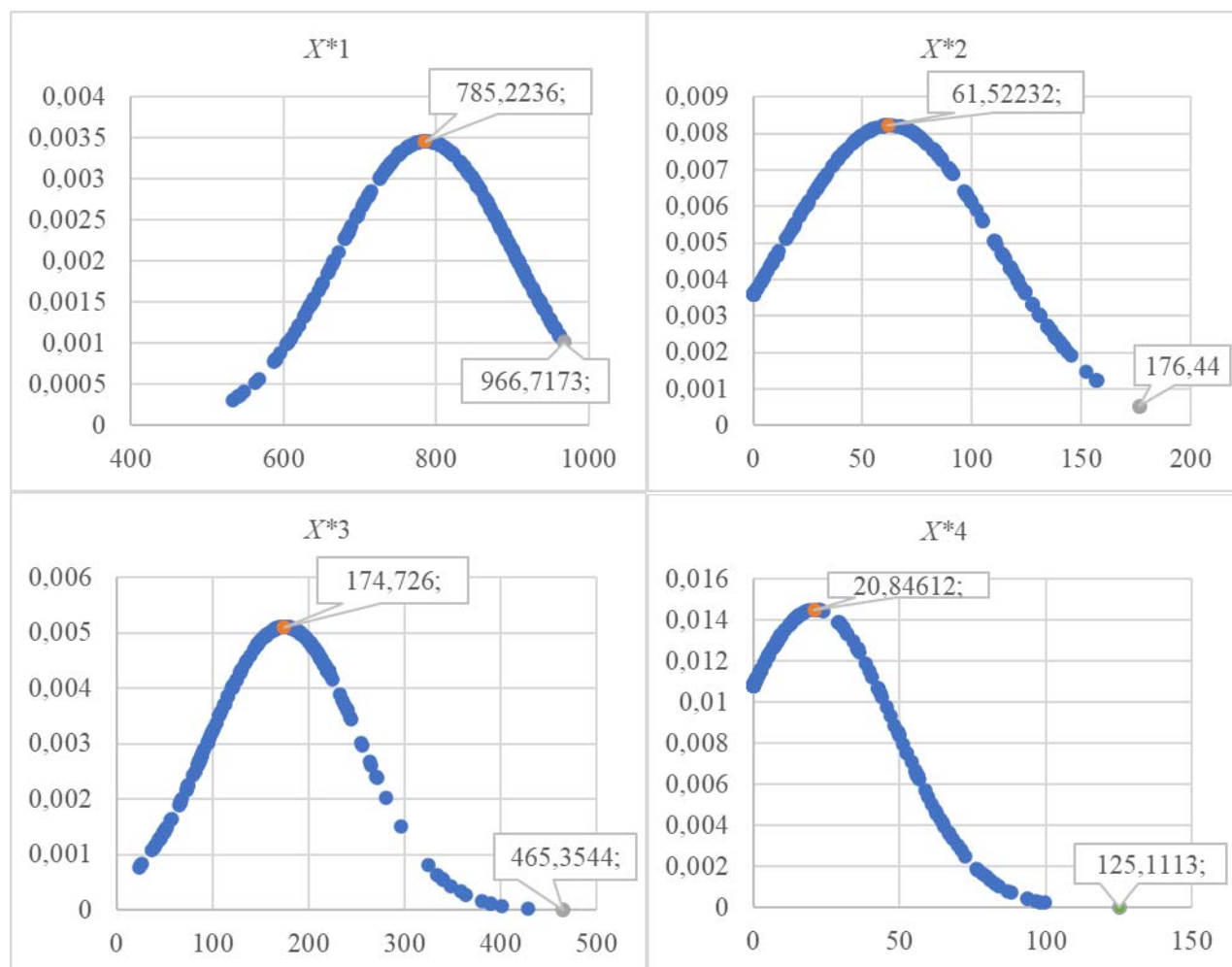
Результатом даного визначення буде варіант набору $X1-...X4$, визначення найбільшої ймовірності за нормальним розподілом якого є найближчим до одиниці.

Згідно розрахунку, цим варіантом визначено варіант з наступними даними балансу:

$X1_{нп} = 966,717$; $X2_{нп} = 176,444$; $X3_{нп} = 465,354$; $X4_{нп} = 125,111$.

2) Метод полягає у максимізації функції правдоподібності, яка визначає ймовірність отримання даних, припущень і моделей.

Функція правдоподібності визначається як добуток ймовірностей всіх спостережень. Ця функція може бути записана як функція параметрів моделі. Тобто, якщо ми знаємо розподіл ймовірностей нашої моделі, то можна визначити ймовірність отримання конкретних спостережень при певних значеннях параметрів [4].



Визначивши похідну середнього значення та похідну стандартного відхилення, можна використати їх для побудови графіку максимальної правдоподібності. Для цього можна скористатись формулою:

$$X^* = \mu - d\mu/d\sigma \cdot \sigma,$$

де X^* – значення μ , що відповідає максимальній правдоподібності, $d\mu/d\sigma$ – похідна середнього значення за стандартним відхиленням.

Результатом даного визначення буде варіант набору X_1 –... X_4 , визначенням X^* якого є найбільшим додатнім.

Згідно з розрахунком, цим варіантом визначено варіант з наступними даними балансу: $X^*1 = 785,22$; $X^*2 = 61,52$; $X^*3 = 174,73$; $X^*4 = 20,85$.

Також максимально правдоподібне визначення X можна побачити, побудувавши графіки кожного з набору питомих витрат. Таким чином, графік для X^*1 –... X^*4 зображено на рисунку.

Для додаткової перевірки, який з варіантів є найближчим до фактичних значення балансу, було застосовано метод евклідової відстані, що зображено в табл. 5:

Таблиця 5

Врік.облік	dQ1	dQ2	dQ3	dQ4	Результат, добуток
Факт розрахунок	728,68	59,54	222,1	36,35	228762846985,80
Розрахунок					
Середнє значення	786,3426	62,43675	175,0900277	21,13017081	242050466048,41
Найбільша ймовірність	966,7173	176,4437	465,3544	125,1113	319493103198,64
Макс. правдоподібність	785,22	61,52	174,73	20,85	241669267246,29
Евклідова відстань					Результат, сума
Середнє значення	57,66	2,90	47,01	15,22	122,79
Найбільша ймовірність	238,04	116,90	243,25	88,76	686,96
Макс. правдоподібність	56,54	1,98	47,37	15,50	121,40

Евклідова відстань (також відома як евклідова метрика) – це відстань між двома точками в просторі n -вимірному евклідовому простору. У двовимірному просторі, наприклад, евклідова відстань між двома точками (x_1, y_1) і (x_2, y_2) визначається за формулою:

$$d = \sqrt{((x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2)}.$$

Результат перевірки варіантів, щодо того який з них є найближчим до фактичних значення балансу, став варіант з застосуванням методу максимальної правдоподібності.

Висновки. У процесі застосування методів було отримано чисельні результати, на основі яких можна зробити висновок, що найближчими до фактичних за значеннями стали результати розрахунків, проведених за методом максимальної правдоподібності.

Проте важливо зазначити, що ці результати виявилися дуже близькими до результатів, отриманих при визначенні середнього значення набору даних. Основною перевагою даного визначення є простота виконання. Щоправда, оскільки досліди проводились на основі відносно невеликої кількості вихідних даних, вважати, що визначення середнього значення є найбільш доцільним для його імплементації, неможна.

Напрошується висновок, що подальші дослідження, зокрема і статистичної інформації, можуть надати змогу покращити результати. Також завданням дослідження має бути застосування інших методів знаходження найбільш достовірних енергобалансів.

1. Находов В.Ф., Бориченко О.В. Побудова оптимальних розрахункових моделей електробалансів виробничо-господарських об'єктів. Промислова електроенергетика та електротехніка: Промелектро. 2010. № 6. С. 47–51.
2. Архипов Л.И., Горяев А.Б. и др. Методы составления энергобалансов промышленных предприятий. МЭИ, 2000.
3. Філософський енциклопедичний словник: елементи та режими. К.: Ін-т філософії ім. Г.С. Сковороди НАН України, 2016. 171 с.
4. Метод максимальної правдоподібності [Електронний ресурс]. 2022. Режим доступу: https://stud.com.ua/72646/ekonomika/metod_maksimalnoyi_pravdopodibnosti

ANALYSIS OF POSSIBLE APPROACHES TO DETERMINING THE MOST RELIABLE METHOD OF ENERGY BALANCE CONSTRUCTION

P.V. Lavrynovych

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute",
Educational and scientific Institute of energy saving and energy management,
Beresteyskyi ave., 37, Kyiv, 03056, Ukraine
e-mail: pavlo199677@gmail.com

In the process of analyzing the methods, numerous results were obtained. On the basis of which it can be concluded that the results of calculations carried out using the method of maximum likelihood became the closest to the actual values. However, it is important to note that these results turned out to be very close to the results obtained when determining the average value of the data set. The main advantage of this definition is ease of implementation. Since the experiments were conducted on the basis of a relatively small amount of initial data, it is impossible to consider that the determination of the average value is the most appropriate for its implementation. The conclusion is suggested that there is a need to conduct an analysis based on a larger amount of initial data. And also, using other methods of finding the most reliable energy balances. The possibility of constructing maximum likelihood graphs when assessing the quality of energy balance indicators and directions of possible use of this method in tasks were considered. Ref. 4, figure, tables 5.

Key words: energy efficiency, energy balance, fuel-energy balance, maximum probability estimation method, maximum likelihood method.

1. Nakhodov V.F., Borychenko O.V. Construction of optimal calculation models of electrical balances of industrial and economic facilities. Industrial electricity and electrical engineering: Promelectro. 2010. No 6. Pp. 47–51.
2. Arkhipov L.I., Goryaev A.B. et al. Methods for compiling energy balances of industrial enterprises. MPEI, 2000.
3. Philosophical encyclopedic dictionary: elements and modes. K.: Institute of Philosophy named after H.S. Skovoroda of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2016. 171 p.
4. The maximum likelihood method [Electronic resource]. 2022. Access mode: https://stud.com.ua/72646/ekonomika/metod_maksimalnoyi_pravdopodobnosti

Надійшла: 08.06.2023

Прийнята: 23.10.2023

Submitted: 08.06.2023

Accepted: 23.10.2023