
ПОБУДОВА ПРОГНОЗНОЇ МОДЕЛІ ЕНЕРГОВИТРАТ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ

Вступ. В умовах зростання цін на енергоносії питання прогнозування рівня енергоспоживання в контексті планування енерговитрат є актуальним завданням служби енергоменеджменту промислових підприємств. Тому складання прогнозу, адекватного запланованому випуску продукції дозволить істотно скоротити витрати в собівартості і визначити шляхи підвищення енергоефективності підприємств [1].

Аналіз попередніх досліджень. Моделювання (логічне, інформаційне, математичне і т.д.) – найбільш поширений метод прогнозування споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) [2-4]. Оскільки прогнозування споживання ПЕР має характер вірогідності, воно найчастіше здійснюється за допомогою статистичних моделей [2]. Якщо вони реальноадекватні, то можна розробити точний або достатньо точний прогноз. Якщо ж початкові положення неправильні, то прогноз буде неточний незалежно від того, наскільки точні дані, що лежали в його основі.

У зв'язку з цим виникає питання про точність прогнозу, його достовірність. При цьому необхідно вказати, в якому значенні розуміється точність прогнозу. У прогнозуванні споживання ПЕР поняття точності має відносний характер залежно від мети дослідження. Точність прогнозу більшою мірою залежить від того, наскільки порушені закономірності розвитку прогнозованого об'єкту або системи, а також від надійності методів дослідження. Поняття точності істотно пов'язане з поняттям випередження, під яким розуміємо проміжок часу між останнім спостереженням тимчасового ряду і моменту, для якого складений прогноз. Чим більше час випередження, тим менш точним стає прогноз, оскільки на його результати накладається все менше обмежень.

Найбільш поширеним способом перевірки точності прогнозу є ретроспективний прогноз, тобто прогноз для минулого періоду часу, і порівняння отриманих результатів з фактичною динамікою. Найчастіше таке порівняння проводиться по величині середньоквадратичної похибки або середньої похибки апроксимації. Якщо отримані результати задовольняють задані критерії точності, то модель прогнозу вважається застосовною і рекомендується для розробки прогнозів на перспективу.

Таким чином, на практиці можна вважати, що точність прогнозів залежить від тривалості періодів передісторії (ретроспективи) і випередження.

Планування експерименту – це процедура вибору числа і умов проведення дослідів, необхідних і достатніх для вирішення поставленої задачі з необхідною точністю. При цьому необхідно прагнути до:

- мінімізації загального числа дослідів;
- одночасної зміни всіх змінних, які визначають процес, за спеціальними правилами-алгоритмами;
- використання математичного апарату, який формалізує багато дій експерименту;
- вибору чіткої стратегії, яка дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії експериментів

[4,5].

Прикладами задач, при вирішенні яких застосовується планування експерименту є пошук оптимальних умов, побудова інтерполяційних формул, вибір суттєвих факторів, оцінка і уточнення констант теоретичних моделей (наприклад, кінетичних), вибір найбільш сприятливих із декількох гіпотез про механізм явища, дослідження діаграм і т.д. В загальному, можна сказати, що там де є експеримент, там є і наука про його проведення – планування експерименту [2,4].

Мета роботи. Підвищення ефективності керування ПЕР шляхом визначення оптимальних умов режимів енергоспоживання підприємством методом планування експерименту.

Матеріал і результати дослідження. Як метод побудови прогнозної моделі можна запропонувати метод планування експерименту стосовно прогнозування енергоспоживання промислових підприємств. Під плануванням експерименту розуміють процес визначення числа і умов проведення дослідів необхідних і достатніх для вирішення поставленого завдання з необхідною точністю. Ефективність використання статичних методів планування експерименту при дослідженні технологічних процесів пояснюється тим, що багато важливих характеристик цих процесів є випадковими величинами, розподілення яких близько слідує до нормального закону [1]. Цим законом може виступати залежність енерговитрат від випуску продукції.

Мета планування експерименту – знаходження таких умов и правил проведення дослідів, при яких вдається отримати надійну та достовірну інформацію про об'єкт з найменшими витратами праці, а також надати цю інформацію в компактній та зручній формі з кількісною оцінкою точності.

Використовуємо побудову прогнозної моделі на основі методу планування експерименту. Для цього необхідно розглянути всі чинники, які впливають на формування вихідної характеристики (в даному випадку – витрати електроенергії на випуск продукції). Вхідними значеннями приймаємо: x_1 – обсяги випуску продукції; x_2 – газ; x_3 – вода.

Таблиця 1

Вихідні дані стосовно обсягів виробництва та витрачених енергоносіїв за 2007/2008 рр.

№ п/п	Місяць	Витрати електроенергії, кВт·год (у)		Обсяги продукції, кг (x ₁)		Газ, куб. м (x ₂)		Вода, куб. м (x ₃)	
		2007 р	2008 р	2007 р	2008 р	2007 р	2008 р	2007 р	2008 р
1.	Січень	65090	64200	467600	496200	76710	72194	1148	840
2.	Лютий	76450	79690	459000	473300	79960	63958	1142	862
3.	Березень	63200	64530	511200	518000	85630	61671	1062	763
4.	Квітень	63530	64020	542100	524800	60890	47566	1212	783
5.	Травень	64160	58240	514000	537000	52390	50598	1469	836
6.	Червень	66130	65350	560500	523000	54730	48529	1520	727
7.	Липень	70890	64730	580500	575000	52760	48329	1077	737
8.	Серпень	74300	79160	570800	575000	51280	49003	1200	812
9.	Вересень	76550	71580	554500	554500	49710	49710	1138	714
10.	Жовтень	71540	71540	563200	563200	58790	58790	1138	780
11.	Листопад	64400	64400	530100	530100	65980	65980	852	810
12.	Грудень	80260	80260	546500	546500	66850	66850	828	825
13.	За рік	836400	827700	6400000	6416600	755700	683178	13784	9489

Під час проведення експерименту беремо 2 рівні змінних (роки) параметрів: y^{min} і y^{max} . Відповідно до цього визначається матриця експерименту:

$$N = y^k = 2^3 = 8, \text{ де } k - \text{кількість змінних.}$$

З цього випливає, що ми відкидаємо чотири місяці: два з максимальним споживанням енергоресурсів, і два – з мінімальним. Планується матриця експерименту (табл. 2) [2].

Таблиця 2

Матриця експерименту

Кодування факторів і номери дослідів		Вихідні значення			Відхилення від середнього значення за 2007 рік (y_1), у.о	Відхилення від середнього значення за 2008 рік (y_2), у.о	Середнє значення ($\bar{y}$)
		x ₁	x ₂	x ₃			
№ дослідів	1	+	+	+	1,0659971	1,1476622	1,1068297
	2	-	+	+	0,9114778	0,9281624	0,9162007
	3	+	-	+	1,0982783	1,0377673	1,0680228
	4	-	-	+	0,94878049	0,94744473	0,94811261
	5	+	+	-	0,9239598	0,9336716	0,9288157
	6	-	+	-	0,90674319	0,93555636	0,92114977
	7	+	-	-	1,02639885	1,03718739	1,03179312
	8	-	-	-	0,9538594	0,95077202	0,95315708

Обчислюємо дисперсії в кожному досліді:

$$S^2 = \sum_i^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2 / k - 1,$$

де k – кількість повторень у досліді; q – порядковий номер дослідів; $\bar{y} = (y_1 + y_2)/2$ – середнє значення контрольованого параметра.

Результати обчислень зводяться до таблиці 3.

Таблиця 3

Результати обчислень

№	a_{ij}	S^2	$\hat{y}$	$\sum_i^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$
1	0,98426	0,003335	1,100768	0,000037
2	0,04961	0,000165	0,891726	0,000599
3	-0,01601	0,001831	1,100768	0,001072
4	0,02553	0,000001	0,891726	0,003179
5	-0,00003	0,000047	0,986003	0,003270
6	0,01773	0,000415	0,93494	0,000190
7	0,02803	0,000058	0,986003	0,002097
8	0,01165	0,000006	0,93494	0,000332
сума		0,005858	-	0,010777

Під час проведення експерименту необхідно, щоб результати вимірів кожного досліді були проведені з однаковою точністю. Перевірка гіпотези однорідності дисперсій здійснюється за критерієм Кохрена:

$$G_{max} = \frac{S_{max}^2}{\sum S} = \frac{0.0033}{0.0058} = 0.57.$$

Табличне значення критерію Кохрена (при числі степенів вільності $f_1 = k - 1 = 1$ і $f_2 = N = 8$) дорівнює $G_{таб} = 0.68$ [2].

Якщо $G_{max} < G_{таб}$, то експеримент виконаний зі статично однаковою точністю.

Визначення коефіцієнтів у рівнянні регресії.

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + a_3 \cdot x_3 + a_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + a_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + a_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + a_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Вільний член рівняння регресії визначається як $a_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_i}{N}$.

Коефіцієнти регресії, що характеризують вплив факторів:

$$a_{ij} = \frac{\sum_{i,j=1}^N x_{ik} \cdot x_{jk} \cdot \bar{y}_i}{N}.$$

Підставимо числові значення і визначимо відповідні коефіцієнти та зведемо їх у табл. 3:

Визначення значимості коефіцієнтів регресії.

Визначаємо дисперсію відтворюваності результатів експерименту:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum S^2}{N} = \frac{0.0058}{8} = 0.0007.$$

Довірчий інтервал зміни коефіцієнтів регресії:

$$a_i = \pm t \cdot S_{\{y\}} = \pm 2.306 \cdot \sqrt{0.0007} = \pm 0.062.$$

Таким чином, отримане рівняння регресії має вигляд:

$$y = 0.98426 + 0.04931x_1 - 0.01601x_2 + 0.02553x_3 - 0.00003x_1x_2 + 0.01773x_1x_3 + 0.02803x_2x_3 + 0.01165x_1x_2x_3.$$

Це рівняння і є математичною моделлю процесу, в якому заложена залежність енерговитрат від обсягів виробництва продукції.

Перевірка адекватності моделі здійснюється за критерієм Фішера:

$$F = \frac{S_{ad}^2}{S_{\{y\}}^2},$$

де S_{ad}^2 – дисперсія адекватності, визначається як:

$$S_{ad}^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2}{N - k_0 - 1},$$

де $k_0 = 3$ – значення параметра оптимізації, отримане з рівняння регресії, у якому виключені всі незначущі члени.

З отриманого рівняння регресії знайдемо фактичне значення функції $\hat{y}_1$ [2, 4], табл. 3:

Обчисливши значення суми $\sum (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$, розраховуємо дисперсію адекватності:

$$S_{ad}^2 = 0.02694.$$

Тоді критерій Фішера: $F = \frac{0.02694}{0.06292} = 3.68$.

Табличне значення критерію Фішера (при числі степенів вільності $f_2 = N = 8$) дорівнює $F_{таб} = 3.8$

Якщо $F < F_{таб}$, то отримана математична модель є адекватною досліджуваному процесу.

Результати моделювання представлені на рис. 1.

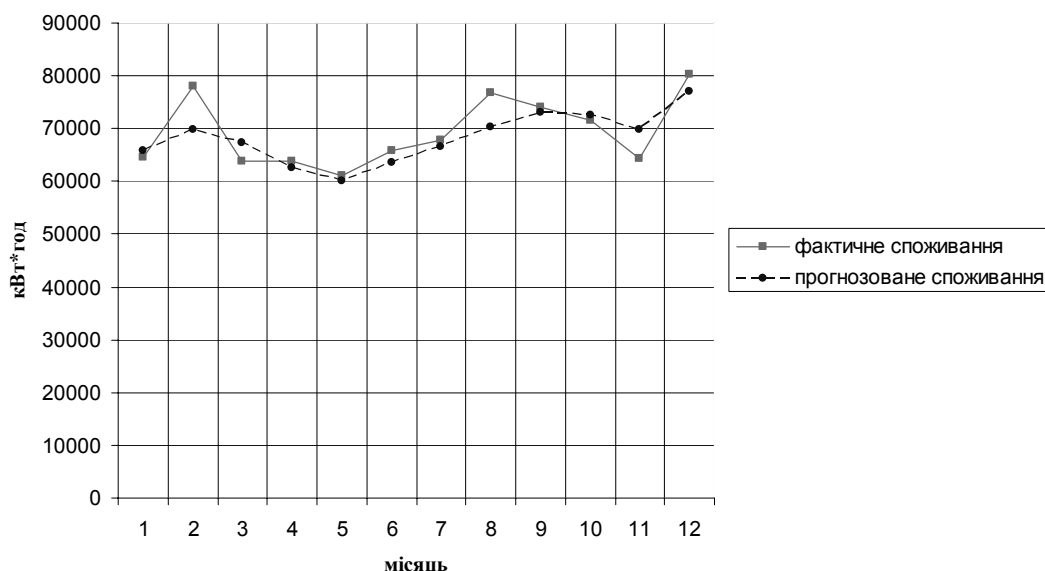


Рисунок 1 - Порівняльний графік споживання електроенергії

Висновки. Запропонована методика статичного планування експерименту для побудови математичної моделі енергоспоживання підприємства дозволить ефективно аналізувати фактори і мінімізувати витрати, які впливають на випуск продукції, зменшити собівартість та підвищити ефективність роботи підприємства в цілому.

ЛІТЕРАТУРА

- [1] Енергетичний аудит: Навч. посібник. О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбака. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
- [2] Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при нахождении оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
- [3] Праховник А. В., Розен В. П., Дегтярев В. В. Энергосберегающие режимы электроснабжения горнодобывающих предприятий. М., Недра, 1985 – 232 с
- [4] Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследованиях технологических процессов. М.: Машиностроение. 1981. – 184 с.
- [5] Праховник А.В. Г.Трапп. Контроль і нормалізація енергоспоживання. Збірник доповідей “Управління енерговикористанням” К., Альянс за збереження енергії, 2001, с.387-398.
- [6] Прогнозы и прогнозирование. Материалы сайта: <http://prognoz.org/lib/metody-prognozirovaniya-i-planirovaniya>