

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДУ ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ДЛЯ ПОБУДОВИ МОДЕЛІ, ЩО ПРОГНОЗУЄ ОБСЯГИ ВИПУСКУ ПРОДУКЦІЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ПОКАЗНИКІВ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ

Ляпота К.П., асистент, Шокар'єв Д.А., ст. викладач

*Кременчуцький державний політехнічний університет імені Михайла Остроградського
39600, м. Кременчук, вул. Першотравнева, 20
seem@polytech.poltava.ua*

Вступ. В умовах безперервного зростання цін на енергоносії питання прогнозування енергоспоживання в контексті планування енерговитрат є актуальним завданням служби енергоменеджменту на промислових підприємствах і зокрема підприємствах харчової промисловості, оскільки загальні енерговитрати в собівартості продукції харчової промисловості можуть досягати 10-30 %. Тому складання точного прогнозу, залежного від планованого випуску продукції, дозволить істотно скоротити витрати в собівартості і визначити шляхи підвищення енергоефективності.

Аналіз попередніх досліджень. Сучасні методи прогнозування як правило можна розділити на три основні групи:

- 1) методи експертних оцінок;
- 2) моделювання;
- 3) нормативний метод.

Метод експертних оцінок полягає в тому, що прогнози щодо майбутнього розвитку процесу споживання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) розробляються фахівцями в цій області на підставі їх досвіду і інтуїції, а іноді і за літературними джерелами. Методами прогнозування за допомогою експертних оцінок є, наприклад, "метод Дельфі", метод "мозкової атаки", морфологічний і т.д. [1].

У наш час моделювання (логічне, інформаційне, математичне і т.д.) – найбільш поширений метод прогнозування споживання ПЕР. Оскільки прогнозування споживання ПЕР має характер вірогідності, воно найчастіше здійснюється за допомогою статистичних моделей. Якщо вони правильні, 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 заданим критеріям 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.

Нормативний метод прогнозування полягає в тому, що окремі параметри прогнозованого процесу задаються у вигляді деякої норми. При нормативному прогнозуванні виходять з деякого результату, який повинен бути досягнутий в майбутньому. Зв'язок і послідовність подій розглядаються в напрямі від майбутнього до сьогодення часу [1].

В цілому ці методи не дають точного уявлення про характер змін, які можливі в ході реалізації розробленого прогнозу. Тому дослідження нових шляхів побудови прогнозних моделей дозволить підвищити ефективність роботи служби енергоменеджменту.

Мета роботи. Розробка моделі залежності обсягів випуску продукції від показників енергоспоживання для підвищення ефективності планування енерговитрат в умовах підприємств харчової промисловості.

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 [2]. Цим законом може виступати залежність енерговитрат від випуску продукції.

Характерними особливостями процесу планування експерименту є: прагнення мінімізувати число дослідів; одночасне варіювання всіх досліджуваних чинників за спеціальними

правилами – алгоритмами; застосування математичного апарату, що формалізує більшість дій дослідника; вибір стратегії, що дозволяє приймати обґрунтовані рішення після кожної серії дослідів.

Використовуємо побудову прогнозової моделі на основі методу планування експерименту. Для цього необхідно розглянути всі чинники, які впливають на формування вихідної характеристики (в даному випадку – продукція, що випускається). Вхідними значеннями приймаємо: x_1 – електроенергія; x_2 – газ; x_3 – вода.

Таблиця 1 – Аналіз використання енергоносіїв ВАТ «Комсомольський хлібозавод» за 2007/2008 р.

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

Під час проведення експерименту беремо 2 рівні змінних (роки) параметрів: p^{min} і p^{max} .

Відповідно до цього визначається матриця експерименту:

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

З цього випливає, що ми відкидаємо чотири місяці: два з максимальною кількістю виробленої продукції, і два – з мінімальною.

Планується матриця експерименту (табл. 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	+	+	+	1,0423	1,0536	1,0448
	2	-	+	+	1,1025	0,9873	1,0449
	3	+	-	+	0,9518	1,0811	1,0164
	4	-	-	+	1,0439	0,9749	1,0094
	5	+	+	-	1,0311	1,0358	1,0334
	6	-	+	-	1,0122	1,0209	1,0201
	7	+	-	-	0,9847	0,9917	0,9934
	8	-	-	-	0,9588	0,9628	0,9616

Обчислюємо дисперсії в кожному досліді:

$$S^2 = \frac{\sum_{q=1}^k (y_q - \bar{y})^2}{k-1},$$

де k – кількість повторень у досліді; q –

порядковий номер досліді; $\bar{y} = \frac{y_1 + y_2}{2}$ – середнє значення контрольованого параметра.

Результати обчислень зводяться до таблиці 3.

Таблиця 3 – Результати обчислень

№	y_1	y_2	\bar{y}	S^2	\hat{y}	$\sum_i^N (\bar{y}_i - \hat{y}_i)^2$
1	1,0423	1,0536	1,0448	0,0001	1,0528	0,0001
2	1,1025	0,9873	1,0449	0,0002	0,9815	0,0001
3	0,9518	1,0811	1,0164	0,0005	1,0528	0,0064
4	1,0439	0,9749	1,0094	0,0025	0,9815	0,0004
5	1,0311	1,0358	1,0334	0	1,1009	0,0049
6	1,0122	1,0209	1,0201	0,0001	1	0,0001
7	0,9847	0,9917	0,9934	0,0001	1,1009	0,014
8	0,9588	0,9628	0,9616	0,0001	1	0,0004
сума	-	-	-	0,0036	-	0,0264

Під час проведення експерименту необхідне виконання умови проведення з однаковою точністю вимірів кожного досліді. Перевірка гіпотези однорідності дисперсій здійснюється за критерієм Кохрена:

$$G_{\max} = \frac{S_{\max}^2}{\sum S^2} = \frac{0,0025}{0,0036} = 0,6744.$$

Табличне значення критерію Кохрена (при числі степенів вільності $f_1 = k - 1 = 1$ і $f_2 = N = 8$) дорівнює $G_{\text{таб}} = 0,68$.

Якщо $G_{\max} < G_{\text{таб}}$, 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 визначимо як

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^N \bar{y}_i}{N}.$$

Коефіцієнти регресії, що характеризують вплив факторів:

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

Підставляючи числові значення, визначимо відповідні коефіцієнти:

$$a_0 = (1,0448 + 1,0449 + 1,0164 + 1,0094 + 1,0334 + 1,0201 + 0,9934 + 0,9616) / 8 = 1,0155;$$

$$a_1 = (1,0448 - 1,0449 + 1,0164 - 1,0094 + 1,0334 - 1,0201 + 0,9934 - 0,9616) / 8 = -0,0149;$$

$$a_2 = (1,0448 + 1,0449 - 1,0164 - 1,0094 + 1,0334 + 1,0201 - 0,9934 - 0,9616) / 8 = 0,0055;$$

$$a_3 = (1,0448 + 1,0449 + 1,0164 + 1,0094 - 1,0334 - 1,0201 - 0,9934 - 0,9616) / 8 = -0,0193;$$

$$a_{12} = (1,0448 - 1,0449 - 1,0164 + 1,0094 + 1,0334 - 1,0201 - 0,9934 + 0,9616) / 8 = 0,0014;$$

$$a_{23} = (1,0448 + 1,0449 - 1,0164 - 1,0094 - 1,0334 - 1,0201 + 0,9934 + 0,9616) / 8 = -0,0014;$$

$$a_{13} = (1,0448 - 1,0449 + 1,0164 - 1,0094 - 1,0334 + 1,0201 - 0,9934 + 0,9616) / 8 = -0,0047;$$

$$a_{123} = (1,0448 + 1,0449 + 1,0164 + 1,0094 + 1,0334 + 1,0201 + 0,9934 + 0,9616) / 8 = -0,0047.$$

Визначення значимості коефіцієнтів регресії. Дисперсію відтворюваності результату експерименту розрахуємо за виразом:

$$S_{\{y\}}^2 = \frac{\sum S^2}{N} = \frac{0,0036}{8} = 0,0045.$$

Довірчий інтервал зміни коефіцієнтів регресії:

$$a_i = \pm t \cdot S_{\{y\}} = \pm 2,306 \cdot \sqrt{0,0045} = \pm 0,1.$$

Таким чином, отримане рівняння регресії має вигляд:

$$y = 1,0155 - 0,0149 \cdot x_1 + 0,0055 \cdot x_2 - 0,0193 \cdot x_3 + 0,0014 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,0047 \cdot x_1 \cdot x_3 + 0,0014 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,0047 \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3.$$

Це рівняння і є математичною моделлю процесу, в якому закладена залежність продукції від енерговитрат.

Перевірку адекватності моделі виконаємо 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 $k_0 = 4$ – значення параметра оптимізації, отримане з рівняння регресії, у якому виключені всі незначущі члени. З отриманого рівняння регресії знайдемо фактичне значення функції:

$$\hat{y}_1 = 1,0155 + 0,0149 + 0,0055 + 0,0193 + 0,0014 + 0,0047 + 0,0014 + 0,0047 = 1,0528;$$

$$\hat{y}_2 = 1,0155 - 0,0149 + 0,0055 - 0,0193 + 0,0014 - 0,0047 + 0,0014 - 0,0047 = 1,9815;$$

$$\hat{y}_4 = 1,0155 - 0,0149 + 0,0055 - 0,0193 + 0,0014 - 0,0047 + 0,0014 - 0,0047 = 1,9815;$$

$$\hat{y}_3 = 1,0155 + 0,0149 + 0,0055 + 0,0193 + 0,0014 + 0,0047 + 0,0014 + 0,0047 = 1,0528;$$

$$\hat{y}_5 = 1,0155 + 0,0149 + 0,0055 + 0,0193 - 0,0014 - 0,0047 - 0,0014 - 0,0047 = 1,1009;$$

$$\hat{y}_6 = 1,0155 + 0,0149 + 0,0055 - 0,0193 - 0,0014 - 0,0047 - 0,0014 - 0,0047 = 1;$$

$$\hat{y}_7 = 1,0155 + 0,0149 + 0,0055 + 0,0193 - 0,0014 - 0,0047 - 0,0014 - 0,0047 = 1,1009;$$

$$\hat{y}_8 = 1,0155 + 0,0149 + 0,0055 - 0,0193 - 0,0014 - 0,0047 - 0,0014 - 0,0047 = 1.$$

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

$$S_{ad}^2 = \frac{0,0264}{8 - 4 - 1} = 0,0088.$$

$$\text{Тоді критерій Фішера: } F = \frac{0,0088}{0,0045} = 1,9.$$

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.

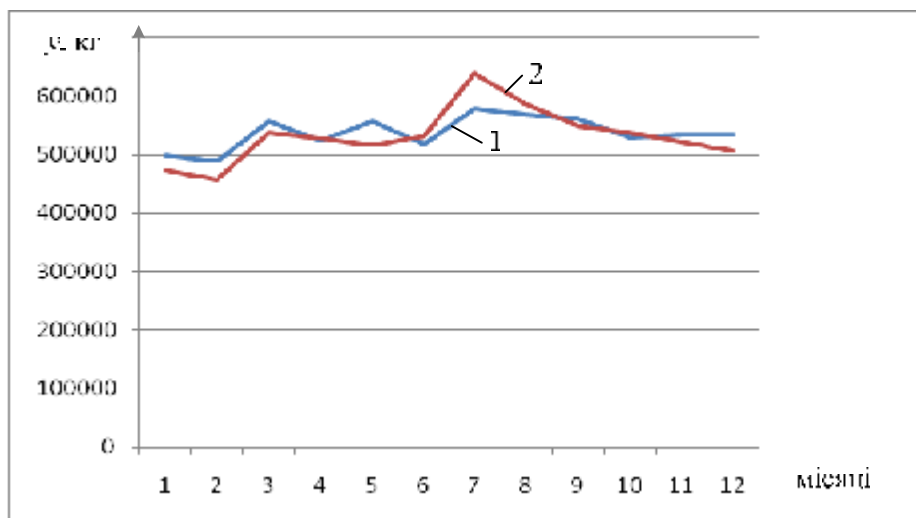


Рисунок 1 - Порівняльний графік виробництва продукції в кг:
1 – реальні обсяги продукції за 2007/2008 роки, 2 – прогнозовані

Висновки. Методика статичного планування експерименту для побудови математичної моделі енергоспоживання підприємства дозволить ефективно проаналізувати фактори і мінімізувати витрати, що впливають на випуск продукції, зменшити собівартість та підвищити ефективність роботи підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Енергетичний аудит: Навч. посібник. О.І. Соловей, В.П. Розен, Ю.Г. Лега, О.О. Ситник, А.В. Чернявський, Г.В. Курбаса. – Черкаси: ЧДТУ, 2005. – 299 с.
2. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследованиях технологических процессов. М.: Машиностроение. 1981. – 184 с.