

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

УДК 621.311

С.І. Випанасенко, д-р. техн. наук, проф.

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: VypanasenkoS@nmu.org.ua

ПРОГНОЗУВАННЯ ОБСЯГІВ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ВУГІЛЬНОЇ ШАХТИ

S.I. Vypanasenko, Dr. Sci. (Tech.), Professor

State Higher Educational Institution “National Mining University”, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: VypanasenkoS@nmu.org.ua

PROGNOSTICATION OF COAL MINE ENERGY CONSUMPTION VOLUME

Сформульовано завдання, що вирішуються шляхом прогнозування показників електроспоживання. Наведено залежності для розрахунку прогнозованих параметрів. Розроблено методику прогнозування щоденних, щомісячних та річних показників електроспоживання вугільної шахти. Визначена точність прогнозу. Розроблено комп'ютерну програму для відповідних розрахунків. Наведено приклад розрахунку з використанням розробленої методики.

Ключові слова: *вугільна шахта, електроспоживання, регресійний аналіз*

Прогнозуванню електроспоживання промислових підприємств присвячена значна кількість наукових робіт, наприклад роботи [1, 2]. Це зумовлено тим, що результати прогнозування використовуються для вирішення важливих технічних та економічних завдань, пов'язаних з діяльністю підприємства. Важливо, наприклад, прогнозувати обсяги електроспоживання підприємства при укладанні угоди з постачальником електричної енергії. Споживач надає постачальнику відомості про розмір очікуваного споживання електроенергії. Постачальник має право вимагати від споживача обґрунтування кількісних показників споживання. Перевищення встановленого ліміту відпуску електроенергії дозволяє постачальнику здійснювати відповідні обмеження в електропостачанні, що може суттєво вплинути на виробничий процес. При перевищенні договірних значень споживання електроенергії та потужності ціна електроенергії подвоюється. Для того, щоб уникнути можливих перевищень встановленого обсягу електроспоживання, необхідне прогнозування значень витрат енергії із заданою точністю. Якщо прогноз обсягів електроспоживання свідчить про його збільшення, то при укладанні договору з постачальником електроенергії необхідно планувати додаткові витрати.

Прогнозування об'єму електроспоживання в залежності від обсягу виробництва продукції необхідно здійснювати для оцінки енергоефективності виробничого процесу. Питомі норми обсягів електроспоживання є важливими показниками, що контролюються державними

органами. Тому прогнозні оцінки повинні відповідати існуючим нормам. Крім того, показники питомого енергоспоживання характеризують загальний стан енергозбереження на підприємстві. Ідея контролю та управління енергоспоживанням на рівні підприємства в цілому та його окремих підрозділів, що здійснюється на основі прогнозування планових показників, виходячи з регресійних залежностей, викладена в роботах [3, 4]. Планові показники співставляють з фактичним енергоспоживанням, що дозволяє фіксувати наявні відхилення від встановленої норми і здійснювати ефективне управління процесом, використовуючи переваги оперативних дій з поліпшення ситуації. Виходячи з того, що рівні енергоспоживання підприємства залежать від значної кількості параметрів, які змінюються в процесі виробництва випадковим чином, доцільно ввести в регресійну модель найбільш суттєві фактори впливу, залишивши без урахування менш вагомі. Побудова регресійних залежностей здійснюється на основі вимірювань параметрів безпосередньо в умовах виробництва. Неврахування окремих факторів приводить до зменшення точності прогнозу, але позитивним фактором регресійного аналізу є можливість оцінки значення досягнутої точності. Для вирішення деяких практичних завдань використання простих регресійних залежностей є прийнятним. Так, наприклад, для контролю та управління процесом енергоспоживання вугільної шахти може бути використана лінійна регресія, де в якості незалежної змінної прийнятий добовий обсяг видобутку вугілля y , а залежної – добове споживання електроенергії x [3]. Точність прогнозу (і, відповідно, точність контролю) залежить від розташування лінії ре-

гресії на площині в координатах y та x . Враховуючи те, що коефіцієнти, які визначають розташування лінії регресії, є випадковими величинами, побудовано довірчі інтервали. Вони гарантують розташування лінії в їх межах із достатньо високою ймовірністю [3]. Застосування регресійного аналізу для контролю обсягів енергоспоживання шахти „Героїв Космосу“ (ВАТ „Павлоградвугілля“) свідчить про те, що область довірчих інтервалів, в якій розміщена лінія регресії, достатньо вузька, що забезпечує прийнятну точність контролю (орієнтовано $\pm 10\%$). Слід зробити наголос на те, що у даному випадку точність контролю визначається розташуванням лінії регресії, так як фактичні показники енергоспоживання порівнюють із середніми значеннями, визначеними лінією регресії. З урахуванням випадковості розміщення самої лінії регресії, порівняння фактичних показників здійснюється з встановленими для середніх значень рівнями довірчих інтервалів, що гарантує високу достовірність результатів контролю.

Якщо розглядати прогнозування обсягів енергоспоживання підприємства з точки зору встановлення ліміту відпуску електроенергії її постачальником, визначення прогнозованого рівня питомих витрат енергії, розрахунку фінансових витрат на її придбання, то важливо знати можливі відхилення прогнозованого значення об'єму енергоспоживання від оцінки, отриманої із регресійної залежності. Для цього також необхідно визначити довірчі інтервали, але не для середнього значення, що задано лінією регресії, а для самої випадкової величини. У цьому полягає суттєва відмінність підходу, який буде викладено нижче, від існуючого, запропонованого для контролю і управління в роботі [3].

У статті запропонована методика формування статистичної вибірки та побудови регресійної залежності з метою прогнозування обсягів електроспоживання вугільної шахти. Наведено приклад розрахунку з визначенням точності прогнозу.

Основним параметром, що визначає рівень витрат енергії в процесі вуглевидобутку, є обсяг вугілля, отриманого в заданий період часу. Інтерес представляють дані щомісячного видобутку вугілля (x_i) і відповідні значення щомісячних витрат енергії (y_i). Фіксуючи ці значення, для $i = 1, n$ (n – кількість урахованих місяців), можна побудувати лінійну регресійну залежність і на її основі здійснювати прогнозування, виходячи з очікуваного в майбутньому обсягу місячного видобутку вугілля (x_t). Відповідно до роботи Демиденко Є.З., оцінку прогнозу \hat{y}_t отримаємо з формули

$$\hat{y}_t = a_1 x_t + a_2,$$

де a_1, a_2 – оцінки параметрів лінії регресії.

Невідомі значення a_1 та a_2 можна отримати, розрахувавши компоненти матриці

$$a = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \end{bmatrix} = (X'X)^{-1} X'Y,$$

де X – матриця незалежних змінних (видобутку вугілля) розмірністю $n \times 2$, де перший стовпець складають елементи x_i , а кожний елемент другого стовпця дорівнює одиниці; Y – вектор залежної змінної (витрат енергії) розмірністю $n \times 1$, що містить елементи y_i .

Довірчий інтервал для прогнозованого значення витрат енергії \hat{y} отримаємо із залежності

$$D_t = \{\hat{y}_t - t_\lambda s_t \langle y_t \rangle \langle \hat{y}_t + t_\lambda s_t \rangle\}, \quad (1)$$

де t_λ – t – розподілення з $n-2$ степенями свободи; s_t – незміщена оцінка дисперсії прогнозу.

Довірчий інтервал є незміщеним з коефіцієнтом довіри $1 - \lambda$, тобто, ймовірність $P(D_t) = 1 - \lambda$.

Оцінку дисперсії прогнозу s_t отримують із формули

$$S_t^2 = S^2 (1 + X_t' (X'X)^{-1} X_t)$$

де S^2 – незміщена оцінка дисперсії; X_t – прогноз вектора незалежності змінної (місячного видобутку вугілля) $X_t = [X_t, 1]$.

Незміщена оцінка дисперсії

$$S^2 = \frac{1}{n-2} (Y - \hat{Y})' (Y - \hat{Y}) = \frac{1}{n-2} e'e,$$

де \hat{Y} – вектор оцінки залежної змінної (витрат енергії), розмірність $n \times 1$ ($\hat{Y} = Xa$); e – вектор відхилень регресії розмірністю $n \times 1$ ($e = Y - \hat{Y}$).

Із (1) видно, що точність прогнозу місячного енергоспоживання шахти залежить від меж довірчого інтервалу. Розташування меж залежить від значень t – розподілення, а також оцінки дисперсії прогнозу S_t . У свою чергу ці змінні залежать від кількості n , урахованих при формуванні статичної витрати x_i, y_i місяців роботи шахти. Змінюючи значення n , можна впливати на точність прогнозу. Звідси виникає необхідність дослідження залежності точності прогнозу від значення n . Це дозволить підбирати таке значення n , що забезпечує максимальну точність (вузький довірчий інтервал). Практичне застосування запропонованого підходу передбачає збільшення терміну спостережень з одного року ($n=12$) до декількох років ($n=24, 36, 48$ і т.д.). Можливість об'єднання статистичних даних декількох років повинна супроводжуватись перевіркою їх однорідності.

Обробка статистичних даних передбачає виявлення та виключення з вибірки спостережень, що різко виділяються із загальної їх сукупності. При аналізі обсягів енергоспоживання шахти наявність спостережень, які викликають сумнів, може бути зумовлена різкою зміною умов роботи вугільного підприємства, наприклад, освоєнням нової лави, заміною або ремонтом енергоємного гірничого обладнання і т.п. У цій ситуації може змінюватися не лише звичний режим роботи підприємства, але і структурна побудова процесу вуглевидобутку. Як правило, відхилення від

стабільних умов роботи шахти супроводжується суттєвим зниженням видобутку вугілля. Часто такі відхилення спостерігаються в літні місяці, що, у деякій мірі, пов'язано з відпустками персоналу.

Для виключення спостереження з вибірки необхідно встановити порогове значення випадкової змінної, що підлягає аналізу. У практиці для цього використовують різні методи. Один із методів полягає у формуванні матриці Z спостережень $m+1$ – вимірної змінної $\{y_i, x_{i1}, x_{i2}, x_{ij}, \dots, x_{im}\}$; $i = 1, n$; $j = 1, m$; m – кількість незалежних змінних, описаних автором Петровичем М.Л. Тут немає поділу на залежну (y_i) та незалежні (x_{ij}) змінні. Аналізують кожен стовпець (n елементів) матриці Z . Якщо вибірка (n елементів кожного стовпця) отримана з нормальної генеральної сукупності, то оцінюють середнє значення випадкової величини \bar{x}_j , в також вибіркоче середньоквадратичне відхилення S_j

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{ij}; \quad S_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_{ij} - \bar{x}_j)^2}. \quad (2)$$

Аналогічні розрахунки виконують для залежної змінної y_i .

Перевірку на нормальність закону розподілу одновимірної випадкової величини здійснюють, побудувавши гістограму даних вибірки та нормального закону розподілу. Співставлення їх форми дає приблизну оцінку. Більш точну оцінку можна отримати, користуючись відомими критеріями згоди.

Розглядаючи кожен стовпець матриці Z як одновимірну вибірку, переставляють її елементи таким чином, щоб

$$x_{(1)j} \leq x_{(2)j} \leq x_{(n)j}, \quad (3)$$

де (1), (2), ..., (n) – перестановка послідовності індексів 1, 2, ..., n. Потім розраховують значення

$$V_j = \frac{|\bar{x}_j - x_{(n)j}|}{S_j}. \quad (4)$$

Користуючись відсотковими точками розподілення Ст'юдента, та визначивши рівень значущості α для заданого n і $Q = 200 \cdot \alpha\%$, знаходять значення $V_{табл}$. Якщо виконується нерівність $V_j < V_{табл}$, то спостереження $x_{(n)j}$ залишають у вибірці, в іншому випадку – виключають із вибірки. Таким же чином перевіряють $x_{(1)j}$ (якщо аномальним є мінімальне значення елемента вибірки) та інші аномальні елементи. Перевірки підлягають також елементи залежної змінної y_i , які можуть бути вилучені з вибірки.

Після завершення процедури відсіювання можна перейти до оцінки однорідності даних, отриманих за результатами щомісячних спостережень протягом декількох років. Незважаючи на те, що збір статистичних даних здійснюється на одному і тому ж підприємстві, умови його роботи можуть суттєво змінюватись.

Впровадження енергозберігаючих технологій, удосконалення засобів безпеки праці може значно вплинути на характер залежності об'єму енергоспоживання від обсягу видобутку вугілля і, відповідно, змінити коефіцієнти a_0 , a_1 лінії регресії. Будемо вважати, що такі зміни можуть відбуватися кожного року. Тоді завдання полягає у визначенні однорідності даних, отриманих на шахті за результатами щорічних спостережень. Нехай щорічні вибірки даних мають вигляд

$$\tilde{B}(1) = \{(x_1^{(1)} y_1^{(1)}), (x_2^{(1)} y_2^{(1)}), \dots, (x_{12}^{(1)} y_{12}^{(1)})\}$$

$$\tilde{B}(2) = \{(x_1^{(2)} y_1^{(2)}), (x_2^{(2)} y_2^{(2)}), \dots, (x_{12}^{(2)} y_{12}^{(2)})\}$$

$$\tilde{B}(L) = \{(x_1^{(L)} y_1^{(L)}), (x_2^{(L)} y_2^{(L)}), \dots, (x_{12}^{(L)} y_{12}^{(L)})\}$$

де $\tilde{B}(1)$ – вибірка за рік, попередній року, для якого буде здійснюватись прогнозування місячних показників енергоспоживання; $\tilde{B}(L)$ – вибірка більш віддаленого у часі від прогнозу року (L -го року).

Зрозуміло, що найбільш близькими до умов, характерних для періоду прогнозу, є умови роботи підприємства в попередньому році (вибірка даних $\tilde{B}(1)$). Але кількість отриманих даних невелика ($n_1 = 12$), що може негативно вплинути на точність прогнозу. У разі однорідності даних вибірок $\tilde{B}(1)$, $\tilde{B}(2)$, ..., $\tilde{B}(L)$ існує можливість їх об'єднання і збільшення загальної кількості спостережень n . Пропонується здійснювати послідовне об'єднання вибірок з нарощуванням кількості спостережень n і одночасною перевіркою однорідності даних. Перш за все об'єднують вибірки $\tilde{B}(1)$ та $\tilde{B}(2)$, потім $\tilde{B}(1)$, $\tilde{B}(2)$, $\tilde{B}(3)$ і далі з урахуванням даних L -го року. Якщо однорідність даних підтверджується, то для кожного об'єднання вибірок визначають отриману точність прогнозу енергоспоживання, користуючись залежністю (1). Регресійну залежність для прогнозу y_t будують для того об'єднання вибірок $\tilde{B}(1)$, $\tilde{B}(2)$, ..., $\tilde{B}(L)$, де забезпечується максимальна точність прогнозу.

Для дослідження однорідності даних (перевірки гіпотези про незмінність коефіцієнтів регресії та дисперсії) доцільно використати методику, запропоновану Г. Чоу [5]. Методика полягає в тому, що визначають параметри a_0 та a_1 , а також вектор відхилень $e^{(1)}$ для вибірки $\tilde{B}(1)$. Потім визначають вектор відхилень e для об'єднаної вибірки \tilde{B} (наприклад, об'єднані $\tilde{B}(1)$ та $\tilde{B}(2)$). Визначають критичну статистику γ за формулою

$$\gamma_{n, n_1} = \frac{(e^T \cdot e - e^{(1)T} \cdot e^{(1)}) / n_2}{e^{(1)T} \cdot e^{(1)} / (n_1 - 2)}, \quad (5)$$

де n – кількість спостережень об'єднаної вибірки ($\tilde{B}(1)$ та $\tilde{B}(2)$); n_1 , n_2 – кількість спостережень вибірок $\tilde{B}(1)$, $\tilde{B}(2)$; $n = n_1 + n_2$.

Статистика χ_{n,n_1} підпорядковується F – розподіленню з n_2 та $n_1 - 2$ ступенями свободи. Якщо $\chi_{n,n_1} < F(n_2, n_1 - 2)$, де F – табличне значення F – розподілу, то однорідність даних підтверджується і об’єднання вибірок можливе. У наведеному прикладі розглядалась можливість об’єднання вибірок $\tilde{B}(1)$ та $\tilde{B}(2)$. Якщо об’єднання можливе, то слід продовжити процес і перевірити можливість приєднання до створеної вибірки додаткових даних (вибірка $\tilde{B}(3)$). Якщо після чергового процесу приєднання додаткових даних за попередні роки однорідність не підтверджується, то процес об’єднання слід завершити і зосередитись на виборі оптимального об’єднання даних, що забезпечує максимальну точність прогнозу.

Часто причиною неможливості об’єднання вибірок статистичних даних є наявність в об’єднаній вибірці спостережень, що різко відрізняються від інших. Тому необхідно відсіяти аномальні значення з об’єднаної вибірки, а потім здійснити перевірку даних на однорідність. Для відсіювання даних доцільно застосувати викладений вище підхід. Виходячи з того, що кількість спостережень в об’єднаній вибірці значна, отримані гістограми, у більшій мірі, характеризують закони розподілу випадкових величин.

Таким чином, запропонована методика прогнозування обсягів електроспоживання вугільної шахти полягає в наступному:

1. Формують вихідні дані для розрахунку (щомісячні показники видобутку вугілля та відповідні значення електроспоживання за декілька минулих років).

2. Об’єднують дані щорічних вибірок і відсіюють спостереження, що різко відрізняються від інших.

3. Будують регресійні залежності і визначають довірчі інтервали для прогнозованих значень електроспоживання:

– користуючись даними попереднього року (відносно року, для якого здійснюється прогноз);

– користуючись даними декількох минулих років з перевіркою результатів спостережень на однорідність.

4. Обирають для прогнозу регресійну залежність, що забезпечує його максимальну точність.

Розглянемо приклад застосування запропонованої методики для прогнозування місячних показників електроспоживання однієї з шахт ВАТ „Павлоградвугілля“. У розрахунках використані щомісячні дані видобутку вугілля та відповідні значення електроспоживання за три роки (2006, 2007, 2008). Розглядалася можливість побудови регресійної залежності, виходячи з об’єднаних даних декількох років. Для відсіювання значень вибірки, що суттєво відрізняються від інших, вибірки щорічних даних вуглевидобутку та електроспоживання були об’єднані в одну вибірку (дані 2006, 2007, 2008 років). Побудовано гістограми для незалежної x_i та залежної y_i змінних з урахуванням загальної кількості спостережень $n = 3 \times 12 = 36$ (рис. 1). Тут, r/n – частота попадань

випадкової величини у відповідний інтервал, встановлений для значень змінних x та y .

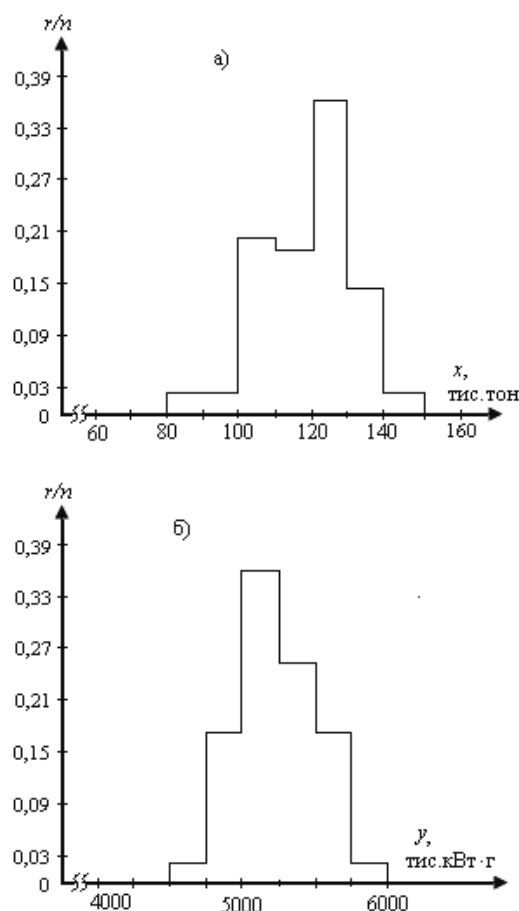


Рис. 1. Гістограми випадкових величин x (а) та y (б)

Видно, що при достатній кількості спостережень ($n=36$) характер гістограм не входить у протиріччя з нормальним законом розподілу випадкових величин, що дає змогу застосувати для відсіювання даних залежності (2), (3), (4). Після відсіювання даних розглянута можливість об’єднання щорічних спостережень з точки зору регресійної однорідності. Визначення критичних статистик (5) та їх співставлення з табличними значеннями розподілу Фішера (F – розподілу) дозволили зробити висновок про те, що об’єднання даних можливе. Результати розрахунку наведені в таблиці.

Таблиця

Оцінка однорідності статистичних даних

Результати співставлення критичних статистик χ із табличними значеннями F - розподілу (рівень значимості – 0.05)	
Об’єднання даних 2007 та 2008 р.р.	Об’єднання даних 2006, 2007 та 2008 р.р.
$2.19 < 2.9,$ $[\chi_{24,12} < F(12,10)]$	$1.099 < 2.2,$ $[\chi_{36,24} < F(12,24)]$

Побудова регресійної залежності для вибірки річних даних 2008 року, та для об'єднаних вибірок (2007, 2008 років), (2006, 2007, 2008 років) з відповідними довірчими інтервалами для залежної змінної y_τ (1), дозволила вибрати для прогнозу таку регресійну залежність, що забезпечує максимальну точність розрахунку змінної y_τ . Виходячи з даних, що розглядалися, така залежність побудована за об'єднаними спостереженнями трьох років (2006, 2007, 2008). На рис. 2 показана побудована регресійна залежність $y_\tau(x_\tau)$ (пряма 1) та криві 2, 3, що обмежують довірчу область прогнозу енергоспоживання з коефіцієнтом довіри 0,95 (крива 2 – верхня, крива 3 – нижня лінії). Задаючись очікуваним значенням видобутку вугілля в γ місяці $x_{\tau\gamma}$, можна із рис. 2 визначити прогнозоване значення $\hat{y}_{\tau\gamma}$ з точністю $\pm \Delta y_{\tau\gamma}$, зумовлене розташуванням кривих 2 та 3.

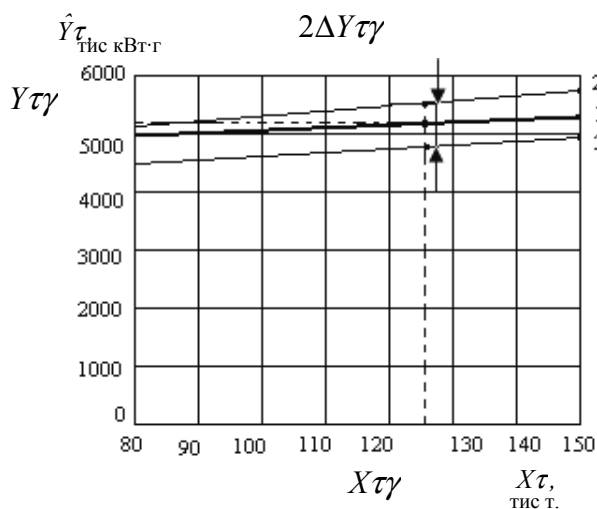


Рис. 2. Визначення прогнозованого значення електроспоживання шахти: 1 – регресійна залежність, 2,3 – довірчі інтервали

Із рис. 2 видно, що дані для побудови регресійної залежності, отримані на основі існуючих на шахті засобів обліку електроспоживання та обсягу видобутку вугілля, забезпечили відносну точність прогнозу електроспоживання $\Delta y_{\tau\gamma} / \hat{y}_{\tau\gamma}$ в межах 7–10% у залежності від значення $x_{\tau\gamma}$. Точність прогнозу вища для значень x_τ , що близькі до середнього значення щомісячного обсягу видобутку шахти, отриманого з вибірки, за якою побудована регресійна залежність.

При складанні щорічної угоди з постачальником електричної енергії вугільна шахта має можливість прогнозувати щомісячні значення споживання електричної енергії $\hat{y}_{\tau\gamma}$, виходячи із відповідних значень очікуваного видобутку вугілля $x_{\tau\gamma}$. Важливо, щоб встановлений для шахти ліміт відпуску електроенергії не був нижчим верхньої межі довірчого інтервалу (крива 2). Тоді з коефіцієнтом довіри 0,95 можна гарантувати, що значення встановленого ліміту не бу-

дуть перевищені. На рис.3 показане розташування точок щомісячного споживання електроенергії за даними 2008 року. Видно, що жодна з точок не вийшла за межі кривої 2 довірчого інтервалу. Таким чином, прогнозовані значення електроспоживання, що відповідають кривій 2, можна вважати нижньою межею для встановлення ліміту на відпуск електроенергії.

Перехід від місячного прогнозу споживання електроенергії до річного може здійснюватися за наступною схемою. Виходячи з того, що річне споживання електроенергії шахтою складається з суми показників місячного енергоспоживання, можна для випадкових величин визначити оцінку прогнозу річного споживання за формулою

$$\hat{y}_p = \sum_{\gamma=1}^{12} \hat{y}_{\tau\gamma}(x_{\tau\gamma})$$

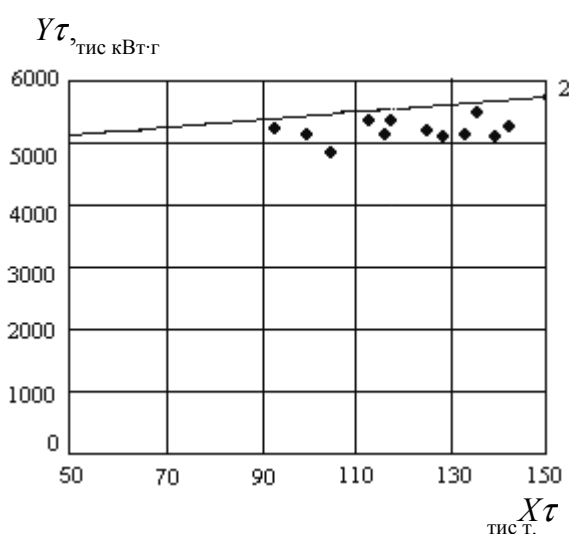


Рис. 3. Розташування точок щомісячного споживання електроенергії в 2008 р. (2 – верхня межа довірчого інтервалу)

Оцінку прогнозу витрат енергії в γ -му місяці $\hat{y}_{\tau\gamma}$ отримують із побудованої для прогнозу місячного електроспоживання шахти регресійної залежності, аналогічної наведеній на рис. 2. Для очікуваних значень $x_{\tau\gamma}$ із графіка визначають відповідні $\hat{y}_{\tau\gamma}$. Якщо вважати показники щомісячного видобутку вугілля незалежними величинами, то точність прогнозу річного електроспоживання отримаємо з формули

$$\Delta y_p = \sqrt{\sum_{j=1}^{12} [\Delta y_{\tau\gamma}(x_{\tau\gamma})]^2} \quad (6)$$

Із формули (6) видно, що при визначенні меж відхилення оцінки річного енергоспоживання $\hat{y}_p \pm \Delta y_p$ врахована точність прогнозу енергоспоживання в кожному місяці ($\Delta y_{\tau\gamma}$). Значення $\Delta y_{\tau\gamma}$ також отримують із побудованих за даними минулих спостережень залежностей (рис. 2).

Залежності, наведені на рис. 2, дозволяють визначити також прогнозовані значення питомих витрат енергії. Для цього розраховують відносні значення $\hat{y}_{\tau} / x_{\tau}$ та відповідні верхню $(\hat{y}_{\tau} + \Delta y_{\tau}) / x_{\tau}$ і нижню $(\hat{y}_{\tau} - \Delta y_{\tau}) / x_{\tau}$ межі цього показника в кожному місяці. Аналогічні розрахунки здійснюють для показників річних питомих витрат енергії.

Запропонована методика може бути застосована також для прогнозування щоденних витрат енергії вугільною шахтою. У цьому випадку будують залежності $y_{\tau}(x_{\tau})$, аналогічні наведеним на рис. 2, спираючись на результати щоденного енергоспоживання в минулі періоди (протягом одного або декількох місяців). При наявності встановленого ліміту на показники щоденного споживання електроенергії, залежності $y_{\tau}(x_{\tau})$ дозволять планувати щоденні значення видобутку вугілля, що забезпечить роботу шахти без перевищення ліміту.

Викладена методика передбачає проведення відповідних розрахунків. Для цього створена комп'ютерна програма, що забезпечує побудову необхідних для прогнозу енергоспоживання залежностей. За результатами розрахунку побудовані залежності, наведені на рис. 1, 2, 3, отримані дані для наповнення таблиці.

Висновки. Розроблено методику, що дозволяє прогнозувати щоденні, щомісячні, річні показники електроспоживання шахти, питомих витрат енергії і визначати точність прогнозу, виходячи із побудованої за даними спостережень у минулі періоди регресійної залежності. Прогнозування дозволяє суттєво знизити ризики, пов'язані з можливим перевищенням встановлених для підприємства лімітів.

На основі методики розроблено комп'ютерну програму для виконання відповідних розрахунків і представлення результатів досліджень у формі, прийнятій для вирішення завдань гірничого підприємства.

Список літератури / References

1. Копцев Л.А. Нормирование и прогнозирование потребления электроэнергии в зависимости от объемов производства / Копцев Л.А. // Промышленная энергетика. – М.: 1996, №3, С. 5–7.
Koptsev L.A. Normalization and prediction of energy consumption according to production volume / Koptsev L.A. // Promyshlennaya energetika. – M.: 1996, No.3, P. 5–7.
2. Гунин В.М. Опыт нормирования и прогнозирования электропотребления предприятия на основе математической обработки статистической отчетности / Гунин В.М., Копцев Л.А., Никифоров Г.В. // Промышленная энергетика. – М.: 2000, №2, С 2–5.

Gunin V.M. Normalization and prediction experience of enterprise energy consumption based on the mathematical treatment of statistical reporting / Gunin V.M., Koptsev L.A., Nikiforov G.V. // Promyshlennaya energetika. – M.: 2000, No.2, P.2–5.

3. Випанасенко С.І. Контроль ефективності використання електроенергії вугільними шахтами / Випанасенко С.І. // Техн. електродинаміка: Проблеми сучасної електротехніки. – К.: – 2006. – Ч 4. – С. 53–59.

Vypanasenko S.I. Control of energy consumption efficiency at coal mines / Vypanasenko S.I. // Tekhn. elektrodynamika: Problemy suchasnoi elektrotekhniki. – K.: – 2006. – Part 4. – P. 53–59.

4. Випанасенко С.І. Системи енергоменеджменту вугільних шахт: Монографія / Випанасенко С.І. // Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ: 2008. – 106 с.

Vypanasenko S.I. Energy management systems of coal mines: Monograph / Vypanasenko S.I. // NGU. – Dnipropetrovsk: 2008. – 106 p.

5. Айвазян С.А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: Учебник для вузов В 2 т. , 2-е изд., испр, Т. 2 / Айвазян С.А.; // Основы эконометрики. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001, – 432 с.

Ayvazyan S.A. Applied statistics. Foundations of econometrics: high school textbook; In 2 vol., 2d issue., Vol. 2 / Ayvazyan S.A. // Osnovy ekonometriki. – M.: YUNITI-DANA, 2001, – 432 p.

Сформулированы задания, которые решаются путем прогнозирования показателей электроиспользования. Разработана методика прогнозирования ежедневных, ежемесячных и годовых показателей электропотребления угольной шахты. Определена точность прогноза. Разработана компьютерная программа для соответствующих расчетов. Приведен пример расчета с использованием разработанной методики.

Ключевые слова: угольная шахта, электропотребление, регрессионный анализ

The tasks which can be solved by means of energy consumption prognostication are formulated. Dependences for calculating the estimated parameters are shown. The method for daily, monthly and annual performance of coal mine energy consumption prognostication is developed. The accuracy of the prognostication is determined. The computer program for corresponding calculations is worked out. A calculation example using the developed method is given.

Keywords: coal mine, energy consumption, regression analysis

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук Ф.П. Шкрабцем. Дата находження рукопису 19.04.11