

## ОСОБЕННОСТИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ

*С.И. Выпанасенко, Н.С. Дрешняк., Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Украина*

Изложена методика прогнозирования электропотребления, позволяющая прогнозировать ежемесячные и годовые показатели расхода и удельных затрат электроэнергии, исходя из заданных значений ежемесячных объемов добычи угля. Раскрыты ее особенности. Приведен пример расчета прогнозируемых показателей для одной из шахт, выполнен анализ полученных результатов.

### Введение

Результаты прогнозирования электропотребления на шахте используются для решения важных технических и экономических задач предприятия. Так, прогнозирование электропотребления учитывается при составлении договора с поставщиком электрической энергии. Превышение установленного в документе лимита отпуска электроэнергии позволяет поставщику осуществлять ограничение электроснабжения и повышать стоимость электроэнергии для предприятия. Во избежание возможных превышений, необходимо прогнозирование электропотребления с заданной точностью. Если прогноз электропотребления свидетельствует об увеличении уровня электропотребления, то этот факт нужно учесть при составлении договора, то есть планировать дополнительные расходы.

Прогнозирование электропотребления также позволяет выполнять оценку энергоэффективности технологического процесса в зависимости от объема произведенной продукции. В результате прогнозирования определяются значения удельных норм электропотребления, которые нормируются и контролируются государственными органами.

Прогнозирование плановых показателей осуществляется на основе регрессионных зависимостей, описанных в работах [1,2]. Построение регрессионных зависимостей осуществляется на основе измерений параметров непосредственно в условиях производства. Для контроля эффективности использования электроэнергии может быть использована линейная регрессия, где в качестве независимой переменной принят суточный объем производства угля, а зависимой – суточное потребление электроэнергии [1]. Точность прогноза зависит от возможного отклонения прогнозируемого значения энергопотребления от оценки, полученной из регрессионной зависимости [3]. Для этого необходимо определить доверительные интервалы, но не для среднего значения, заданного линейной регрессии, как было предложено в работе [1], а для случайной величины.

Целью статьи является описание методики формирования статистической выборки и построение регрессионной зависимости, позволяющей прогнозировать электропотребление угольной шахты с определенной точностью.

### Основная часть

Предлагаемая методика позволяет прогнозировать ежемесячные и годовые показатели расхода (кВт·ч) и удельных затрат (кВт·ч/тонну) электроэнергии, исходя из заданных (планируемых) значений ежемесячных объемов добычи угля. В основу разработанной методики положен регрессионный анализ, позволяющий получить прогнозируемую оценку электропотребления, исходя из статистических данных объемов добычи и соответствующих значений электропотребления, полученных на шахте в прошедшие годы. Отличительной особенностью разработанной методики является ограниченный объем исходной информации, необходимой для расчета (ежемесячные показатели расхода электроэнергии и добычи угля в течение нескольких прошедших лет), а также возможность оценки максимальной погрешности прогноза (получают оценку прогнозируемого значения электропотребления и интервал его возможных отклонений, как в сторону увеличения, так и уменьшения).

Расчеты по предлагаемой методике выполняются в матричной форме и предполагают использование средств вычислительной техники.

Результаты прогнозирования объемов потребления электроэнергии, ее удельных затрат в процессе добычи угля могут быть использованы для:

- обоснования ежемесячных и годовых лимитов на поставку электроэнергии угольной шахте;

- обоснования уровня удельных затрат электроэнергии на тонну добычи угля;

- оценки стоимости электроэнергии для планируемых объемов добычи.

При использовании методики следует помнить, что точность прогноза существенно зависит от достоверности исходной информации. Важно, чтобы используемые в расчете значения электропотребления шахты отвечали истинным значениям добычи угля в указанные периоды.

Методика предполагает выполнение определенной последовательности действий, приводящих к получению результата, обеспечивающего повышение точности прогноза.

В методике изложен используемый математический аппарат, приведен пример расчета прогнозируемых показателей для одной из шахт, выполнен анализ полученных результатов.

Рассмотрим порядок расчета прогноза электропотребления.

1. Формируют матрицы исходных данных, используемых в расчете:

- матрица  $X$  содержит значения ежемесячных показателей добычи угля, исходя из данных, полученных в прошедшие годы. Первый столбец содержит элементы ежемесячной добычи (тыс. тонн), второй столбец заполняется единицами («1»). Размерность матрицы  $(n \times 2)$ . Здесь  $n$  – количество учтенных месяцев.

- матрица  $Y$  содержит ежемесячные показатели электропотребления (тыс. кВт·ч) за прошедшие годы. Размерность матрицы  $(n \times 1)$ .

Матрицы  $X$  и  $Y$  заполняются в нескольких вариантах:

I вариант – использует данные года, непосредственно предшествующего прогнозируемому. Тогда  $n=12$ .

II вариант – использует объединенные данные двух лет, предшествующих прогнозируемому году. Тогда  $n=24$ .

III вариант – использует объединенные данные трех лет, предшествующих прогнозируемому году. Тогда  $n=36$ .

IV вариант – использует объединенные данные четырех лет, предшествующих прогнозируемому году. Тогда  $n=48$ .

2. Оценку прогноза месячного электропотребления  $\hat{y}_\tau$  получают из формулы

$$y_\tau = a_1 x_\tau + a_2,$$

где  $a_1, a_2$  – оценки параметров линии регрессии;

$x_\tau$  – ожидаемый (планируемый) объем месячной добычи угля.

Неизвестные значения  $a_1$  и  $a_2$  получают, рассчитывая компоненты матрицы

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

3. Доверительный интервал  $D_\tau$  для прогнозируемого значения месячного электропотребления  $y_\tau$  получим из формулы

$$D_\tau = \left\{ y_\tau - t_\lambda S_\tau \left\langle y_\tau \left\langle y_\tau + t_\lambda S_\tau \right\rangle \right\rangle \right\},$$

где  $t_\lambda$  –  $t$ -распределение с  $n-2$  степенями свободы;  $S_\tau$  – несмещенная оценка дисперсии прогноза.

Доверительный интервал в предлагаемой методике рассчитан с коэффициентом доверия  $1-\lambda=0,95$ , то есть вероятность  $P(D_\tau) = 0,95$ .

4. Оценку дисперсии прогноза  $S_\tau$  получают из формулы

$$S_\tau^2 = S^2(1 + X_\tau'(X'X)^{-1}X_\tau),$$

где  $S^2$  – несмещенная оценка дисперсии;

$X_\tau$  – вектор планируемых значений добычи угля  $X_\tau = [x_\tau, 1]$ .

Несмещенная оценка дисперсии

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

где  $Y$  – вектор оценки электропотребления размерностью  $n \times 1$  ( $Y = X_a$ );  $e$  – вектор отклонений регрессии размерностью  $n \times 1$  ( $e = Y - Y$ ).

5. Задаваясь планируемыми значениями добычи угля  $x_\tau$  и выполняя пункты 2,3,4 для различных вариантов (I, II, III, IV) заполнения матриц  $X$ ,  $Y$ , находим соответствующие доверительные интервалы для прогнозируемых значений электропотребления  $y_\tau$ . Верхний предел доверительного интервала  $y_\tau + t_\lambda S_\lambda$ , нижний  $y_\tau - t_\lambda S_\lambda$ . При заданном  $x_\tau$  вероятность превышения верхнего предела доверительного интервала составляет 2,5 %, а нижнего 97,5%. Значения  $t_\lambda$  для различных вариантов расчета (I, II, III, IV) составляют соответственно 2,2; 2,07; 2,03; 2,01. Вероятность нахождения прогнозируемого значения электропотребления  $y_\tau$  между нижним и верхним пределом доверительного интервала составляет 0,95 (95%). Таким образом, искомое прогнозируемое значение электропотребления получаем в виде оценки прогноза  $y_\tau$  и максимальных уровней возможных отклонений, как в сторону увеличения, так и уменьшения, то есть

$$y_\tau \pm \begin{matrix} t_\lambda S_\lambda \\ t_\lambda S_\lambda \end{matrix} = y_\tau \pm \Delta y_\tau$$

6. Рассматриваем максимальную погрешность прогноза в рассматриваемых вариантах (I, II, III, IV). Для этого определяем отношение  $\Delta y / y_\tau$ . Задавая возможный интервал изменения планируемых значений добычи угля  $x_\tau$ , получаем зависимость  $\Delta y / y_\tau = \varphi(x_\tau)$ , а также зависимости

$$y_\tau + \Delta y_\tau = f_1(x_\tau), \quad y_\tau = f_2(x_\tau), \quad y_\tau - \Delta y_\tau = f_3(x_\tau) \quad (1)$$

7. Проверяем возможность объединения статистических данных, полученных в разные годы, предшествующие прогнозируемому году. Для этого оцениваем однородность данных объединяемых выборок в рассматриваемых вариантах II, III, IV. Для каждого из вариантов определяем критическую статистику по формуле

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

где  $n_1, n_2$  – количество наблюдений (месяцев) в выборках объединяемых данных ( $n_1$  – исходной выборки,  $n_2$  – дополнительной выборки);

$e^{(1)}$  – вектор отклонений для исходной выборки;

$e$  – вектор отклонений для объединенной выборки;

$n = n_1 + n_2$ .

Для варианта II исходной выборкой являются данные выборки варианта I. Рассчитывают  $\gamma_{24,12}$ .

Для варианта III исходной выборкой являются данные выборки варианта II. Рассчитывают  $\gamma_{36,24}$ .

Для варианта IV исходной выборкой являются данные выборки варианта III. Рассчитывают  $\gamma_{48,36}$ .

Полученные критические статистики сопоставляют с табличным значением F-распределения

$$\gamma_{n,n_1} < F(n_2, n_1 - 2)$$

Таким образом, сопоставляют

$\gamma_{24,12} < F(12, 10)$	$F(12, 10) = 2,9$	Уровень значимости равен 0,05
$\gamma_{36,24} < F(12, 22)$	$F(12, 22) = 2,2$	
$\gamma_{48,36} < F(12, 34)$	$F(12, 34) = 2,05$	

Проверку возможности объединения данных начинают из рассмотрения II варианта. Затем рассматривают варианты III и IV.

Если неравенство выполняется, то однородность данных выполняется, и вариант объединения подлежит рассмотрению.

Если неравенство не выполняется, то этот вариант и последующие варианты не рассматриваются.

8. Для I варианта, а также вариантов объединенных данных, где их однородность подтверждается, анализируют зависимости  $\Delta y / y_\tau = \varphi(x_\tau)$  и выбирают ту из их числа, где имеет место наименьшее значение отношения  $\Delta y / y_\tau$ , рассчитанное для одного из заданных значений  $x_\tau$ . В выбранном варианте максимальная погрешность прогноза имеет наименьшее значение, что обеспечивает повышение точности прогнозируемых значений. Выбранный по результатам расчета вариант используется для прогнозирования электропотребления (базовый вариант).

Ясно, что в качестве базового может оказаться как вариант, использующий статистические данные одного года, так и нескольких лет (объединенная выборка).

9. Прогнозируемые значения удельного расхода электроэнергии получаем из зависимостей (1), рассчитанных для базового варианта:

$$\frac{y_\tau + \Delta y_\tau}{x_\tau} = f_4(x_\tau), \quad \frac{y_\tau}{x_\tau} = f_5(x_\tau), \quad \frac{y_\tau - \Delta y_\tau}{x_\tau} = f_6(x_\tau) \quad (2)$$

10. Осуществляем построение зависимостей для расчета прогнозируемых значений электроснабжения (1), а также удельного расхода электроэнергии (2), рассчитанных для базового варианта. Зависимости позволяют определить оценку прогноза электропотребления  $y_\tau$ , удельного расхода электроэнергии  $y_\tau / x_\tau$ , а также максимальные уровни их отклонений для планируемых значений ежемесячной добычи угля  $x_\tau$ .

11. Зависимости (1) позволяют рассчитать оценку прогноза годового электропотребления  $y_G$ , а также возможный предел ее отклонения  $\Delta y_G$  по формулам

$$y_G = \sum_{\gamma=1}^{12} y_{\tau\gamma}(x_{\tau\gamma}); \Delta y_G = \sqrt{\sum_{\gamma=1}^{12} \Delta y_{\tau\gamma}(x_{\tau\gamma})^2}.$$

Здесь  $x_{\tau\gamma}$  – планируемая добыча угля в  $\gamma$  – месяце прогнозируемого года;

$y_{\tau\gamma}$  – оценка прогноза электропотребления в  $\gamma$  – месяце;

$\Delta y_{\tau\gamma}$  – предел отклонений оценки прогноза в  $\gamma$  – месяце.

Результат прогнозирования получаем в виде  $y_G \pm \Delta y_G$ .

Ниже приведен пример прогнозирования электропотребления удельных расходов энергии одной из шахт в 2013 году.

Исходные данные для расчета – ежемесячные показатели добычи угля и соответствующие показатели электропотребления в 2009-2012 гг.

Для базового варианта (2012 г) построены зависимости (1) для прогнозирования электропотребления в 2013 году.

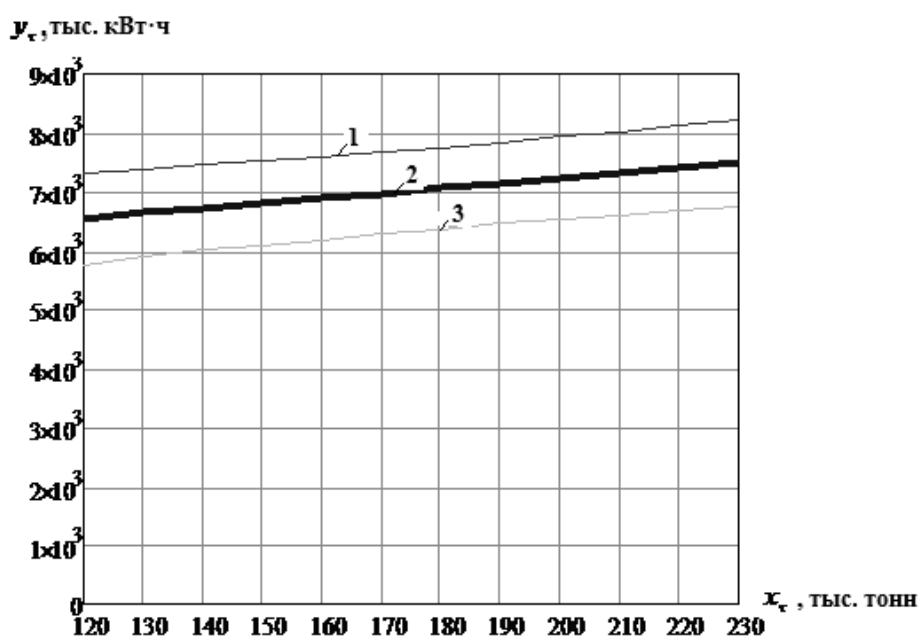


Рис. 1 Прогноз ежемесячного электропотребления шахты  $y_\tau$  (тыс. кВт·ч) от планируемой добычи  $x_\tau$  (тыс. тонн)

$$1 - y_\tau + \Delta y_\tau = f_1(x_\tau); 2 - y_\tau = f_2(x_\tau); 3 - y_\tau - \Delta y_\tau = f_3(x_\tau).$$

Пусть планируемая добыча угля в одном из месяцев 2013 года составляет  $x_\tau = 200$  тыс. тонн., тогда:

- если лимит на поставку электроэнергии будет установлен на уровне кривой 1 (8000 тыс. кВт·ч), то вероятность выполнения производственного задания (добыча 200 тыс. тонн) составит 97,5 %, то есть практически существует гарантия его выполнения;

- если лимит будет установлен на уровне кривой 2 (7300 тыс. кВт·ч), то вероятность выполнения производственного задания составит 50 %;

- если лимит будет установлен на уровне кривой 3 (6600 тыс. кВт·ч), то соответствующая вероятность составит 2,5 %, то есть производственное задание практически невыполнимо.

Для планируемого объема добычи  $x_\tau = 200$  тыс. тонн максимальную стоимость электроэнергии рассчитывают исходя из значения ее расхода – 8000 тыс. кВт·ч, а среднюю стоимость – исходя из значения расхода 7300 тыс. кВт·ч.

Для базового варианта построены зависимости (2) для прогнозирования ежемесячного удельного расхода электроэнергии в 2013 году.

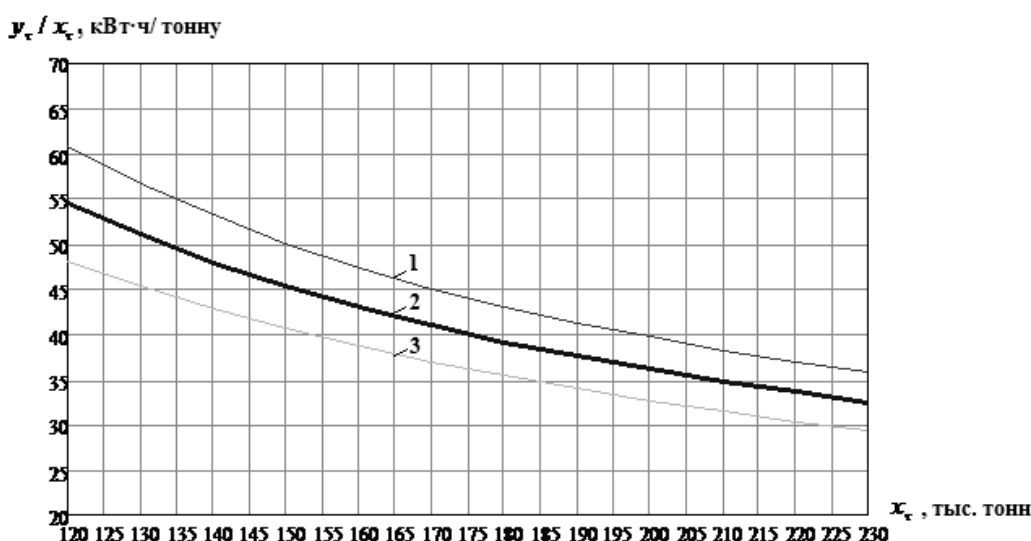


Рис. 2 Прогнозируемый ежемесячный удельный расход электроэнергии по шахте в 2013 году  $y_\tau / x_\tau$  (кВт·ч/ тонну) в зависимости от планируемой добычи  $x_\tau$  (тыс. тонн)

$$1 - \frac{y_\tau + \Delta y_\tau}{x_\tau} = f_4(x_\tau);$$

$$2 - \frac{y_\tau}{x_\tau} = f_5(x_\tau);$$

$$3 - \frac{y_\tau - \Delta y_\tau}{x_\tau} = f_6(x_\tau).$$

Для планируемой добычи  $x_\tau = 200$  тыс. тонн прогнозируемое значение удельного расхода электроэнергии  $y_\tau / x_\tau$  находится в интервале значений от 33 до 40 кВт·ч/ тонну с вероятностью 0,95 (95%).

В 2013 году планируемые ежемесячные показатели добычи по шахте следующие:

Месяц	Добыча, тыс. тонн
Январь	132
Февраль	128
Март	207
Апрель	199
Май	213
Июнь	226

Июль	221
Август	224
Сентябрь	223
Октябрь	210
Ноябрь	190
Декабрь	223

Оценка прогноза годового электропотребления

$$y_G = \sum_{\gamma=1}^{12} y_{\gamma\gamma}(x_{\gamma\gamma}) = 6700 + 6600 + 7300 + 7250 + 7400 + 7450 + 7390 + 7400 + 7395 + 7300 + 7150 + 7450 = 86785 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}$$

Отклонения

$$\Delta y_G = \sqrt{\sum_{\gamma=1}^{12} \Delta y_{\gamma\gamma}(x_{\gamma\gamma})^2} =$$

$$= \sqrt{650^2 + 650^2 + 630^2 + 630^2 + 640^2 + 650^2 + 645^2 + 650^2 + 650^2 + 645^2 + 635^2 + 650^2} =$$

$$= 2230 \text{ тыс. кВт}\cdot\text{ч}$$

Результат прогнозирования  $86785 \pm 2230$  тыс. кВт·ч.

### Выводы

Прогнозирование электропотребления позволяет уменьшить риски, связанные с возможным превышением установленных для предприятия лимитов на потребление электроэнергии. Предложенная методика позволяет прогнозировать ежемесячные и годовые показатели расхода и удельных затрат электроэнергии и определять точность прогноза, исходя из построенной по данным наблюдений в прошедшие периоды регрессионной зависимости.

### Список литературы

- 1) Випанасенко, С.І. Системи енергоменеджменту вугільних шахт: монографія [Текст]/ С.І. Випанасенко //Національний гірничий університет. – Д.: 2008.– 106 с.
- 2) Дрешпак, Н.С. Вимірювання та контроль ефективності споживання електроенергії виробничими підрозділами підприємства [Текст]/ Н.С. Дрешпак // Гірнича електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2012. – Вип.88. – С.139-143.
- 3) Демиденко, Е.З. Линейная и нелинейная регрессии [Текст]/ Е.З. Демиденко //Финансы и статистика. – М.: 1981.– 301 с.