

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ОЦЕНКА  
РАВНОМЕРНОСТИ РАБОТЫ  
УГЛЕПОДГОТОВИТЕЛЬНОГО ЦЕХА  
ОАО «ЗАПОРОЖКОКС»**

© 2009 Торяник Э.И., к.т.н.,  
Журавский А.А., к.т.н. (УХИИ)  
Подлубный А.В., Рубчевский В.Н., к.т.н.,  
Чернышов Ю.А., к.т.н., Ермак Ю.В.  
(ОАО «Запорожжкокс»)

*Разработан критерий, позволяющий не только оценить эффективность работы УПЦ, но и, выявив т. н. «узкие места» в его работе, предпринять надлежащие мероприятия для их ликвидации. На базе разработанных критериев была разработана автоматизированная система оценки эффективности работы УПЦ.*

*A criterion, which allows not only assessing the effectiveness of the UPC work, but also identifying the so-called «gaps» in its work, to take appropriate measures for their elimination is developed. On the basis of established criteria has been developed an automated system for evaluating the performance of UPC work.*

Ключевые слова: уголь, концентрат, поступление, свойства, углеподготовительный цех, равномерность, автоматизированная программа, оценка.

Для решения задачи стабилизации свойств доменного кокса необходимо осуществлять контроль равномерности не только качества сырья и товарного продукта, но и всех стадий производства последнего. В соответствии с этим на ОАО «Запорожжкокс» разработана и проходит испытание компьютеризированная система, призванная контролировать равномерность поступления углей, их качество и технологию подготовки к коксованию.

Контроль качества сырья и готовой продукции осуществляется путем ежедневного определения качества поступающих на завод концентратов углей и приготовленной из них шихты. Шихты на коксование контролируется по ряду показателей, таких как влажность, зольность, содержание серы, выход летучих веществ из углей и др.

Равномерность качества показателей углей принято оценивать по коэффициенту равномерности  $K$  (%) отдельно для каждого показателя по формуле [1]:

$$K = \frac{(n - n_0) \cdot 100}{n}, \quad (1)$$

где:  $n$  – общее число измерений в анализируемый период;

$n_0$  – число измерений с отклонениями от заданных показателей качества.

Коэффициент неравномерности поступления концентратов углей на завод определяется как отношение величин суточного фактического поступления углей к суточной потребности. При таком методе расчета нетрудно убедиться, что при достаточно большом объеме статистических данных величина этого коэффициента всегда будет стремиться к единице. Поэтому коэффициент неравномерности прибытия отдельных марок углей предлагается рассчитывать с использованием данных, обработанных методами математической статистики. При этом определяется средняя величина поступления и дисперсия суточных поступлений по формуле:

$$K_{\text{пост}} = \frac{C_K}{C_K + t \cdot G_K}, \quad (2)$$

где:  $K_{\text{пост}}$  – коэффициент неравномерности поступлений;

$t$  – нормированное отклонение поступлений;

$G_k$  – среднее квадратичное отклонение суточных поступлений угля от среднемесячного поступления угля, т;

$C_k$  – суточная потребность в угле, т.

Общий коэффициент равномерности поступающих концентратов будет определяться как средневзвешенная величина:

$$K_{\text{пост}}^{\text{общ}} = \frac{\sum K_{\text{пост}i} \cdot m_i}{\sum m_i}, \quad (3)$$

где:  $K_{\text{пост}i}$  – коэффициент равномерности поступления  $i$ -того компонента угольной шихты;

$m_i$  – массовая доля этого компонента в шихте.

Для автоматизированного расчета равномерности поступления угольных концентратов и коэффициентов равномерности их качества на ОАО «Запорожжокс» были разработаны электронные таблицы, выполненные в формате Microsoft Excel (см.

рис. 1). На каждый из поступающих концентратов заведена своя таблица, в которую заносятся данные по прибытию маршрутов с данными концентратами и показателями их качества. При этом автоматически рассчитываются и фиксируются в таблице следующие показатели (рис. 2):

- общий вес прибывшего маршрута и суммарный вес поступивших конкретных концентратов с начала отчетного периода (как правило, с начала месяца);

- коэффициент равномерности поступления  $K_{\text{пост}}$  данных концентратов, его максимальное и минимальное значения;

- показатели качества поступивших концентратов (данные технического анализа, дилатометрия и пластометрия, отражательная способность витринита и т.п.).

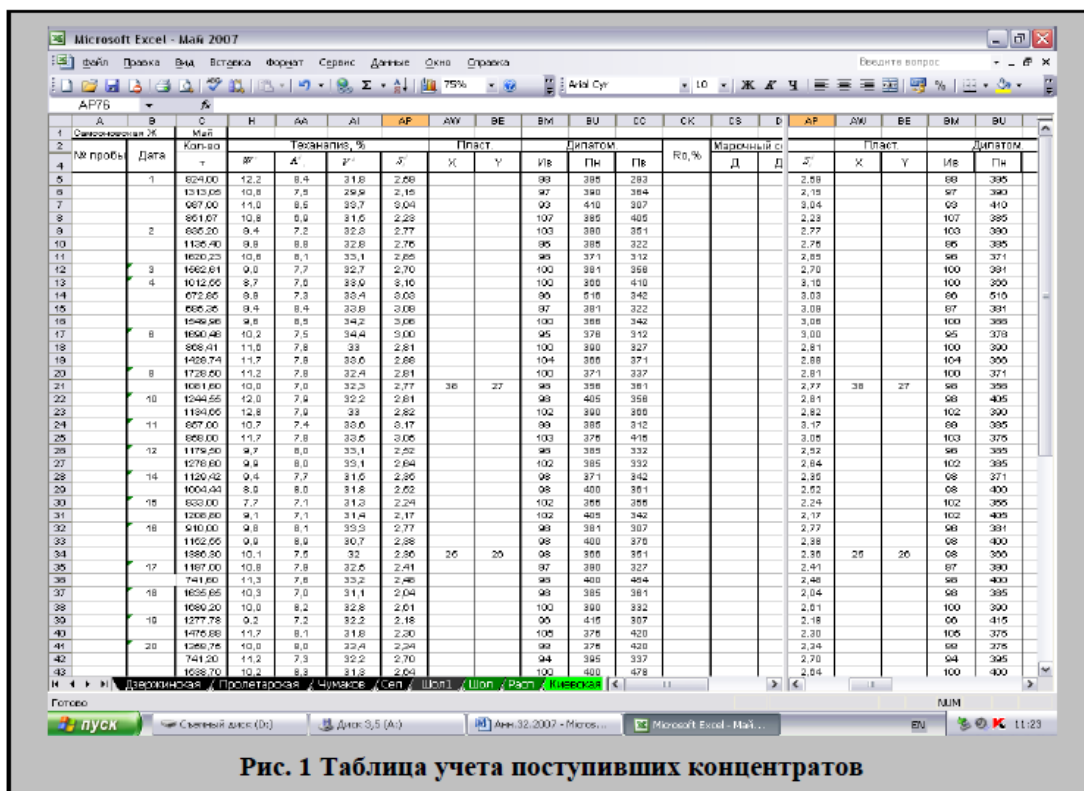


Рис. 1 Таблица учета поступивших концентратов

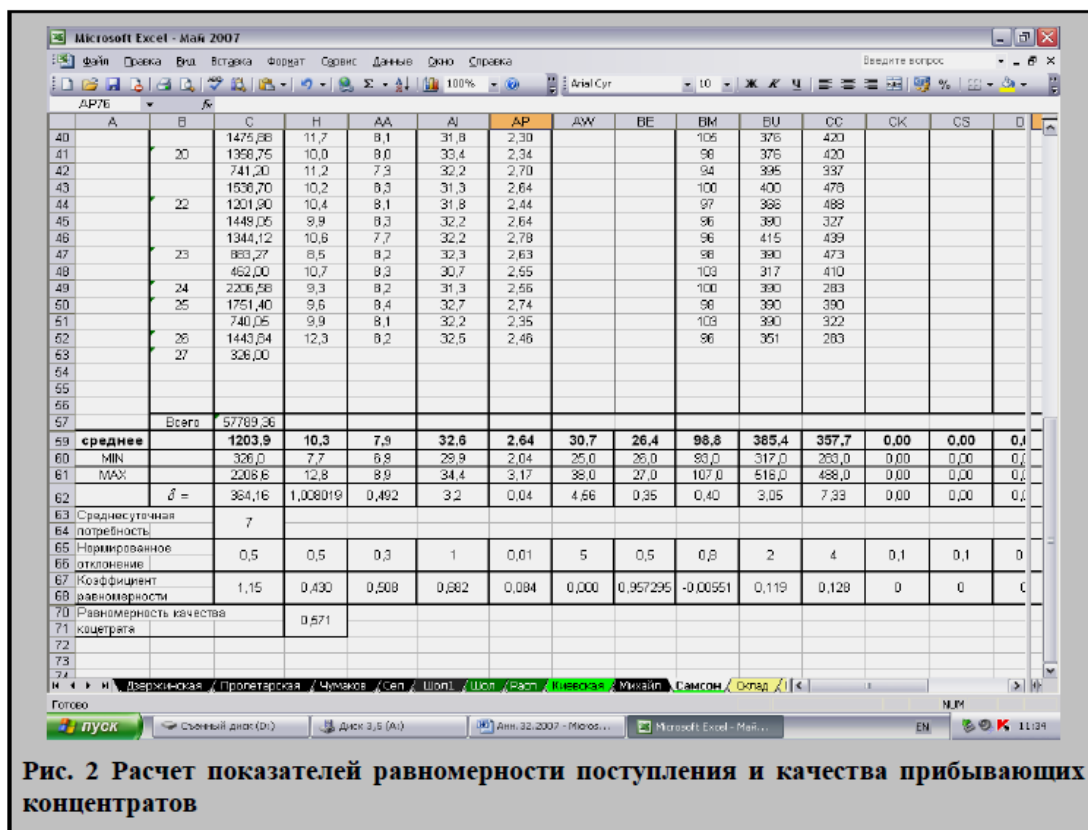


Рис. 2 Расчет показателей равномерности поступления и качества прибывающих концентратов

Коэффициент равномерности поступления концентратов рассчитывался по формуле (2) и вводится в скрытых столбцах таблицы (рис. 3).

Так, например, столбец D (рис. 3) – квадрат разности текущего и среднего значения поступивших концентратов, затем полученные данные по столбцу суммируются и рассчитываются как среднеквадратичное отклонение.

Среднее значение показателей качества поступивших концентратов рассчитывать по формуле (1) затруднительно. Поэтому равномерность качества поступающих углей оценивается по каждому показателю как средневзвешенное значение в зависимости от их количества:

$$K_k = \frac{\sum P_i \cdot a_i}{\sum a_i}, \quad (4)$$

где:  $a_i$  – количество концентратов, поступивших с  $i$ -той партией;

$P_i$  – показатель качества этой партии концентратов.

Общий показатель равномерности качества поступающих углей, который учитывает равномерность по всем показателям, определяется как среднеарифметическое значение основных показателей качества:

$$K_{cp} = \frac{\sum K_k}{n}, \quad (5)$$

где:  $K_k$  – средневзвешенный показатель равномерности качества концентрата за отчетный период (зольность, выход летучих веществ, содержание серы);

$n$  – количество основных показателей качества, в качестве которых были выбраны

данные технического анализа и равномерность поступления данного концентрата.

| 1  | A              | B    | C       | D          | E | F        | G        | H     | AA  |
|----|----------------|------|---------|------------|---|----------|----------|-------|-----|
| 1  | Самсоновская Ж | Май  |         |            |   |          |          |       |     |
| 2  | № пробы        | Дата | Кол-во  |            |   |          |          | Техан |     |
| 4  |                | т    |         |            |   |          |          | И'    | А'  |
| 5  |                | 1    | 924.00  | 78389.203  | 1 | 78389.2  | 11272.6  | 12.2  | 8.4 |
| 6  |                |      | 1313.05 | 11903.901  | 1 | 11903.9  | 14180.94 | 10.8  | 7.5 |
| 7  |                |      | 987.00  | 47085.133  | 1 | 47085.13 | 10687    | 11.0  | 8.5 |
| 8  |                |      | 851.67  | 124097.876 | 1 | 124097.7 | 9198.036 | 10.8  | 6.9 |
| 9  |                | 2    | 935.20  | 72223.875  | 1 | 72223.88 | 8790.88  | 9.4   | 7.2 |
| 10 |                |      | 1135.40 | 4698.41702 | 1 | 4698.417 | 11240.46 | 9.9   | 8.8 |
| 11 |                |      | 1620.23 | 173293.201 | 1 | 173293.2 | 17174.44 | 10.6  | 8.1 |
| 12 |                | 3    | 1582.61 | 128640.582 | 1 | 128640.6 | 14083.49 | 9.0   | 7.7 |
| 13 |                | 4    | 1012.65 | 30832.040  | 1 | 30832.05 | 8809.185 | 8.7   | 7.6 |
| 14 |                |      | 672.85  | 282061.899 | 1 | 282061.9 | 5988.365 | 8.9   | 7.3 |
| 15 |                |      | 685.35  | 268940.174 | 1 | 268940.8 | 6442.29  | 9.4   | 8.4 |
| 16 |                |      | 1549.66 | 119729.39  | 1 | 119729.4 | 14879.62 | 9.6   | 8.5 |
| 17 |                | 6    | 1690.46 | 236696.845 | 1 | 236696.8 | 17242.69 | 10.2  | 7.5 |
| 18 |                |      | 868.41  | 112583.736 | 1 | 112583.7 | 10073.56 | 11.6  | 7.8 |
| 19 |                |      | 1429.74 | 50983.382  | 1 | 50983.38 | 16727.96 | 11.7  | 7.9 |
| 20 |                | 8    | 1728.50 | 275157.948 | 1 | 275157.9 | 19359.2  | 11.2  | 7.8 |
| 21 |                |      | 1081.60 | 14988.299  | 1 | 14988.3  | 10816    | 10.0  | 7.0 |
| 22 |                | 10   | 1244.65 | 1648.78603 | 1 | 1649.786 | 14934.6  | 12.0  | 7.9 |

Рис. 3 Скрытые столбцы электронной таблицы

Подобные электронные таблицы были составлены для всех поступающих концентратов и объединены в единую папку.

Как это уже отмечалось выше, кроме равномерности поступления концентратов на завод, общая равномерность качества шихты определяется усреднением углей на складе, а также условиями подготовки (дроблением, дозировкой и транспортировкой по внутривзаводским коммуникациям).

Как правило, количество исходных концентратов углей, планируемых для производства кокса согласно марочному составу, должно определяться с учетом возможности приема и хранения их на угольном складе. В связи этим в папку, содержащую электронные таблицы, были добавлены дополнительные страницы, которые учитывают влияние на коэффициент равномерности шихты работу угольного склада, дозирочного отделения и планируемый состав угольной шихты.

Для оценки работы угольного склада, как усреднителя шихты, используется коэффициент усреднения, равный отношению фактической емкости склада к теоретически

необходимой. Теоретически необходимая емкость угольного склада  $E_p$  рассчитывается с учетом суточной потребности завода в углях и количества компонентов угольной шихты по формуле [2]:

$$E_p = A \cdot \exp\left(\frac{B}{x_1}\right) \cdot \exp\left(\frac{C}{x_2}\right), \quad (6)$$

где:  $x_1$  – число компонентов шихты, поступающих на завод;

$x_2$  – суточная потребность завода в шихте;

$A$ ,  $B$  и  $C$  – константы, определяемые эмпирическим путем.

Для условий ОАО «Запорожжкокс»  $A = 475$ ;  $B = -4,63$  и  $C = -8,96$ . По данным 2007 г, в шихте завода насчитывалось 12 компонентов, а суточная потребность в шихте составляла 6,25 тыс. т. Подставляя перечисленные значения в уравнение (6) получим значение теоретической емкости угольного склада:

$$E_p = 475 \cdot \exp\left(\frac{-4,63}{12}\right) \cdot \exp\left(\frac{-8,96}{6,25}\right) = 77,01 \text{ тыс. т.}$$

Тогда коэффициент эффективности работы угольного склада будет оцениваться соотношением фактической и расчетной емкости угольного склада:

$$K_{СК} = \frac{E_{\Phi}}{E_p}, \quad (7)$$

где:  $E_{\Phi}$  – фактическая емкость угольного склада;

$E_p$  – расчетная емкость угольного склада.

Фактическая емкость угольного склада ОАО «Запорожжкокс» составляет 100 тыс. т. Тогда коэффициент эффективности работы угольного склада  $K_{СК} = 0,7704$ , что свидетельствует о том, что предприятие имеет резервы по объему производства кокса или количеству компонентов шихты.

Дополнительная страница в указанных электронных таблицах позволяет рассчитывать коэффициент эффективности



работы угольного склада (см. рис. 4) и делать некоторые выводы об эффективности его работы (рис. 5).

где:  $K_B$  – коэффициент равномерности по влажности;

$K_{II}$  – коэффициент равномерности помола.

| Наименование параметра                 | Размерность | Обозначение | Численные значение |
|--|-------------|-------------|--------------------|
| 1 Емкость угольного склада фактическая | тыс. т      | $B$         | 50                 |
| 2 Суточная потребность в шихте         | тыс. т      | $x_1$       | 6,25               |
| 3 Количество компонентов               |             | $x_2$       | 12                 |

Коэффициент использования угольного склада определяется по формуле

$$K_{ок} = \frac{B_p}{B} \quad (3.1)$$

где:  $B$  – фактическая емкость угольного склада,  $B = 50$  тыс. т;  
 $B_p$  – расчетная емкость угольного склада, определяемая по формуле:

$$B_p = A \times \exp\left(\frac{B}{x_1}\right) \times \exp\left(\frac{C}{x_2}\right) \quad (3.2)$$

где:  $x_1$  – число компонентов шихты, поступающие на завод,  $x_2 = 12$ ;  
 $x_1$  – суточная потребность завода в шихте, тыс. т,  $x_2 = 6,25$   
 $A, B, C$  – постоянные величины, равные:  
 $A = 475$   
 $B = -4,63$   
 $C = -8,96$

$$B_p = 475 \times \exp\left(\frac{-4,63}{12}\right) \times \exp\left(\frac{-8,96}{6,25}\right) = 77,01 \text{ тыс. т}$$

Тогда коэффициент использования угольного склада будет равен:

$$K_{ок} = \frac{77,01}{50} = 1,54$$

Рис. 4 Расчет эффективности работы угольного склада

Равномерность качества получаемой шихты как показатель эффективности работы углеподготовительного цеха  $K_{PC}$  зависит от ее состава и, соответственно, от равномерности показателя качества ее компонентов, равномерности поступления концентратов на завод, эффективности работы угольного склада и равномерности работы дозирочного отделения.

Поскольку насыпная масса угольной шихты зависит от влажности и крупности (помола), то коэффициент равномерности насыпной массы определяется равномерностью этих показателей. При этом общий коэффициент равномерности насыпной массы аналогично вероятности множественных событий [3] определяется как:

$$K_{HC} = K_B \cdot K_{II}, \quad (8)$$

19

20

21  $B_p = A \times \exp\left(\frac{B}{x_1}\right) \times \exp\left(\frac{C}{x_2}\right) \quad (3.2)$

22

23 где:  $x_1$  – число компонентов шихты, поступающие на завод,  $x_2 = 12$ ;

24  $x_1$  – суточная потребность завода в шихте, тыс. т,  $x_2 = 6,25$

25  $A, B, C$  – постоянные величины, равные:

26  $A = 475$

27  $B = -4,63$

28  $C = -8,96$

29

30  $B_p = 475 \times \exp\left(\frac{-4,63}{12}\right) \times \exp\left(\frac{-8,96}{6,25}\right) = 77,01 \text{ тыс. т}$

31

32

33 Тогда коэффициент использования угольного склада будет равен:

34

35  $K_{ок} = \frac{77,01}{50} = 1,54$

36

37

38 Поскольку коэффициент использования угольного склада больше единицы, это означает, что

39 угольный склад перегружен и не справляется с задачей по усреднению шихты. Следует умень-

40 шить количество компонентов или производительность предприятия по шихте.

41

Рис. 5 Выводы компьютера по работе угольного склада

| Равномерность измельчения угольной шихты |                                   |                    |                |
|--|-----------------------------------|--------------------|----------------|
| Дата                                     | Насыпная плотность шихты, т/куб.м | Влажность шихты, % | Помол шихты, % |
| 03.05.2007                               | 0,740                             | 10,2               | 75,4           |
| 08.05.2007                               | 0,736                             | 10,0               | 76,5           |
| 10.05.2007                               | 0,742                             | 10,0               | 76,4           |
| 16.05.2007                               | 0,747                             | 10,0               | 77,1           |
| 17.05.2007                               | 0,739                             | 10,0               | 76,6           |
| 18.05.2007                               | 0,740                             | 9,9                | 77,0           |
| 21.05.2007                               | 0,741                             | 9,9                | 76,6           |
| 22.05.2007                               | 0,736                             | 10,0               | 76,6           |
| 24.05.2007                               | 0,743                             | 8,8                | 76,8           |
| 28.05.2007                               | 0,739                             | 10,0               | 76,1           |
| Ср. значен                               | 0,740                             | 9,9                | 76,5           |
| Ср. отклонен                             | 0,0032                            | 0,37               | 0,46           |
| Норма отклонения                         | 0,005                             | 1,0                | 1,0            |
| Коэффициент равномерности                | 0,8                               | 0,9                | 0,9            |

Рис. 6 Расчет коэффициента равномерности измельчения шихты

Эффективность подготовки шихты определяется также и работой дозирочного отделения, оценить которую можно оценить сравнением фактического и заданного

марочного состава, т.е. коэффициентом исполнения  $K_{исп}$ :

$$K_{исп} = \frac{100\% - \sum \sigma_{ном}^2}{100\%} \quad (9)$$

где:  $\sum \sigma_{ном}^2$  – среднеквадратичное отклонение фактического марочного состава от заданного.

Расчёт коэффициента равномерности технологической работы УПЦ

Состав угольной шихты

| Марка угля     | Процент участия |             | Точность дозирования, % |
|----------------|-----------------|-------------|-------------------------|
|                | Заданный        | Фактический |                         |
| Дзержинская К  | 10              | 11          | 2,0                     |
| Пролетарская К | 5               | 4           | 0,5                     |
| Чиликовская К  | 5               | 5           | 2,0                     |
| Селидовская К  | 5               | 8           | 2,0                     |
| Шолоховская КС | 20              | 18          | 2,0                     |
| Шолоховская ГЖ | 15              | 16          | 2,0                     |
| Распадская ГЖ  | 15              | 15          | 2,0                     |
| Киевская Ж     | 15              | 14          | 2,0                     |
| Михайловская К | 0               | 0           | 2,0                     |
| Самсоновская Ж | 10              | 11          | 2,0                     |
| <b>Всего</b>   | <b>100</b>      | <b>100</b>  |                         |

Итоговые данные

Рис. 7 Расчет коэффициента равномерности качества шихты

Для облегчения работы по определению общего коэффициента равномерности в электронных таблицах выделена специальная страничка («Итог»), в которой по составу угольной шихты (как планируемой, так и фактической), точности дозирования каждого из концентратов и таблицам их поступления определяется общий коэффициент равномерности качества шихты как оценка эффективности работы углеподготовительного цеха (рис. 7). В таблице предусмотрена блокировка ввода заведомо некорректных данных (например, в случае, когда суммарное содержание компонентов шихты превышает 100 %). Кроме того, в таблице в скрытой

форме подсчитывается количество компонентов шихты. Эти данные автоматически передаются в таблицу расчета эффективности угольного склада.

Таким образом, введя различные показатели равномерности поступления, качества и подготовки шихты, определяется коэффициент равномерности технологической работы УПЦ как оценка эффективности его работы:

$$K_{РЦ} = K_{пост}^{общ} \cdot K_C \cdot K_{СК} \cdot K_{подг} \quad (10)$$

### Выводы

На основании проведенного анализа работы углеподготовительного цеха и параметров, характеризующих равномерность работы его технологических подразделений, разработан критерий – коэффициент  $K_{РЦ}$ , позволяющий не только оценить эффективность работы УПЦ, но и, выявив т. н. «узкие места» в его работе, предпринять надлежащие мероприятия для их ликвидации. На базе разработанных критериев была разработана автоматизированная система оценки эффективности работы УПЦ.

### Библиографический список

1. Правила технической эксплуатации коксохимических предприятий. – 2001 г.
2. Шатоха И.З., Иваницкий В.Г., Шатоха В.И. Технология подготовки угля на стадии усреднения для производства доменного кокса. – Днепропетровск: Пороги, 1997. – 244 с.
3. Карасев И.В. Теория вероятности и математическая статистика. – Киев: Вища школа, 1976. – 345 с.

Рукопись поступила в редакцию 21.11.2008