

11. Голинько В.И., Белоножко А.В. Совершенствование термодаталитического метода контроля содержания метана в рудничной атмосфере // Гірнична електромеханіка та автоматика: Наук.-техн. зб. – 2006. – Вип. 77. – С. 81-87.

12. Голинько В.И. Котляров А.К. Теоретическое обоснование параметров термокондуктометрического датчика метана с неизолированным сравнительным элементом // Сб. науч. тр. / НГУ. – 2006. – №26. – С. 60-67.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Бойком В.О.  
Надійшла до редакції 20.10.10*

УДК 622.232:519.254

© П.С. Познанский, В.Д. Иркилевский

## **АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК**

В статье рассмотрен вопрос построения алгоритма обработки результатов измерения параметров энергетической характеристики двигателя выемочной машины.

В статті розглянуто питання побудови алгоритму обробки результатів вимірювання параметрів енергетичної характеристики двигуна машини для виїмки вугілля.

The article addressed the issue of constructing an algorithm of processing the results of measurement of the parameters of energetic characteristics of coal-winning machine's engine.

### **Вступление.**

Современные методики определения производительности угледобывающих комплексов не учитывают возможный перегрев двигателя очистной машины, его опрокид [1], а, следовательно, и длительные простои, связанные с ремонтом и заменой двигателя комбайна, что затрудняет прогнозирование возможной производительности комплекса.

Учет факторов, определяющих в конечном итоге перегрев двигателя комбайна, возможен на базе определения параметров энергетических характеристик с использованием действующей аппаратуры автоматизации [2]. Возможно непрерывное получение экспериментальных данных от аппаратуры. Определение параметров энергетических характеристик по мгновенным значениям мощности и скорости подачи целесообразно для автоматического управления, а данные, прошедшие процедуру усреднения – для прогнозирования эксплуатационных показателей.

### **Анализ последних достижений и публикаций.**

Современное состояние вопроса определения производительности характеризуется работами [3, 4, 5 и др], в которых указана лишь возможность применения для расчета производительности параметров энергетических характеристик, учитывающих тепловой режим работы очистной машины.

Анализ этих работ показал, что в них не указывается метод обработки параметров работы очистной машины для дальнейшего прогнозирования производительности. Актуальность работы заключается в возможности применения разработанного метода для прогнозирования величин параметров энергетиче-

ских характеристик, учет которых может быть использован при расчете максимально возможной по тепловому фактору производительности угледобывающего комплекса в процессе нормальной эксплуатации.

Алгоритмы, полученные в результате выполнения работы, могут быть положены в основу усреднения расчетных значений параметров энергетических характеристик.

**Постановка задачи.**

Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующее:

- Определить влияние параметров энергетических характеристик на производительность угледобывающей машины;
- Выбрать метод решения системы уравнений, описывающих зависимость мощности, потребляемой двигателем выемочной машины от ее скорости подачи.

**Изложение основного материала.**

В соответствии с функциональной схемой возможно непрерывное поступление информации об изменениях контролируемых параметров при нормальной эксплуатации очистного оборудования. Например, полученные в шахте данные о работе комбайна могут быть представлены последовательностью таблицы 1.

Таблица 1

Данные замеров активной мощности и скорости подачи выемочной машины в процессе эксплуатации

$P$ , кВт	$P_1$	$P_2$	$P_3$	...	$P_i$
$V_n$ , м/мин	$V_{n1}$	$V_{n2}$	$V_{n3}$	...	$V_{ni}$

Таким образом, данные таблицы 1 отражают непрерывную функциональную связь

$$P = f(V_n) \tag{1}$$

Использование данных таблицы возможно по абсолютным значениям, что целесообразно для автоматического управления или после процедуры усреднения для получения статических характеристик и прогнозирования проектируемых эксплуатационных показателей.

Процедуру формализации зависимости (1) по данным замеров активной мощности и скорости подачи (табл.1) можно свести к определению коэффициентов уравнения (1) как усредненных величин.

Для определения параметров энергетических характеристик по данным замеров активной мощности и скорости подачи в процессе нормальной эксплуатации, которые не поддаются измерению, а могут быть только вычислены, достаточно выполнить фиксацию величины мощности, потребляемой выемочной машиной и ее скорости подачи.

Так, для каждых текущих значений измеренных величин  $P_i$  и  $V_{ni}$  можно составить систему условных уравнений:

$$\begin{aligned}
A + B \cdot V_{n1} &= P_1 \\
A + B \cdot V_{n2} &= P_2 \\
A + B \cdot V_{n3} &= P_3 \\
&\dots\dots\dots \\
A + B \cdot V_{ni} &= P_i
\end{aligned} \tag{2}$$

вводя обозначения и полагая  $A$  и  $B$  искомыми величинами уравнение (1) можно преобразовать к виду:

$$\sum_{j=1}^n V_{i+j} \cdot x_j = P_{ij}, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m \tag{3}$$

или

$$\sum_{j=1}^n V_{nij} \cdot b_j = P_i, \quad j = 0, 1, 2, \dots, m,$$

где  $b_0 = A$ ;  $V_{ni} = V_{nij}$ ;  $V_{n10} = 1$ .

Эту систему непосредственно решить нельзя, т.к. правые части уравнений вместо точных значений  $P_{i0}$  содержат результаты их измерений  $P_i = P_{i0} + \sigma_i$  со случайными ошибками  $\sigma_i$ . Однако, если положить  $n > m$ , т.е. количество строк (уравнений) больше чем столбцов (в нашем случае столбцов два), то можно найти такую совокупность значений  $b_0, b_1, \dots, b_m$ , которая с наибольшей вероятностью удовлетворяла бы исходным зависимостям. В предположении о нормальном распределении случайных величин:

$$f(P_i) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \cdot e^{-\frac{(P_i - P_{i0})^2}{2 \cdot \sigma^2}}, \quad i = 1, 2, \dots, n \tag{4}$$

для плотности вероятности случайной выборки имеем:

$$f(P_1, P_2, P_n) = (\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi})^{-n} \cdot \exp \left[ -\frac{1}{2 \cdot \sigma^2} \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_i - \sum_{j=0}^m V_{ji} \cdot b_j \right)^2 \right] \tag{5}$$

Эта вероятность достигает максимума при минимуме функции стоящей в показателе экспоненты, т.е. при таких значениях  $b_0, b_1, \dots, b_m$  (что соответствует параметрам  $A$  и  $B$ ), которые обращают в нуль все частные производные:

$$\frac{\partial}{\partial b_k} \left[ \sum_{i=1}^n \left( P_i - \sum_{j=0}^m V_{ij} \cdot b_j \right)^2 \right] = -2 \cdot \sum_{i=1}^n \left( P_i - \sum_{j=0}^m V_{ij} \cdot b_j \right) \cdot V_{ik} = 0, \tag{6}$$

$$k = 1, 2, \dots, m$$

Отсюда для определения значений  $b_0, b_1, \dots, b_m$  получаем нормальную систему уравнений:

$$\sum_{j=0}^m C_{kj} \cdot b_j = \sum_{i=1}^n V_{ik} \cdot P_i \quad (7)$$

где 
$$C_{kj} = C_{jk} = \sum_{i=1}^n V_{ik} \cdot V_{ij}, \quad k = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Условие максимального правдоподобия совпадает с требованием минимума суммы квадрата ошибок:

$$\sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2 = \sum_{i=1}^n (P_i - P_0)^2 = \sum_{i=1}^n \left( P_i - \sum_{j=0}^m V_{ij} \cdot b_j \right)^2 = \sum_{i=1}^n P_i^2 - \sum_{j=0}^m x_j \cdot \sum_{i=1}^n V_{ij} \cdot P_i \quad (9)$$

На основании теоремы Гаусса-Маркова можно считать, что это условие при определении усредненных значений параметров энергетических характеристик дает минимальные погрешности независимо от типа распределения, хотя и при обосновании вводилось предположение о нормальном распределении.

Переходя от обозначений, введенных в уравнении (3) к решению уравнения (7) можно определить по совокупности измеренных случайных значений  $P_i$  и  $V_{nj}$  (например, за один цикл выемки угля) параметры  $A$  и  $B$ .

Для того, чтобы перейти от системы условных уравнений, необходимо определить коэффициенты  $C_{11}$ ,  $C_{12}$ ,  $C_{21}$  и  $C_{22}$  левой части условных уравнений по совокупности всех измеренных значений  $P_i$  и  $V_{nj}$ .

Совокупность всех измеренных значений представима матрицей вида:

$$a = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & \dots & a_{1j} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & \dots & a_{2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{i1} & a_{i2} & a_{i3} & \dots & a_{ij} \end{pmatrix} \quad (10)$$

В данном случае, переходя от  $a_{i1} = 1$ , при всех значениях искомого коэффициента  $A$  (параметра энергетической характеристики) и  $a_{i2} = V_{ni}$ , можно получить матрицу (матрицу экспериментальных данных):

$$V_n = \begin{pmatrix} 1 & V_{n1} \\ 1 & V_{n2} \\ \dots & \dots \\ 1 & V_{ni} \end{pmatrix} \quad (11)$$

Для получения квадратной матрицы коэффициентов  $C$  необходимо прямоугольную матрицу  $a$  умножить на ее транспонированную матрицу  $a^T$ , т.е. такую, в которой все строки, содержащиеся в матрице  $a$ , заменены столбцами:

$$a^T = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{21} & \dots & a_{i1} \\ a_{12} & a_{22} & \dots & a_{i2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{1j} & a_{2j} & \dots & a_{ij} \end{vmatrix} \quad (12)$$

Для измеренных величин в нашем случае:

$$V_n^T = \begin{vmatrix} I & I & \dots & I \\ V_{n1} & V_{n2} & \dots & V_{ni} \end{vmatrix} \quad (13)$$

Тогда матрица для определения коэффициентов  $C$  будет иметь вид:

$$C = \begin{vmatrix} C_{11} & C_{12} \\ C_{21} & C_{22} \end{vmatrix} = a^T \cdot a = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \cdot \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$C = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n a_{i1} & \sum_{i=1}^n a_{i2} \cdot a_{ij} \\ \sum_{i=1}^n a_{i1} \cdot a_{2j} & \sum_{j=1}^n a_{i2} \cdot a_{2j} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \sum_{i=1}^n a_{i1}^2 & \sum_{i=1}^n a_{i2} \cdot a_{i2} \\ \sum_{i=1}^n a_{i1} \cdot a_{i1} & \sum_{i=1}^n a_{i2}^2 \end{vmatrix} \quad (14)$$

$$C_{11} = \sum_{i=1}^n V_{i1}^2 = I^2 + I^2 + \dots + I^2 = n \quad (15)$$

где  $C_{11}$  - коэффициент первой строки и первого столбца нормальной системы уравнений;

$a_{i1}$  - коэффициент  $i$ -строки первого столбца (коэффициент при параметре  $A$ ) условной системы уравнений.

На основании уравнения (8) можно определить коэффициенты, соответственно первой строки второго столбца и второй строки первого столбца нормальной системы уравнений:

$$C_{12} = C_{21} = \sum_{i=1}^n V_{i1} \cdot V_{i2} \quad (16)$$

Заменяя, в соответствии с уравнением (3),  $V_{i2}$  на  $V_{ni}$ , получим:

$$C_{12} = C_{21} = \sum_{i=1}^n V_{ni2} \quad (17)$$

Коэффициент второй строки и столбца нормальной системы уравнений определим по формуле:

$$C_{22} = \sum_{i=1}^n V_{i2}^2 = \sum_{i=1}^n V_{ni2}^2 \quad (18)$$

где  $a_{i2} = V_{ni}$  - коэффициент  $i$ -строки второго столбца условной системы уравнений.

Правые части нормальной системы уравнений определяем по формуле (7):

$$\sum_{i=1}^n V_{i1} \cdot P_i = \sum_{i=1}^n P_i \text{ т.к. } a_{i1} = 1 \quad (19)$$

$$\sum_{i=1}^n V_{i2} \cdot P_i = \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i \text{ т.к. } a_{i2} = V_{ni} \quad (20)$$

По найденным значениям (14) – (20) коэффициентов и на основании (3) и (8) можно составить нормальную систему уравнений:

$$\begin{cases} C_{11} \cdot A + C_{12} \cdot B = \sum_{i=1}^n P_i \\ C_{21} \cdot A + C_{22} \cdot B = \sum_{i=1}^n P_i \cdot V_{ni} \end{cases} \quad (21)$$

$$\begin{cases} A_n + B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} = \sum_{i=1}^n P_i \\ A \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} + B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 = \sum_{i=1}^n P_i \cdot V_{ni} \end{cases}$$

Решая систему уравнений (21), определяем искомые средние значения параметров энергетических характеристик для совокупности измеренных в процессе работы выемочного комплекса величин активной мощности и скорости подачи комбайна.

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n} \quad (22)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - A \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{\sum_{i=1}^n V_{ni}^2} \quad (23)$$

$$B = \frac{\sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \frac{\sum_{i=1}^n P_i - B \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n} \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{\sum_{i=1}^n V_{ni}^2} = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} + B \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2}$$

$$B = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2} \quad (24)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i - \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2} \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n};$$

$$A = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2 - n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} + \sum_{i=1}^n V_{ni} + \sum_{i=1}^n P_i \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2}{n^2 \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - n \cdot \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2}$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \sum_{i=1}^n V_{ni} \cdot P_i \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}}{n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni}^2 - \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2} \quad (25)$$

### Заключение.

Алгоритмы (24) и (25) могут быть положены в основу усреднения расчетных значений параметров энергетических характеристик и обладают следующими достоинствами:

1. Исключены случаи отрицательного знаменателя и знаменателя равного нулю, т.к.  $n \cdot \sum_{i=1}^n V_{ni} \gg \left(\sum_{i=1}^n V_{ni}\right)^2$ . Иными словами исключена некорректная оценка параметров энергетических характеристик и отброшены результаты нехарактерных для эксплуатации значений контролируемых величин.

2. С увеличением массива данных измерений (т.е. с ростом ряда от  $i=1$  до  $n$ ) качество прогноза возрастает.

### Список литературы

1. Нормативы нагрузки на очистные забои и скорости проведения подготовительных выработок на шахтах. – Донецк: ДонУГИ. – 2007, 39с.
2. П.С. Познанский, В.Д. Иркилевский. Автоматизация процесса управления производительностью угледобывающего комплекса // Збірник наукових праць національного гірничого університету №33, Том2 – Днепропетровск: РВК НГУ, 2009. – с 41-48.
3. Горные машины для подземной добычи угля: учеб.пособие для студ. вузов/ П.А. Горбатов, Г.В. Петрушкин, Н.М. Лысенко [и др.]; под ред. П.А. Горбатова. – Донецк: Норд-Компьютер, 2006. – 672 с.
4. Нечепуренко М.С. Методические указания к курсовому проекту по курсу "горные машины и комплексы" для студентов специальности 17.01/ М.С. Нечепуренко; каф. Гірничої енергомеханіки та обладнання. - Коммунарск: КГМИ, 1992. - 34с.
5. Иркилевский В.Д., Кобец В.М. Алгоритмы и комплектная аппаратура для повышения производительности, надежности и контроля забойного оборудования // Международная межвузовская научно-практическая конференция «Надежность и качество горных машин и оборудования». – М: МГИ, 1991. - с. 7-11.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Слесаревим В.В.  
Надійшла до редакції 15.11.10*

УДК 550.461.004.86

© М.А. Трофименко, З.С. Березницкий, А.И. Даценко

## **ОСВОЕНИЕ ИОНООБМЕННОЙ ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННОЙ УСТАНОВКИ ПО УТИЛИЗАЦИИ «СОКОВОГО ПАРА»**

Введение ионитной технологии очистки сточных вод в производстве минеральных удобрений тормозится из-за образования больших объемов вторичных стоков – разбавленных регенерационных растворов. В статье приведены результаты опытно-промышленной проверки способа „порционной” регенерации ионитов, позволяющей сократить объем сточных вод и вернуть их в производство.

Впровадження іонітної технології очистки стічних вод у виробництві мінеральних добрив призводить до появи вторинних стоків – регенераційних розчинів у великих об’ємах. В статті приведено результати промислових випробувань дослідної установки з впровадженням «порційної» регенерації іонітів, що дозволяє значно скоротити об’єм вторинних стічних вод і повернути їх у виробництво.

The implementation of ionic technology of purification of drainage water in mineral fertilizer production is made slow because of large amount formation of secondary drainage, i.e. diluted regenerative solutions. The results of experimental and industrial testing of “portional” ionic regenerative methods which permit to reduce the amount of drainage water and return it into the industry have been given in this article.

**Введение.** Одним из узких мест в технологии получения аммиачной селитры является утилизация “сокового пара”. С целью создания безотходной технологии используется улавливание конденсата на ионообменных материалах [1]. Однако, улавливание нитрат-ионов на анионообменных смолах не всегда происходит в полной мере, концентрация нитрата аммония образующегося при регенерации анионита раствором аммиака не превышает 5%, это затрудня-