

Рис. 3

**Выводы.** Получение профилей повышенной точности (6г и выше) для ортопедического оборудования на универсальных профиленактных полуавтоматах необходимо осуществлять при условии использования комбинированных адаптивных систем управления.

*Список литературы*

1. **Бойко В.И.** Оптимальное управление профилей. - Днепродзержинск, ДДТУ, 1996. -272 с.
2. **Сницаренко П.Н.** Об одном подходе к решению задачи оптимизации в многокритериальном пространстве // Электронное моделирование. -2001. –Т.23.№25.- С.60-66.
3. **Бойко В.И., Багрий В.В.** Альтернативные стратегии управления агрегатно-модульными комплексами. – Днепродзержинск, ДДТУ, 1999. -202 с.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12

УДК 621.926:534.16

Е.В. КОЧУРА, д-р техн. наук, проф.  
 ЖАМИЛЬ АБЕДЕЛЬРАХИМ ЖАМИЛЬ АЛЬ САЯЙДЕ, аспирант  
 ГВУЗ «Национальный горный университет»

**АВТОМАТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗАТОР ПРОЦЕССА ОБОГАЩЕНИЯ, ВСТРОЕННЫЙ В ПРОМЫШЛЕННЫЙ МАГНИТНЫЙ СЕПАРАТОР**

Представлены функциональная схема и схема алгоритма автоматического анализатора выхода, извлечения, производительности, массовых долей железа в питании, концентрате, хвостах магнитного сепаратора по сигналам магнитной индукции в рабочих зонах магнитного сепаратора.

**Проблема и ее связь с практическими задачами.** Достижение высоких технико-экономических показателей производства железорудного концентрата в значительной мере сдерживается отсутствием простых и надежных технических средств автоматического контроля основных технологических переменных процесса магнитного обогащения: массовых долей железа в продуктах обогащения, производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту, извлечения железа и выхода концентрата. Известные технические средства, такие как рентгеновские и ультрафиолетовые анализаторы, достаточно сложны, дороги и не позволяют решать задачи комплексного контроля всех технологических переменных магнитного обогащения после каждой стадии обогащения каждой технологической секции магнитообогащительной фабрики, что необходимо для оперативного управления.

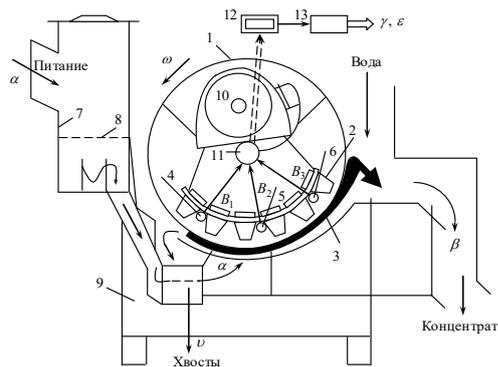
**Анализ исследований и публикаций.** В Национальном горном университете была предложена концепция применения промышленного магнитного сепаратора в качестве анализатора технологических переменных процесса обогащения по сигналам магнитной индукции в рабочей зоне сепаратора [1,2]. В работе [3] было предложено судить о массовой доле магнитного железа в концентрате по сигналу нормальной составляющей вектора магнитной индукции в зоне выделения концентрата. При этом в качестве чувствительного элемента используется линейный магнитный резистор из висмутосодержащей проволоки, размещенной на магнитной системе сепаратора в зоне его барабана. В работе [4] было предложено судить о массовой доли железа в хвостах по сигналу магнитной индукции пространственно распределенного магнитного поля в рабочей зоне выделения хвостов магнитного сепаратора. С целью повышения чувствительности метода в качестве чувствительного элемента использовалась измерительная сеть из магниточувствительных полупроводниковых резисторов, размещенных в два ряда в шахматном порядке в пазах магнитной системы вдоль образующей барабана сепаратора в зоне выделения хвостов. Экспериментальные исследования, выполненные в промышленных условиях,

© Кочура Е.В., Жамиль Абедельрахим Жамиль Аль Саяйде, 2012

показали работоспособность предложенных методов автоматического контроля массовых долей железа в концентрате и хвостах магнитного сепаратора.

Параллельно исследованиям, результаты которых представлены в работах [3] и [4], проводилась разработка и исследование чувствительного элемента специальной конструкции, который позволяет измерять магнитную индукцию магнитного поля в рабочей зоне подачи рудной пульпы в ванну сепаратора. Эти исследования проводились с целью автоматического контроля массовой доли магнитного железа в рудной пульпе, подаваемой на обогащение в сепаратор по сигналу магнитной индукции в зоне подачи пульпы.

**Постановка задачи** заключается в создании макета, встроенного в магнитный сепаратор, анализатора для автоматического контроля массовых долей железа в питании, концентрате и хвостах магнитного сепаратора, извлечения магнитного железа в концентрат и выхода концентрата. Функциональная схема анализатора процесса обогащения представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Функциональная схема макета автоматического анализатора процесса обогащения

Анализатор реализован на базе промышленного магнитного сепаратора. Обозначения на рис. 1: 1 - барабан сепаратора; 2 - магнитная система сепаратора; 3 - слой концентрата; 4,5,6 - чувствительные элементы из висмутосодержащей проволоки; 7 - напорный бак; 8 - гидравлическое успокоительное устройство; 9 - корпус сепаратора; 10 - электродвигатель барабана сепаратора; 11 - полый вал барабана; 12 - микропроцессорный контроллер; 13 - принтер;  $\omega$  - угловая скорость вращения барабана;  $\alpha, \beta, \nu$  - массовые доли железа соответственно в исходном питании, концентрате и хвостах;  $B_1, B_2, B_3$  - магнитные индукции соответственно в зонах выделения хвостов, питания сепаратора и в зоне выделения концентрата.

При подаче рудной пульпы в ванну сепаратора происходит расслоение питания на бедные и богатые фракции. Богатые фракции, содержащие частицы магнетита, притягиваются к вращающемуся барабану 1 сепаратора магнитной системой 2 и формируют на барабане слой концентрата 3. Слой концентрата изменяет магнитную индукцию в рабочих зонах сепаратора. В зоне подачи рудной пульпы устанавливается чувствительный элемент 5 в виде линейного магнитного резистора из висмутовой проволоки. При изменении массовой доли железа в руде  $\alpha$  изменяется магнитная индукция,  $B_2$  сопротивление висмутовой проволоки изменяется, преобразуется в цифровой сигнал и подается в микропроцессорный контроллер. Аналогично измеряется магнитная индукция  $B_1$  в зоне выделения хвостов, пропорциональная  $\nu$  [4] и магнитная индукция  $B_3$  в зоне выделения концентрата, пропорциональная  $\beta$  [3]. Цифровые коды сигналов магнитной индукции  $B_1, B_2, B_3$  подаются в микропроцессорный контроллер 12, где с помощью подпрограмм рассчитываются массовые доли железа  $\alpha, \beta, \nu$  в исходном питании, концентрате и хвостах.

По известным формулам рассчитываются выход магнитного железа  $\gamma$  и извлечение железа в концентрат  $\varepsilon$

$$\gamma = (\alpha - \nu / \beta - \nu) \cdot 100\%, \quad (1)$$

$$\varepsilon = (\alpha - \nu / \beta - \nu) \cdot (\beta / \alpha) \cdot 100\%. \quad (2)$$

Схема алгоритма расчета выхода и извлечения магнитного железа представлена на рис. 2.

Список идентификаторов:  $j$  - индекс номера сепаратора;  $k$  - число сепараторов;  $i$  - индекс номера измерения;  $n$  - число измерений;  $\Delta t$  - период измерений;

$BR_i, BK_i, BX_i$  - результаты измерений магнитных индукций соответственно в рабочих зонах подачи руды, выделения концентрата и хвостов;  $\overline{BR}^{(j)}, \overline{BK}^{(j)}, \overline{BX}^{(j)}$  - среднеарифметические значения магнитных индукций соответственно в зонах подачи питания, выделения концентрата

и хвостов;  $G^{(j)}$  - выход магнитного железа в  $j$ -м сепараторе;  $E^{(j)}$  - извлечение магнитного железа в концентрат  $j$ -го сепаратора.

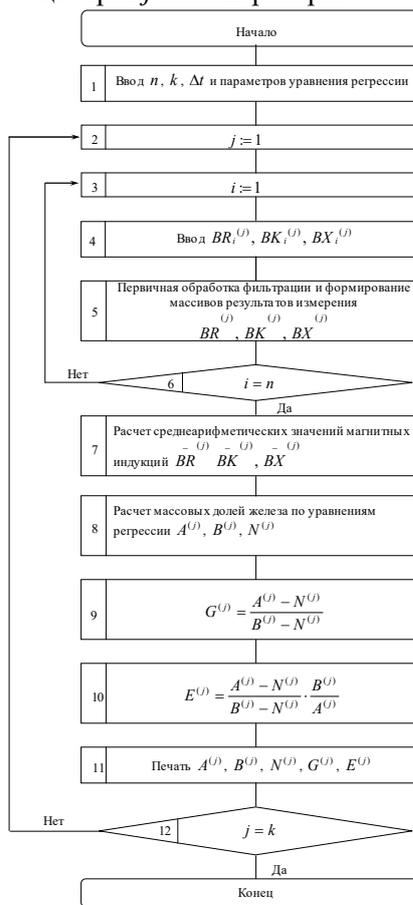


Рис. 2. Схема алгоритма расчета показателей обогащения

Среднеарифметические значения магнитных индукций рассчитываются по формулам

$$\bar{BR}^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BR_i^{(j)}, \quad (3)$$

$$\bar{BK}^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BK_i^{(j)}, \quad (4)$$

$$\bar{BX}^{(j)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n BX_i^{(j)}. \quad (5)$$

Расчет массовых долей железа в питании  $A^{(j)}$ , концентрате  $B^{(j)}$  и хвостах  $N^{(j)}$  магнитного  $j$ -го сепаратора производится по уравнениям регрессии [1], [2]

$$A^{(j)} = a_{0j} + a_{1j} \bar{BR}^{(j)}, \quad (6)$$

$$B^{(j)} = b_{0j} + b_{1j} \bar{BK}^{(j)}, \quad (7)$$

$$N^{(j)} = n_{0j} + n_{1j} \bar{BX}^{(j)}, \quad (8)$$

где  $a_{0j}, a_{1j}, b_{0j}, b_{1j}, n_{0j}, n_{1j}$  - коэффициенты уравнения регрессии, определяемые методом наименьших квадратов по результатам экспериментальных данных [3] и [4].

Для экспериментальной проверки возможности определения выхода и извлечения магнитного железа в концентрат по сигналам магнитной индукции были

проведены экспериментальные исследования в условиях секции фабрики обогащения №3 Лебединского ГОКа. В процессе нормальной эксплуатации в течении 22 рабочих смен регистрировались показания датчиков магнитной индукции в рабочих зонах магнитного сепаратора первой стадии обогащения типа ПБМ-ПР 1200/300, а также отбирались технологические пробы питания сепаратора, концентрата и хвостов. Отобранные пробы анализировались в центральной заводской лаборатории ЦЗЛ методом химического анализа на массовую долю железа в питании, концентрате и хвостах магнитного сепаратора. По результатам химического анализа рассчитывались выход концентрата  $\gamma\%$  и извлечение магнитного железа в концентрат. Одновременно определялись по формулам (9) и (10) схемы алгоритма (рис. 2) расчетные значения выхода  $\Delta\gamma = G$  и извлечение  $\Delta\varepsilon = E$ .

Результаты математической обработки результатов эксперимента частично представлены в работах [1] и [2]. Дополнительно были получены уравнения регрессии

$$\gamma = -0,049(\Delta\gamma)^2 + 2,78\Delta\gamma + 19,51, \quad (9)$$

$$\varepsilon = 0,161(\Delta\varepsilon)^2 - 3,742\Delta\varepsilon + 100,7. \quad (10)$$

Уравнения (9) и (10) являются уравнениями статических характеристик соответственно системы автоматического контроля выхода магнитного железа в концентрат и системы автоматического контроля извлечения магнитного железа в концентрат.

Точность системы автоматического контроля выхода магнитного железа в концентрат

$$T_\gamma = \frac{\delta_\gamma}{\gamma_{max} - \gamma_{min}} \cdot 100\% = \frac{0,421}{59 - 49} \cdot 100\% = 4,21\%, \quad (11)$$

где  $\delta_\gamma$  - доверительный интервал уравнения регрессии (9);  $\gamma_{max}$  и  $\gamma_{min}$  - соответственно максимальное и минимальное значения выхода.

Точность системы автоматического контроля извлечения магнитного железа в концентрат

$$T_{\varepsilon} = \frac{\delta_{\varepsilon}}{\varepsilon_{max} - \varepsilon_{min}} \cdot 100\% = \frac{0,833}{99 - 79} \cdot 100\% = 4,17\%, \quad (12)$$

где  $\delta_{\varepsilon}$  – доверительный интервал уравнения регрессии (10);  $\varepsilon_{max}$  и  $\varepsilon_{min}$  – соответственно максимальное и минимальное значения извлечения.

**Выводы и направления дальнейших исследований.** По сигналам магнитной индукции, измеренной в рабочих зонах подачи питания, выделения концентрата и хвостов, можно контролировать массовые доли железа в продуктах обогащения и рассчитывать извлечение и выход магнитного железа в концентрат с точностью менее 5% относительных единиц.

Дальнейшие исследования включают усовершенствование встроенного в магнитный сепаратор микропроцессорного анализатора процесса обогащения с целью повышения его точности.

#### *Список литературы*

1. **Кочура Е.В.** Способ автоматического контроля содержания магнитных фракций в продуктах обогащения магнитного сепаратора. А.С. 13753 41 (СССР). – Оpubл. 23.02.88. Бюл. №7 // Открытия. Изобретения, 1988.
2. **Кочура Е.В.** Способ автоматического контроля процесса магнитной сепарации. А.С. 1708423 (СССР). – Оpubл. 11.04.89. Бюл. №4 // Открытия. Изобретения, 1989.
3. **Кочура Е.В., Ислам Абдельхамид Юсеф Аль Бостанжи.** Метод автоматического контроля массовой доли железа в концентрате магнитного сепаратора // Науковий вісник НГУ. – 2005. – №10. – С. 86-89.
4. **Убай Юсеф Саламах Аль Мадаха.** Автоматический контроль массовой доли железа в хвостах магнитного сепаратора // Науковий вісник НГУ, 2009. – №1. – С. 66-68.

Рукопись поступила в редакцию 03.04.12

УДК 681.326

О.В. ШАМРАЙ, канд. техн. наук, доцент, Н.Н. ШАПОВАЛОВА, викладач,  
ДВНЗ «Криворізький національний університет»

### **МЕТОДИ ТЕСТУВАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

Розглянуто методи тестування програмного забезпечення, наведено приклади тестування програм для їх реалізації та отримання кращих результатів роботи.

**Ключові слова:** тестування програм, якість програмного забезпечення, надійність програмного забезпечення, критерії тестування.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Тестування програмного забезпечення - це процес виявлення помилок у програмах. На жаль, існуючі на сьогодні методи тестування програмного забезпечення не дозволяють однозначно та повністю усунути всі дефекти та помилки, установити коректність функціонування дослідної програми, особливо в закритих приватних програмах. Тому всі існуючі методи тестування діють у рамках формального процесу перевірки дослідного чи розроблювального програмного забезпечення.

Такий процес формальної перевірки чи тестування програм може довести, що дефекти відсутні, з точки зору застосованого методу. Не існує ніякої можливості однозначно встановити чи гарантувати відсутність дефектів у програмному продукті з урахуванням людського фактора, присутнього на всіх етапах життєвого циклу програмного забезпечення.

**Постановка завдання.** Існує багато підходів до вирішення задачі тестування та перевірки програмного забезпечення. Однак ефективне тестування складних програмних продуктів – це процес багаторівневий, який не дотримується чітких процедур. Тому кінцевою метою будь-якого процесу тестування є забезпечення такого ємного поняття, як якість та надійність, з урахуванням усіх чи найбільш критичних для даного конкретного випадку складових.

**Викладення матеріалу та результати.** Якість і надійність програмного забезпечення – це властивість об'єктів виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам та умовам використання, технічного обслуговування, ремонту, зберігання й транспортування. Якість і надійність програмного забезпечення можливо описати за допомогою критеріїв якості та надійності. Вони являють собою показники, які дають можливість оцінити перевагу тих чи інших рішень