

and from train to train. Method of calculation was based on the study of physio-mechanical behaviour of coal mass, as well as on combination of methods of the decision of tasks in various areas of mechanics into the set most suitable for our case. The result of the research is the set of dependencies describing clearly the physical phenomena appearing in frozen coal mass. The formulas for determination of effective frequency which depend only on the simplest values determined by lots of sensors were suggested. The mechanism should be presented in the form of software and installed in

hardware part of the automated control system (ACU) of vibro-crashing installation. Its creation will increase human safety, workers' time and input-output ratio of the wagon unloading process.

**Keywords:** *flowability renewal, mathematical model, the ACS, temperature distribution, vibrocrashing, automation*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Ткачовим. Дата надходження рукопису 05.05.11*

УДК 621.926.534.16

**Е.В. Кочура, д-р техн. наук, проф.,  
Жамиль Абедельрахим Жамиль Альсаййде**

Государственное высшее учебное заведение „Национальный горный университет“, г. Днепропетровск, Украина, e-mail: Kochura E@gmail.com

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕТОДА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МАГНИТНЫХ СЕПАРАТОРОВ ПО МАГНИТНОМУ ПРОДУКТУ

**Ye.V. Kochura, Dr. Sci. (Tech.), Professor,  
Zhamil Abedelrakhim Zhamil Alsayayde**

State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: Kochura E@gmail.com

## EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS OF THE METHODS OF AUTOMATIC CONTROL OF THE PRODUCTIVITY OF MAGNETIC SEPARATORS BY MAGNETIC PRODUCT

Целью статьи является экспериментальная проверка разработанного в Национальном горном университете метода автоматического контроля производительности магнитных сепараторов по магнитному продукту. Разработанный метод основан на зависимости электродвижущей силы в электрической катушке, расположенной на полюсном наконечнике магнитной системы сепаратора, от его производительности по магнитному продукту. Приводится функциональная схема метода измерения производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту. Представлены теоретические формулы, описывающие формирование пульсирующего магнитного поля в рабочей зоне магнитного сепаратора и зависимость магнитной индукции этого поля от физических переменных, характеризующих режим работы магнитного сепаратора мокрого обогащения.

Установлена теоретическая зависимость магнитной индукции магнитного поля в рабочей зоне от количества магнетита в слое концентрата на поверхности барабана сепаратора. Приводится методика и функциональная схема проведения экспериментальных исследований в промышленных условиях обогатительной фабрики предложенного метода автоматического контроля. Методика включает проведение пассивного эксперимента, в том числе отбор технологических проб и их анализ с одновременной регистрацией показаний вольтметра, который измеряет напряжение на выходе электрической катушки, расположенной на полюсном наконечнике магнитной системы сепаратора.

Математическая обработка результатов экспериментальных исследований проводилась методом регрессионного анализа. Получено уравнение регрессии, связывающее величину электродвижущей силы в катушке и производительность магнитного сепаратора по магнитному продукту. Сделан вывод о достаточной точности измерения производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту. Полученные результаты позволяют разработать систему автоматического контроля производительности магнитного сепаратора.

**Ключевые слова:** *автоматический контроль, магнитный сепаратор, магнитный продукт, производительность, электродвижущая сила*

**Введение.** Производительность магнитообогащительной фабрики по железорудному концентрату определяется производительностями по магнитному продукту сотен магнитных сепараторов, работающих в первой, второй и третьей стадиях обогащения секций обогатительной фабрики. Без автоматического

контроля и регулирования этого важнейшего технологического параметра невозможно стабилизировать режим работы технологического оборудования, работающего в секциях обогащения при переработке руд с переменными свойствами. Поэтому разработка метода автоматического контроля производительности магнитных сепараторов по магнитному продукту является актуальной.

**Состояние вопроса.** В Национальном горном университете разработан и теоретически обоснован метод автоматического контроля производительности магнитных сепараторов по магнитному продукту. Этот метод основан на зависимости электродвижущей силы, наводимой в катушке, расположенной на полюсном наконечнике магнитного сепаратора, от его производительности по магнитному продукту (рис. 1).

Обозначения на рис. 1: 1 – барабан магнитного сепаратора; 2 – магнитная система; 3 – слой концентрата или магнитного продукта; 4 – электрическая катушка; 5 – магнитные флюкулы; 6 – вольтметр;  $E$  – электродвижущая сила;  $\Phi$  – магнитный поток;  $v$  – угловая скорость вращения барабана;  $N, S$  – северный и южный полюса магнитной системы сепаратора и флюкулы.

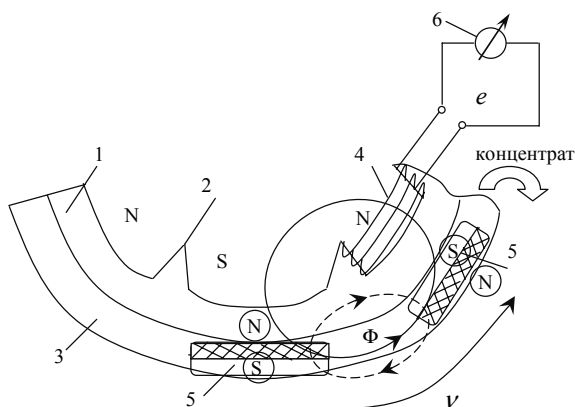


Рис. 1. Схема метода измерения производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту

При вращении барабана 1 сепаратора (рис. 1) в слое концентрата 3 образуется бегущее электромагнитное поле [1] с частотой пульсаций

$$f = \frac{v}{2h}, \quad (1)$$

где  $v$  – скорость вращения барабана сепаратора;  $h$  – шаг магнитной системы сепаратора.

Флюкулы 5 магнитного концентрата, перемещаясь в магнитном поле магнитной системы сепаратора, перемагничиваются и наводят электродвижущую силу в измерительной катушке 4, размещенной на полюсном наконечнике сепаратора. Величина электродвижущей силы  $e$  будет равна

$$e = -\frac{d\psi}{dt}, \quad (2)$$

где  $\psi$  – потокосцепление.

$$\psi = w \cdot \Phi, \quad (3)$$

где  $w$  – количество витков в измерительной катушке;  $\Phi$  – магнитный поток.

Магнитный поток  $\Phi$  будет равен

$$\Phi = (B_0 + B_M) \cdot S, \quad (4)$$

где  $B_0$  – магнитная индукция, создаваемая магнитной системой сепаратора;  $B_M$  – магнитная индукция слоя концентрата;  $S$  – поверхность полюсных наконечников.

Магнитную индукцию, наводимую в слое концентрата, можно представить в виде

$$B = B_M \cdot \cos \omega t + B_0, \quad (5)$$

где  $\omega$  – круговая частота пульсации магнитного поля

$$\omega = 2\pi f.$$

С учетом выражений (2), (3), (4), (5), электродвижущая сила, наводимая в электрической катушке, размещенной на полюсном наконечнике, равна

$$e = -w \cdot S \cdot B_M \cdot \omega \cdot \sin \omega t. \quad (6)$$

Амплитудное значение этой ЭДС

$$e_A = \frac{w \cdot S \cdot v}{2h} B_M. \quad (7)$$

Известно, что магнитная индукция пропорциональна количеству магнитного продукта на поверхности барабана сепаратора. В свою очередь производительность магнитного сепаратора по магнитному продукту определяется количеством магнитного продукта на его барабане в зоне разгрузки. Следовательно, можно предположить, что амплитудное значение электродвижущей силы в электрической катушке на полюсном наконечнике в зоне разгрузки сепаратора характеризует его производительность по магнитному продукту. Эта научная гипотеза требует экспериментальной проверки.

**Целью настоящей работы** является представление результатов экспериментальных исследований в промышленных условиях метода автоматического контроля производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту по величине электродвижущей силы, наводимой бегущим магнитным полем сепаратора в электрической катушке, размещенной на полюсном наконечнике магнитной системы сепаратора в зоне разгрузки концентрата.

**Основная часть.** Экспериментальные исследования проводились в условиях фабрики обогащения ФОб-3 Лебединского ГОКа. Схема проведения эксперимента приведена на рис. 2.

Исходная руда поступает в мельницу 1 мокрого измельчения МС20-1-23 из бункера с рудой 2. Мельница приводится в движение синхронным электродвигателем 3 и работает в замкнутом цикле со спиральным классификатором 5. Степень заполнения мельницы рудой  $\varphi$  контролировалась с помощью радиоизотопного индикатора заполнения 6 типа РИЗМ. По показаниям вторичного прибора 7, заданное значение степени заполнения стабилизируется с помощью системы автоматического регулирования загрузки, в которую входит регулятор загрузки 8 и вибропитатель 9.

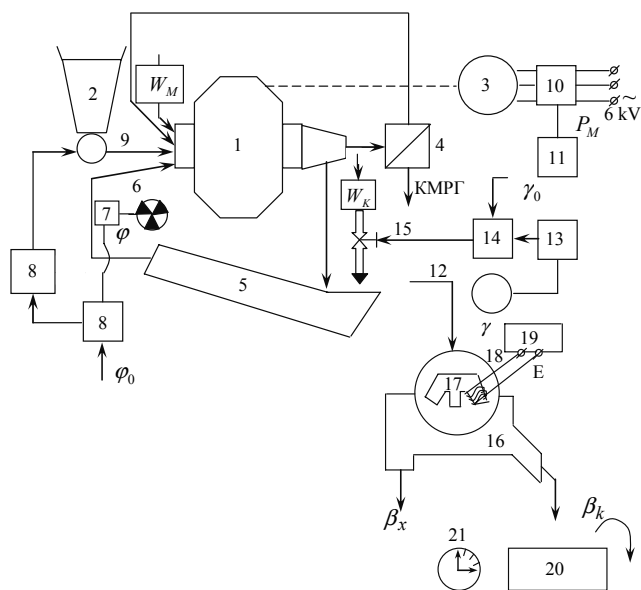


Рис. 2. Схема проведення експеримента

Активна мощность приводного двигателя 3 мельницы  $P_M$  измерялась измерительным преобразователем мощности 10 и вторичным прибором 11. Плотность слива классификатора  $\gamma$  измеряется радиоизотопным плотномером 12 и вторичным прибором 13, стабилизируется регулятором 14 и регулирующим клапаном 15 расхода воды в классификатор 5. Рудная пульпа поступает на магнитный сепаратор 16 типа ПБМ-ПП-120/300. Расход воды в мельницу и классификатор контролировался расходомерами  $W_M$  и  $W_K$ . На полюсном наконечнике магнитной системы 17 сепаратора 16 размещена электрическая катушка 18. Электродвижущая сила, наводимая в катушке  $E$ , измерялась электронным вольтметром 19. Производительность сепаратора по магнитному продукту измерялась с помощью мерной емкости 20 и хронометра 21.

Во время эксперимента проводился пробоотбор концентрата магнитного сепаратора 16 и выполнялся анализ проб на массовую долю магнитного железа  $\beta_k$  в концентрате. Объемный расход пульпы в мерную ёмкость

$$W = W_B + W_T = \frac{Q_B}{\gamma_B} + \frac{Q_T}{\gamma_T}, \quad (8)$$

где  $Q_B$ ,  $Q_T$ ,  $W_B$ ,  $W_T$  – соответственно, массовые и объемные расходы воды и твердого;  $\gamma_B$ ,  $\gamma_T$  – соответственно, плотность воды и твердого.

Из выражения (8), с учетом того, что  $W = \frac{V}{t}$ , где  $V$  – объем мерной емкости;  $t$  – время заполнения емкости, определим производительность сепаратора по магнитному железу

$$Q = Q_M = \beta_k \gamma_T \left( \frac{V}{t} - \frac{Q_B}{\gamma_B} \right). \quad (9)$$

Расход воды в мельницу и классификатор  $Q_B$  контролировался по показаниям расходомеров  $W_M$  и  $W_K$  (рис. 2.)

$$Q_B = B_M + B_K, \quad (10)$$

где  $B_M$  – массовый расход воды в мельницу;  $B_K$  – массовый расход воды в классификатор.

Эксперимент проводился в течение трех смен. Отбирались в установившемся режиме технологические пробы концентрата и фиксировалось время заполнения мерной емкости. По формуле (9) рассчитывались значения  $Q_i$  и электронным вольтметром 19 измерялись значения электродвижущей силы  $E$ . Данные эксперимента представлены в таблице.

Таблица

Экспериментальные данные зависимости электродвижущей силы от производительности магнитного сепаратора

№ п/п	Электродвижущая сила, $Q$ , кг/с	Производительность сепаратора по магнитному железу, $E$ , в
1	17,2	1,2
2	17,6	2,3
3	18,3	2,1
4	19,2	4,5
5	19,4	2,7
6	20,4	5,3
7	20,7	5,1
8	20,8	6,2
9	21,6	6,3
10	21,9	7
11	21,8	8
12	22,4	7,9
13	22,3	8,8
14	22,4	8,1
15	22,9	9,2

Уравнение регрессии зависимости  $E = f(Q_i)$  рассчитывалось на компьютере с помощью табличного процессора EXCEL и представлено на рис. 3.

Результаты расчета: уравнение регрессии  $E = 1,37Q - 22,52$ ; коэффициент детерминации  $r^2 = 0,94$ ; коэффициент корреляции  $r = 0,97$ .

Анализ уравнения (рис. 3) указывает на наличие линейной зависимости между электродвижущей силой, наводимой в электрической катушке, размещенной на полюсном наконечнике магнитной системы сепаратора, и его производительности по магнитному продукту.

**Вывод.** По величине электродвижущей силы, наводимой бегущим электромагнитным полем магнитного сепаратора в электрической катушке, размещенной на полюсном наконечнике магнитной системы сепаратора в зоне выделения концентрата, можно судить о производительности полупротивоточного магнитного сепаратора по магнитному продукту.

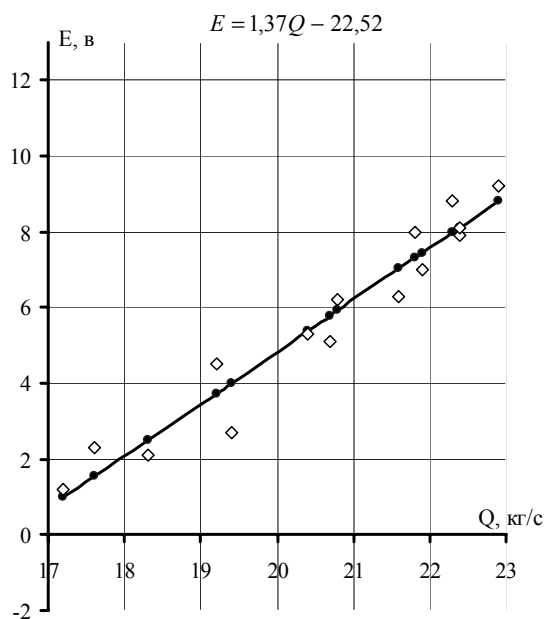


Рис. 3. Уравнение регрессии электродвижущей силы ( $E$ ) от производительности сепаратора по магнитному железу ( $Q$ ):  $E = f(Q)$

**Перспективы дальнейших исследований** заключаются в разработке и исследовании системы автоматического контроля производительности магнитного сепаратора по магнитному продукту для противоточных сепараторов мокрого обогащения и магнитных сепараторов сухого обогащения.

#### Список литературы / Reference

1. Справочник по обогащению руд: основные процессы / Под ред. О.С. Богданова. – М.: Недра, 1994. – т.2. – 337 с.  
Bogdanov, O.S. (1994), *Spravochnik po obogashcheniyu rud: osnovnye protsessy* [Referens Book on Ore-Dressing: Basic Processes], Vol.2., Nedra, Moscow, Russia, 337 p.
2. Кочура Е.В. Метод автоматического контроля массовой доли железа в концентрате магнитного сепаратора / Кочура Е.В., Ислам Абдельхамид Юсеф Аль Бостанжи. // Науковий вісник НГУ. – Днепропетровск: 2005. – №10. – С. 86–89.  
Kochura Ye.V. and Islam Abdelkhamid Yusef Al Bostanzhi (2005), "Method of automated control of iron portion in the concentrated product of the magnetic separator" *Naukovyi visnyk Natsionalnoho hirnychoho universytety*, no.10. pp. 86–89.

Метою статті є експериментальна перевірка розробленого в Національному гірничому університеті методу автоматичного контролю продуктивності магнітних сепараторів по магнітному продукту. Розроблений метод засновано на залежності електрорушійної сили в електричній котушці, розташованій на полюсному наконечнику магнітної системи сепаратора, від його продуктивності по магнітному продукту.

Наведено функціональну схему методу вимірювання продуктивності магнітного сепаратора по магнітному продукту. Представлено теоретичні формули, що описують формування пульсуючого магнітного поля в робочій зоні магнітного сепаратора і залежність магнітної індукції цього поля від фізичних змінних, що характеризують режим роботи магнітного сепаратора мокрого збагачення.

Встановлено теоретичну залежність магнітної індукції магнітного поля в робочій зоні від кількості магнетиту в шарі концентрату на поверхні барабана сепаратора. Наведено методику і функціональну схему проведення експериментальних досліджень у промислових умовах збагачувальної фабрики запропонованого методу автоматичного контролю. Методика включає проведення пасивного експерименту, у тому числі відбір технологічних проб і їх аналіз із одночасною реєстрацією показників вольтметра, який вимірює напругу на виході електричної котушки, розташованої на полюсному наконечнику магнітної системи сепаратора.

Математична обробка результатів експериментальних досліджень проводилася методом регресійного аналізу. Отримано рівняння регресії, що зв'язує величину електрорушійної сили в котушці і продуктивність магнітного сепаратора по магнітному продукту. Зроблено висновок про достатню точність вимірювання продуктивності магнітного сепаратора по магнітному продукту. Одержані результати дозволяють розробити систему автоматичного контролю продуктивності магнітного сепаратора.

**Ключові слова:** автоматичний контроль, магнітний сепаратор, магнітний продукт, продуктивність, електрорушійна сила

The purpose of the paper is presentation of the results of the experimental verification of the method of automatic control of magnetic separator efficiency by magnetic product developed at the National Mining University. The developed method is based on the fact that the electromotive force in electric coil located on the pole piece of magnetic system of the separator is dependent on its efficiency by magnetic product. Functional diagram of the method of measuring the magnetic separator efficiency by magnetic product is given. Theoretical formulas that describe the formation of a pulsating magnetic field in the working area of the magnetic separator and the dependence of the magnetic induction of this field on physical variables that characterize the operating running regime of wet drum magnetic separator are presented.

Theoretical dependence of the magnetic induction of the magnetic field in the working area on the amount of magnetite concentrate in a layer on the surface of the separator drum is established. Procedure and the functional diagram of experimental studies of proposed automatic control method at iron ore-dressing plant are given. The procedure involves performing a passive experiment, including sampling and probe analysis with simultaneous reading of the voltmeter which measures the output voltage of the electric coil located on the pole piece of the magnetic system of the separator.

Mathematical processing of results of experimental studies was carried out by regression analysis. Regression equation that relates the magnitude of the electromotive force in a coil and a magnetic separator performance by magnetic product is given. Conclusion is drawn that estimation of magnetic separator efficiency by magnetic product is adequately accurate. Obtained results allow

developing a system of automatic control of magnetic separators efficiency.

**Keywords:** *automatic control, magnetic separator, magnetic product, performance, electromotive force.*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.В. Ткачовим. Дата надходження рукопису 14.06.11*

УДК 621.391.26(075)

**Н.В. Глухова, канд. техн. наук, доц.,  
І.В. Коваленко**

Державний вищий навчальний заклад „Національний гірничий університет“, м. Дніпропетровськ, Україна,  
e-mail: kovalenko78@ukr.net

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИМІРЮВАЛЬНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ З ВИКОРИСТАННЯМ МІКРОСИСТЕМИ ЗБОРУ ДАНИХ M-DAQ/OEM

**N.V. Glukhova, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor,  
I.V. Kovalenko**

State Higher Educational Institution “National Mining University”,  
Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: kovalenko78@ukr.net

### MEASURING TRANSFORMERS DYNAMIC PROPERTIES STUDY BY MEANS OF DATA COLLECTION MICROSYSTEM M-DAQ/OEM

**Мета роботи.** Найбільш розповсюдженою схемою досліджень властивостей окремих вимірювальних перетворювачів або вимірювальних каналів у цілому є застосування спектрального аналізу на основі перетворення Фур'є. Цей математичний апарат має певні обмеження при дослідженні нестационарних та імпульсних сигналів. При дослідженні динамічних властивостей вимірювальних перетворювачів виявляється актуальним застосування поряд з класичними, широко розповсюдженими методиками, й інших математичних апаратів, наприклад вейвлет-аналізу та віконного перетворення Фур'є.

**Методика досліджень.** Для дослідження інформаційно-вимірювальних сигналів необхідно завести їх у комп'ютер. Із цією метою використано мікросистему збору даних m-DAQ з інтерфейсом USB. Проаналізовано різні частотно-модульовані сигнали в каналі збору даних та їх спектри потужності, а також частотно-модульований сигнал, який містить викиди, і його спектр потужності. Наведено спектрограми віконного перетворення Фур'є для кожного сигналу. За допомогою вейвлет-перетворення проаналізовано періодичний сигнал, неперіодичний нестационарний сигнал, сигнал з розривом.

**Результат.** Зроблено висновок, що зміна послідовності частот сигналу та наявність різких імпульсних викидів не призводить до змін у спектрі потужності для швидкого перетворення Фур'є. Для неперіодичного нестационарного сигналу можна побудувати вейвлет-спектр як тільки для малих значень часового масштабу, так і для височастотних складових шуму при іншому часовому масштабі. Для сигналу з розривом за допомогою вейвлет-спектру чітко спостерігаються локальні особливості сигналу.

**Оцінка результатів.** Виконані дослідження приводять до висновку, що немає єдиного універсального, найкращого для будь-якого випадку, підходу. Навіть такий новий та потужний інструмент як вейвлет-аналіз не здатний розрізняти ефекти амплітудної та частотної модуляції. Тому необхідно виконувати попередню обробку сигналу та встановлювати, до якого класу процесів його можна віднести.

**Ключові слова:** *вимірювальні перетворювачі, мікросистема збору даних, перетворення Фур'є, нестационарність, вейвлет-перетворення*

**Актуальність теми.** В останній час спостерігається тенденція широкого застосування комп'ютерної техніки при вирішенні задач розробки та експлуатації метрологічного забезпечення збору даних. При цьому вимірювальні перетворювачі поєднуються в канал збору даних, далі отримана вимірювальна інформація через аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) потрапляє у комп'ютер, де відбувається її обробка, зберігання, представлення в зручній формі. Такі структури можуть забезпечувати достатньо високу швидкість та

виконувати обробку сигналів високої частоти. Тому оцінка метрологічних характеристик сучасних каналів збору даних вимірювань повинна передбачати визначення не тільки статичних, але і динамічних властивостей таких систем та окремих компонентів – вимірювальних перетворювачів.

**Постановка завдання.** Класичним підходом до аналізу динаміки вимірювальних перетворювачів є аналітичний опис у вигляді звичайних диференціальних рівнянь зі сталими коефіцієнтами та опис передавальними функціями. Але такий підхід може бути