

У будівельній промисловості під час інтенсивного ведення будівельних робіт відзначається недолік залізничного транспорту. Перевезення такої дешевої сировини, як відсів на великі відстані не раціонально. Унаслідок цього їх цілком можна розглядати тільки як місцеву сировину.

Основними споживачами відсіву дроблення щебеню є дорожньо-будівельні організації. У ГОСТ 25607-94 прописані вимоги до сумішей, які використовуються для настилення і основ автомобільних доріг й аеродромів, до яких можуть входити відсів дроблення різноманітних гірських порід.

Для того щоб ефективно використовувати відсів у дорожніх бетонах, потрібно щоб чисельність пилоподібної комплектуючої була не вище 3 % та значно поліпшити форму зерен.

Виготовлення сухих будівельних сумішей (СБС), керамічних матеріалів, пористих бетонів, матеріалів на користь фільтрів, абразивних матеріалів, а ще наповнювачів заради полімерної, лакофарбової та гумово-технічної промисловості. Умови, запропоновані споживачами, різноманітні й лише детальне знання ознак сировини з відсіву дасть можливість виробникам освоювати раніше невідомі ринки збуту.

Виготовлення СБС зростає швидкими темпами. Тому за експертними оцінками ринок будматеріалів одержує не більше 25% необхідного обсягу даної продукції. Основним компонентом СБС вважається пісок (кварцовий, польовошпатовий або з відсівів дроблення).

Найбільш перспективним та підготовленим за ступенем подрібнення сировини становить матеріал, відібраний на окремих переділах виготовлення вапнякового борошна, наприклад, з циклонів та електрофільтрів. Отже проаналізувавши відходи гірської промисловості, можна зробити висновок, що вони придатні для виготовлення будівельних матеріалів. Для отримання цементу, було взято сировину з наступним складом основних компонентів 55% SiO<sub>2</sub>, 30 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Згідно з проведеними розрахунками, на 1 т відходу припадає 3,9 т CaCO<sub>3</sub>. Було розглянуто декілька методів перероблення відходів гірничої промисловості. Отримання цементу високих марок з використанням як вихідної сировини відходів гірничовидобувної промисловості. Розглянуто можливість переробки відходу двома способами: прямий спосіб отримання цементу та спосіб отримання цементу через стадію витягання Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Обидва ці способи засновані на нагріванні сировини.

#### Список літератури

1. Бутт Ю.М., Сычев М. М., Тимашев В. В. Химическая технология вяжущих материалов. - М.: Высшая школа, 1980. - 472 с.
2. Волконский Б.В., Лойко Л.М., Лингузев К.Б., Морозов М. П. Производство цемента сухим способом. - М.: Стройиздат, 1971. - 204 с.>
3. Строительные материалы: Справочник. / Под ред. А.С.Болдырева, П. П. Золотова. - М.: Стройиздат, 1989. - 567 с.
4. Бутт Ю. М. Тимашев В. В. Портландцемент. - М.: Стройиздат, 1974. - 328с.
5. Бурковський Ю.А. Сухой способ производства портландцементного клинкера. - Госстройиздат, 1958.- 267с.
6. Окорков С.Д. Расчет портландцементной сырьевой шихты. - Стройиздат, 1975.-329с
7. Колокольников В. С. Производство цемента. - М.: Высшая школа, 1967.-303с.
8. <http://masters.donntu.edu.ua/2011/feht/kinshova/diss/index.htm>
9. [http://libertydoc.net/books/rodionov\\_a\\_i\\_klushin\\_v\\_n\\_sister\\_v\\_g\\_tehnologicheskie\\_processy\\_ekologicheskoi\\_bezopasnosti](http://libertydoc.net/books/rodionov_a_i_klushin_v_n_sister_v_g_tehnologicheskie_processy_ekologicheskoi_bezopasnosti)
10. <http://waste.ua/eco/2012/industrial-waste/blast-furnace/>
11. <http://www.prom-ltd.com/article28.html>
12. <http://masters.donntu.edu.ua/2010/feht/lapenko/diss/index.htm>

Рукопис подано до редакції 07.03.14

УДК 621.926: 34.16

В.М. РАДИОНОВ, аспірант, В.В. РАДИОНОВ, студент  
Криворізький національний університет

#### СИСТЕМА НЕЛИНЕЙНОГО ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОЦИКЛОНОМ

Для нелинейных объектов, при различных начальных условиях и ограничениях используемые линейные регуляторы работают только на линейной или линеаризованной части характеристик. Устойчивость и требуемое качество САУ, спроектированной на основе линейной модели, гарантируется лишь в малой, четко не определенной, окрестности заданного режима. При больших отклонениях от заданного режима требования к качеству могут не выпол-

няться и САУ может быть неустойчива. Нелинейные законы управления во многих случаях обеспечивают лучшее качество и более широкий диапазон управления.

**Ключевые слова:** нелинейный объект, векторное управление, гидроциклоны.

**Анализ исследований и публикаций.** Широкое применение линейных регуляторов обусловлено отсутствием возможности в реализации контроля широкого спектра параметров многофазных турбулентных потоков, в режиме реального времени, по целому ряду причин. Среди которых предварительная дегазация проб пульпы, оценка работы гидроциклона производилась на основе полуэмпирических зависимостей, а математические модели требовали громоздких решений в трехмерной постановке, или упрощались с введением ограничений, обобщений или идеальных начальных условий [1].

С развитием ультразвуковых средств воздействия и контроля состояния многофазных сред [2], в том числе агрессивных и газонаполненных, появилась возможность производить анализ состояния по целому ряду параметров в режиме реального времени и в темпе переходного процесса, что, в свою очередь, дает возможность эффективного применения нелинейных регуляторов [3].

Комплексное применение эффектов ультразвукового воздействия и контроля состояния пульпы позволяет отойти от сложностей математического описания сложно формализуемых, нелинейных, динамических процессов в турбулентном потоке гидроциклона [4], дав при этом возможность более точного и быстрого получения информации о текущем состоянии объекта управления.

**Цель исследований.** Задачей исследования является разработка векторной системы управления гидроциклоном с применением нелинейных регуляторов, моделирование данной системы управления.

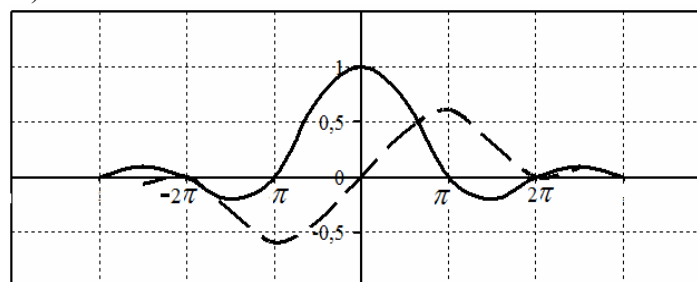
**Изложение материала и результат.** Поскольку наиболее доступна измерению информация о состоянии и свойствах пульпы на входе и выходах гидроциклона, остается проблема достоверного анализа и учета множества возмущающих факторов. Которая решается применением принципа разработки систем управления, основанного на определении векторной ошибки регулирования. При этом не требуется подробной априорной информации об объекте управления для реализации нелинейного управления.

Универсальность данной САУ в возможности регулирования по любому из нескольких доступных измерению параметру. Ультразвуковые способы контроля дают возможность измерения плотности пульпы, крупности частиц твердой фазы и их спектральное распределение в поле высокоэнергетического ультразвука, содержание полезного компонента и др.

Для классифицирующего, по параметру крупности, аппарата наибольший интерес представляет регулирование на основе функции распределения по крупности частиц твердой фазы пульпы, с поддержанием заданного граничного значения крупности, и формирования желаемого вида сепарационной характеристики. Возможно также производить регулирование по плотности, или давлению, выбрав при этом технологически определенную, информативную частоту зондирующего сигнала.

В предыдущих публикациях [2] затрагивались общие принципы такого управления.

Аналоговый сигнал ультразвуковых гранулометров входа и слива гидроциклона, через преобразование гильберта представлялся в виде аналитического сигнала. Аналитический сигнал представляет собой сумму двух ортогональных сигналов (все гармонические составляющие сдвинуты по фазе на  $\pi/2$ ).



**Рис. 1.** Исходный и сопряженный сигналы: - идеальный низкочастотный сигнал; сопряженный с ним сигнал пунктиром

Мнимая часть аналитического сигнала  $\text{Im} Z_s(t)$  является комплексно сопряженной с его действительной частью  $\text{Re} Z_s(t)$  (реальным сигналом) и определяется через преобразование Гильберта (*Hilbert Transform - HT*)

$$\tilde{s}(t) = HT[s(t)] = s(t) \times 1/\pi t = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{s(\tau)}{t-\tau} d\tau. \quad (1)$$

Функция  $1/t-\tau$  называется ядром преобразования Гильберта, а интеграл в этом уравнении, с учетом существующего разрыва подынтегральной функции в особой точке  $a=t-\tau$ , определяется главным значением по Коши. Соответственно, аналитический сигнал

$$\begin{aligned} Z_s(t) &= s(t) + j \cdot \tilde{s}(t) = S(t) e^{j\phi(t)}, \\ S(t) &= \sqrt{s^2(t) + \tilde{s}^2(t)}, \\ \phi(t) &= \text{arctg} \frac{\tilde{s}(t)}{s(t)} \end{aligned} \quad (2)$$

Представление в виде аналитического сигнала позволяет определить мгновенную фазу  $\phi(t)$  реального сигнала, измеряя скалярные временные последовательности  $s[t]$  данного сигнала.

Для одномерной САУ с одним входом  $r$  и одним выходом  $y$  разность их мгновенных фаз

$$\Delta\phi_{yr} = \Delta\phi_y(t) - \Delta\phi_r(t) = \text{arctg} \frac{\tilde{y}(t)r(t) - y(t)\tilde{r}(t)}{y(t)r(t) + \tilde{y}(t)\tilde{r}(t)}. \quad (3)$$

Поскольку значения действительной и мнимой составляющих векторной ошибки нелинейно зависят от запаздывания  $\phi$  в замкнутом контуре регулирования, значения нелинейных коэффициентов регулирования

$$\begin{aligned} K_R(k) &= K_{R0} \cdot \cos \phi(k) \cdot \text{sign}(e_R(k)), \\ K_I(k) &= K_{I0} \cdot \sin \phi(k) \cdot \text{sign}(e_I(k)) \end{aligned} \quad (4)$$

Соответственно выход регулятора на основе векторной ошибки будет определен в виде

$$\begin{aligned} u(k) &= u(k-1) + K_R(k) \cdot \Delta e_R(k) + K_I(k) \cdot \Delta e_I(k) = \\ &= u(k-1) + K_{R0} \cdot \cos \phi(k) \cdot \text{sign}(e_R(k)) \cdot \Delta e_R(k) + \\ &+ K_{I0} \cdot \sin \phi(k) \cdot \text{sign}(e_I(k)) \cdot \Delta e_I(k) \end{aligned} \quad (5)$$

Рассмотрим пример применения векторного регулятора на основе преобразования Гильберта, в одномерной (SISO) САУ насосом гидроциклона, на основе модели в MATLAB, пакета SIMULINK.

Для определения эффективности предлагаемой структуры векторного регулятора на основе векторной ошибки, смоделируем динамику переходных процессов. Проанализируем влияние ступенчатых изменений физико-химических свойств железорудной пульпы, влияние возникновения случайных возмущений, приближенных реальному процессу, влияние подачи ступенчатых сигналов различной величины по входам уставки. Величина ступенчатых сигналов возмущающего воздействия варьировалась в диапазоне 10% от установившегося режима, (по экспериментальным данным диапазон колебаний плотности составляет: 3-7 %, в зависимости от причины возникновения такого колебания).

Для измерения фазового смещения  $\Delta\phi$  и определения действительной  $e_R$  и мнимой  $e_I$  составляющих векторной ошибки, на основной усредненный сигнал ультразвукового гранулометра накладывается зондирующий сигнал, который за счет более высокой частоты и достаточно малой амплитуды не должен влиять, на процесс формирования вектора входного и выходного сигнала. В модели и в силу ее определенной универсальности мы используем сигнальный генератор, сигнал которого накладывается на сигнал уставки  $r$ .

В реальной САУ частота выбирается на основе анализа и выделения определенных гармонических составляющих сигнала ультразвуковых датчиков грануломера, по условиям отстройки от помех и информативности в соответствии с выбранным критерием регулирования.

Представляет интерес использования акустических шумов выбранных по аналогичным критериям.

Для измерения фазового смещения  $\Delta\phi$  и определения действительной  $e_R$  и мнимой  $e_I$  составляющих векторной ошибки примем разработанный [1] блок SIMULINK «Calculate delta fi»,

моделирующий уравнение.

Данный блок выполняет входную фильтрацию, дискретизацию и преобразование векторов уставки с наложенным сигналом от сигнального генератора и сигнала ультразвукового гранулометра “Пульсар” в аналитические сигналы с последующим вычислением фазового сдвига  $\Delta\varphi$ .

Данный блок позволяет разработать векторный регулятор, интегрировав его в структуру системы управления гидроциклоном.

Смоделируем влияние ступенчатого повышение и понижение концентрации твердого в пульпе и стохастическое изменение концентрации, на давление входа гидроциклона от которого зависит гранулометрический состав слива. Структурная схема в MATLAB, в пакете Simulinc, включает векторный регулятор построенный по вышеизложенным принципам.

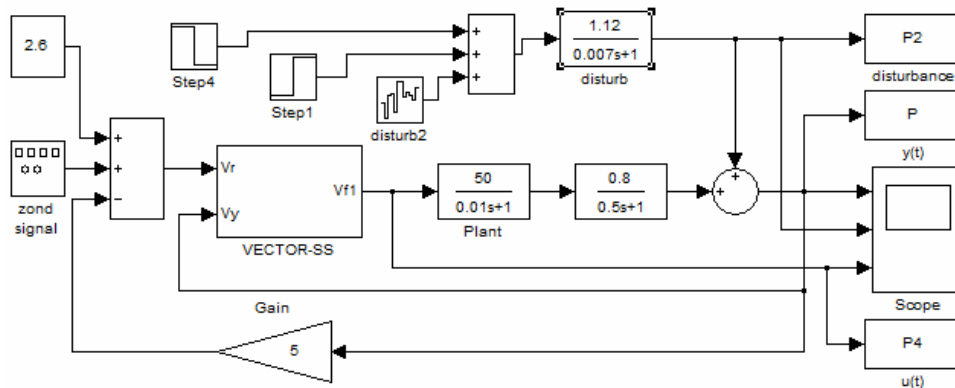


Рис. 2. Блок схема системы управления с векторным регулятором на основе комплексной ошибки

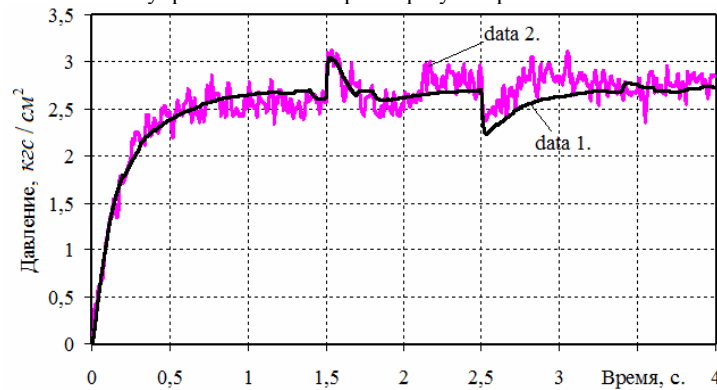


Рис. 3. Переходной процесс с нелинейным регулятором – data1 и возмущения data2. (20% диапазон)

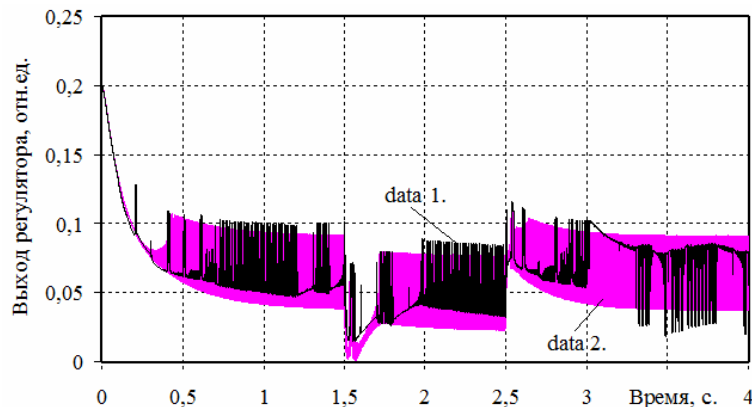


Рис. 4. Выходной сигнал нелинейного регулятора, по модулю комплексной ошибки, без наложения стохастических возмущений data1, и характерные изменения data2, при отработке возмущений

Аналізують процес стабілізації тиску рис.3, зауважують деяку неточність регулювання в режимах близьких до установившимся, виникнення бифуркацій, які в даному випадку незначительні і упорядковуються. Теоретично залишається можливість переходу системи в хаотичний режим. Щоб виключити можливість нестійкої роботи, і обмежити нижній поріг якості управління, можна використовувати еталонну математичну модель, здійснюючи управління за параметрами моделі при виникненні необхідності.

**Висновки.** Представлена векторна система управління має універсальність, і застосовна для різних об'єктів. При цьому залишається ймовірність виникнення нестійкої роботи в режимах близьких до установившимся. Застосування нелінійних регуляторів суттєво скорочує час перехідних процесів, що особливо актуально для об'єктів з швидко змінюючими властивостями.

#### Список літератури

1. Агамалов О. Н., Лукаш Н. П. Альтернативне нелінійне ПІД-управління з використанням векторної помилки. //Електроінформ, 2008. – №2. – с. 8-13
2. В.С. Моркун, В.М. Радионов Адаптивна САУ гідроциклоном на основі моделі розділення мінералів в ультразвуковому полі, Вісник Криворізького національного університету, вип. 30, 2012
3. Моркун В.С., Потапов В.Н., Моркун Н.В., Подгородецкий Н.С. Ультразвуковий контроль характеристик змінливих матеріалів в АСУ ТП обогатительного виробництва. - Кривий Ріг: Изд. центр КТУ, 2007. - 283 с.
4. Дик И.Г., Матвиенко О.В., Неессе Т. Моделирование гидродинамики и сепарации в гидроциклоне // Теоретические основы химической технологии, 2000, Том 34, №5, с с. 478-488
5. A. Farzanegan, M. Gholami, M.H. Rahimyan Multiphase flow and tromp curve simulation of dense medium cyclones using Computational Fluid Dynamics Journal of Mining & Environment Vol.4, No.1, 2013, 67-76
6. Suasnabar, D.J. (2000). Dense Medium Cyclone Performance, Enhancements Via Computational Modeling of The Physical Process, Ph.D. Thesis, University of New South Wales.

Рукопись поступила в редакцию 22.02.14

УДК 621.395.14

О.М. СІНЧУК, д-р техн. наук, проф., І.О. СІНЧУК, канд. техн. наук, доц.,  
Криворізький національний університет

С.М. БОЙКО, аспірант, Кременчуцький національний університет ім. Мих. Остроградського

### ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОНОМНИХ ВІТРОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК В ПІДЗЕМНИХ ГІРНИЧИХ ВИРОБКАХ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ

Оцінено можливість і проаналізовано специфіку функціонування вітроенергетичних комплексів в умовах підземних виробок залізрудних шахт. Для реалізації оптимально-можливої ефективності функціонування вітроенергетичних установок обґрунтовано й запропоновано структуру електромеханічної частини вітроенергетичного комплексу і його конструкцію в цілому.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** У зв'язку з зростанням попиту на електричну енергію (ЕЕ), та цін на її виробництво, а також комплексом екологічних обмежень, все більш актуальним стає завдання збільшення об'ємів отримання ЕЕ шляхом використання поновлюваних нетрадиційних джерел, особливо енергії вітру, яка за допомогою вітрових електричних установок (ВЕУ) перетворюється в електричну [1,2].

**Аналіз досліджень і публікацій.** Аналіз досліджень та публікацій показав широкомасштабне впровадження ВЕУ як в Україні, так і світі [1].

Однак, впровадження ВЕУ у підземних виробках залізрудних шахт, при наявності, в силу технології ведення гірничих робіт, постійного вентиляційного потоку, поки ще не відбулося [3].

**Постановка завдання.** Розробка теоретичних аспектів використання повітряного вентиляційного потоку підземних гірських виробок залізрудних шахт для отримання електричної енергії.

**Викладення матеріалу і результати.** Для досягнення вищевикладеної мети була оцінена та проаналізована можливість і специфіка роботи вітроенергетичних комплексів (ВЕК) в умовах діючих підземних виробок залізрудних шахт (ЗРШ). Запропонована для подальших уточнень і досліджень первинна структура конструкції комплексу з вертикальною віссю обертання перетворення енергії вітру [2,3].