

9. Вилкул Ю.Г., Азарян А.А., Колосов В.А. Переработка и комплексное использование минерального сырья техногенных месторождений. Гірничий Вісник Криворізького національного університету-2013, № 96. - С.3-10
11. Близинок Г.И., Большаков А.Ю. Способ рудоподготовки с использованием данных ядернофизического опробования // Обогащение руд. -1979 -№5. - С. 10-11.
12. Пак Ю. Н. Выбор энергии первичного излучения при контроле качества известняка гамма-альбедным методом // Изв. вузов. Горный журнал. – 1985. - №7. – С. 8-12.
13. Сторм Э., Исраэль Х. Сечение взаимодействия гамма – излучения. – М.: Атомиздат, 1973. – 254 с.
14. Albert Azaryan, Vladimir Azaryan Use of Bourger Lambert Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials, Metallurgical and Mining Industry, 2015, No. 1 p. 4-9
15. Albert Azaryan Research of influence single crystal thickness $n_{aj}(t)$ on the intensity of the integrated flux of scattered gamma radiation [Електронний ресурс] / A. Azaryan // Metallurgical and Mining Industry.– 2015.– №2.– Р. 43-46.
16. Азарян А.А. Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества при добыче железорудного сырья в условиях карьеров. Інженерія програмного забезпечення / [Азарян А.А., Азарян В.А., Гриценко А.Н., Мирошник Д.Ю., Кайгородов Р.А.] Науковий журнал, № 2(10) 2013, Київ, Національний авіаційний університет. - С. 15-27.

Рукописот поступила в редакцію 21.03.16

УДК 622.755-52: 681.513.6

А.В. МИКОЛЕНКО, магістрант, Криворізький національний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ГІДРОЦИКЛОНОМ З ВИКОРИСТАННЯМ АДАПТИВНОГО РЕГУЛЯТОРА ЗІ СХЕМОЮ ШВИДКІСНОГО ГРАДІЄНТУ

Для отримання в зливів гідроциклону часточок руди однакового розміру, важливим процесом є підтримання щільності залізорудної пульпи на деякому сталому рівні. Це можливо при використанні технологічного зумпфа, що розташовується перед гідроциклоном. Залізорудна пульпа потрапляє до технологічного зумпфа нерівномірними порціями, та найчастіше має неоднорідну щільність. Це може бути обумовлено як різним мінералогічним складом сировини, так і неякісним процесом подрібнення. Тому для підтримання сталого рівня пульпи, є важливим питанням регулювання подачі додаткової води в технологічний зумпф. На сьогодні регулювання рівня пульпи в технологічному зумпфі є основним способом впливу на роботу гідроциклону. При зміні рівня сировини в технологічному зумпфі при подачі додаткової води також змінюється і щільність залізорудної пульпи. Неконтрольована зміна щільності може стати причиною потрапляння до зливу гідроциклону різних за розміром часточок руди, що в свою чергу впливає на якість класифікації залізорудної пульпи.

У статті розглянуто актуальні питання ефективності процесу класифікації залізорудної пульпи в комплексі технологічний зумпф-гідроциклон. Обґрунтовано питання важливості якісного процесу класифікації вхідної сировини в гідроциклоні при зміні гранулометричного складу залізорудної пульпи в процесі роботи гідроциклону. Синтезовано та досліджено роботу адаптивного регулятора зі схемою швидкісного градієнту при впливах на об'єкт керування параметричних збурень. Проаналізовано поведінку регулятора при змінах амплітуд параметричних збурень, та при зміні кількості збурюючих факторів, що негативно впливають на об'єкт керування під час його роботи. Виявлено, що при використанні адаптивного регулятора зі схемою швидкісного градієнту, похибка керування значно зменшується, що є прямим показником доцільності використання досліджуваного регулятора. Таким чином, вказано напрямок подальших досліджень – розвиток автоматичних систем керування гідроциклоном в умовах зміни гранулометричного складу пульпи.

Ключові слова: гідроциклон, адаптивна система керування, регулятор, схема швидкісного градієнту.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Мета класифікації пульпи гідроциклоном - отримання бажаної за крупністю руди в зливів гідроциклону.

Подальше збагачення руди багато залежить від якості залізорудної сировини, отриманої в зливів гідроциклону.

Оскільки, гранулометричний склад пульпи в процесі роботи гідроциклону постійно змінюється під впливами різноманітних збурень [1-2], система автоматичного керування повинна бути спроможна компенсувати неконтрольовану зміну гранулометричного складу пульпи.

На рис. 1 зображено реакцію системи на одиничний ступінчастий сигнал під впливом параметричних збурень під час роботи гідроциклону [3].

Найпоширенішим способом керування в умовах, що негативно впливають на об'єкт керування є використання PID-регуляторів [4-6].

Але такі регулятори, для розрахунку коефіцієнтів керування потребують повної інформації про об'єкт керування, яку в випадку з гідроциклоном, отримати практично неможливо.

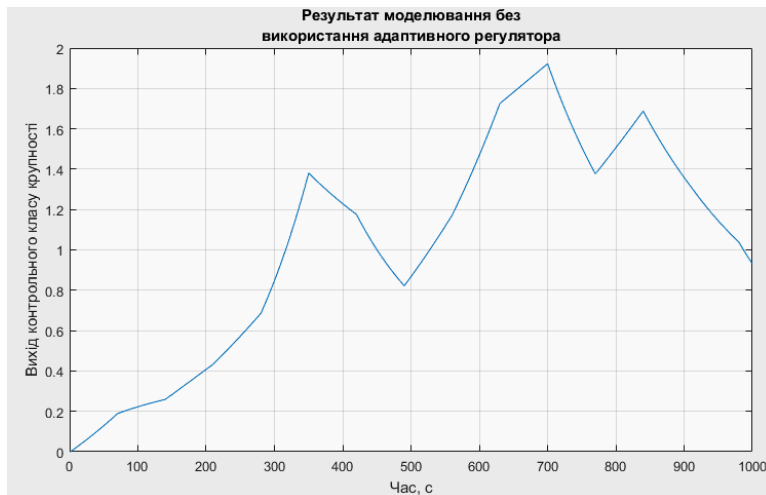


Рис. 1. Реакція системи на одиничний ступінчастий сигнал під впливом параметричних збурень

При цьому залишається проблема синтезу оптимального керуючого сигналу, вирішення якої можливе при заміні PID-регуляторів на адаптивні [7].

Аналіз досліджень і публікацій. Система керування, що автоматично обирає необхідний закон керування аналізуючи поведінку об'єкту при дійсному законі керування, є адаптивною [7]. Різноманітні обзори теорії адаптивних систем

мають різноманітні варіанти класифікації, та при написанні цієї статті буде використана класифікація запропонована А.А Вороновим та В.Ю. Рутковським у роботі [8].

Будемо вважати, що об'єкт керування (ОК) є безперервним динамічним об'єктом [9], тоді алгоритм адаптивного керування має дворівневу структуру, представлену на рис. 2.

На рис. 2 структурну схему системи адаптивного керування розділено на два рівні.



Рис. 2. Дворівнева структурна схема системи адаптивного керування

Перший рівень представляє алгоритм регулювання або алгоритм основного рівня, який залежить від вектору параметрів $\Xi\Theta$ (параметри регулювання) при кожному повинен забезпечувати досягнення цілі керування (ЦК) при відповідному виборі $\Theta = \Theta(\zeta)$. Алгоритм другого рівня налаштовує вектор Θ так, щоб забезпечити досягнення ЦК при невідомих $\zeta \in \Xi$.

Оскільки адаптивні системи керування відрізняються від звичайних (не адаптивних) наявністю контуру адаптації, тому є зручним використання поняття «Загального налаштованого об'єкта» (ЗНО). ЗНО включає в себе незмінну частину системи керування (загальний об'єкт та регулятор).

Якості входи ЗНО може використовувати як налаштовані параметри регулятора $\Theta(t)$, так і входи загального об'єкта $\Theta(t) = U(t)$, у разі, коли основний контур керування відсутній [7].

Алгоритм адаптивного керування для досягнення ЦК повинен відслідковувати зміну невідомих параметрів, адаптуючись при цьому до змінення умов. Стає зрозумілим, що робота такої системи стає можливою лише при повільній зміні значень ζ по відношенню до зміни значень станів об'єкта X . При цьому швидкі процеси керуються за допомогою першого рівня системи - регулятором, а повільні зміни відслідковуються другим рівнем системи - адаптером [7,8].

Для синтезу регулятора зі схемою швидкісного градієнта, в основі якої покладена ідея налаштування параметрів у напрямку, протилежному швидкості зміни цільового функціоналу вздовж траєкторії узагальненого об'єкта, що налаштовується, необхідно до схеми з рис. 2 включити еталонну модель, яка буде задавати бажану динаміку руху системи. Системи з явною еталонною моделлю за способом досягнення цілі керування поділяються на системи параметричної та сигнальної адаптації.

З метою підвищення точності керування і швидкодії процесу, застосовуються алгоритми, що поєднують в собі методи сигнальної та параметричної адаптації. У таких системах алгоритм сигнального налаштування вибирається зазвичай релейним, забезпечуючи в системі високу

швидкодію. Параметричне налаштування застосовується для стабілізації коефіцієнта підсилення в необхідних межах [7,9].

Алгоритм швидкісного градієнта (АШГ) задає правило зміни вектору Θ , що задається рівнянням адаптера

$$\frac{d((\Theta(\Theta + \Psi(X(t), \Theta(t), t))))}{dt} = -\Gamma \cdot \nabla_{\Theta} \omega(X(t), \Theta(t), t), \quad (1)$$

де $\Gamma = \Gamma^T > 0$ ($m_{\Theta} \times m_{\Theta}$) матриця коефіцієнтів підсилення.

АШГ, поданий у вигляді (1) є узагальненою формою. У даному випадку, через ряд переваг [2], доцільно використовувати диференційну форму алгоритму

$$\frac{d\Theta(t)}{dt} = -\Gamma \cdot \nabla_{\Theta} \omega(X(t), \Theta(t), t). \quad (2)$$

При використанні АШГ в диференційній формі робастність алгоритму забезпечується шляхом використання двох підходів: або усунення зростання $\Theta(t)$ при великих $\|\Theta(t)\|$ за допомогою введення в АШГ від'ємного оберненого зв'язку, або припиняти зміну $\Theta(t)$ при малих значеннях q . Другий спосіб реалізується за допомогою введення зони нечутливості за цільовою функцією [10].

Для застосування АШГ необхідно вибрати локальний цільовий функціонал у формі скалярної квадратичної функції

$$q(t) = 0.5 \cdot E(t)^T \cdot H \cdot E(t), \quad (3)$$

де $H = HT > 0$.

Відповідно до схеми швидкісного градієнта, похідна цільової функції в силу траєкторії системи записується виразом

$$\frac{dq(t)}{dt} = \omega(X(t), \Theta(t), t) = E^T(t) H (AX(t) + BU(t) - A_M X_M(t) - B_M G(t)). \quad (4)$$

Приймаючи до уваги (4), компоненти швидкісного градієнта записуються рівняннями

$$\begin{aligned} \nabla_{K_X} \frac{dq_{\tau}(t)}{dt} &= B^T H E(t) X(t)^T, \\ \nabla_{K_G} \frac{dq_{\tau}(t)}{dt} &= B^T H E(t) G(t), \\ \nabla_{U_S} \frac{dq_{\tau}(t)}{dt} &= B^T H E(t). \end{aligned} \quad (5)$$

Якщо в алгоритмі (2) покласти

$$\Gamma = \text{diag}\{y_1 I_{m_n}, y_2 I_{m^2}, O_m\}, \quad (6)$$

алгоритм для сигнальної складової взяти в кінцевій формі, то компоненти адаптивного закону керування будуть розраховуватися за наступними формулами

$$\begin{aligned} U_s &= -y \left| E(t) \text{sign}(B^T H E(t)) \right|, \\ \frac{dk_x(t)}{dt} &= -y_1 B^T H E(t) X(t)^T, \\ \frac{dk_G(t)}{dt} &= -y_2 B^T H E(t) G(t), \end{aligned} \quad (7)$$

де $\gamma_1 > 0$, $\gamma_2 > 0$, $\gamma > 0$ – коефіцієнти підсилення.

Для перевірки умови досяжності покладемо

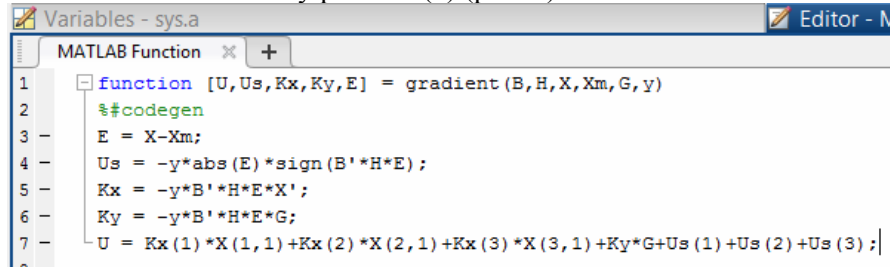
$$\begin{aligned} B \cdot K_X^{\delta}(t) &= (A_M - A), K_G^{\delta}(t) = B^+ \cdot B_M, \\ B \cdot U_S(t) &= (A_M - G) \cdot E(t), \\ \theta &= \text{col}(K_X^{\delta}(t), K_G^{\delta}(t), U_S(t))_{\delta}, \end{aligned} \quad (8)$$

де $K_X^{\delta}(t)$, $K_G^{\delta}(t)$ – бажані значення коефіцієнтів регулятора; B^+ – псевдообернена матриця.

Якщо виконується рівність $\omega(X(t), \theta^{\delta}(t), t) = -E(t)^T H Q E(t) \leq -\alpha_0 q$, умову досяжності виконано за будь-якої гурвіцевої матриці Q , що задовольняє умові Ляпунова. Отримана матриця задає необхідну динаміку адаптації, яка не залежить від динаміки еталонної моделі.

З теореми про досяжність цілі керування [7,9] стає зрозуміло, що при виконанні рівності $y > \|B^+(A_M - Q)/\rho\|$ система (7) асимптотично стійка до змін $E(t)$.

Для моделювання адаптивної системи керування використано Simulink, зі стандартними бібліотеками компонентів. Використовуючи компонент «Matlab Function» створимо порожній m -файл та запишемо в нього систему рівнянь (7) (рис. 3).



```

1 function [U,Us,Kx,Ky,E] = gradient(B,H,X,Xm,G,y)
2 %#codegen
3 E = X-Xm;
4 Us = -y*abs(E)*sign(B'*H*E);
5 Kx = -y*B'*H*E*X';
6 Ky = -y*B'*H*E*G;
7 U = Kx(1)*X(1,1)+Kx(2)*X(2,1)+Kx(3)*X(3,1)+Ky*G+Us(1)+Us(2)+Us(3);

```

Рис. 3. Вигляд m -файлу з рівняннями

Входами регулятора є сигнали з об'єкта керування, сигнали з еталонної моделі, сигнал завдання та матриця що обумовлює рішення рівняння Ляпунова.

Виходом отриманого регулятора буде набір наступних параметрів: похибка системи, коефіцієнти параметричної адаптації K_x, K_y , коефіцієнт сигнальної адаптації U_s , та загальний сигнал адаптації U , що є сумою попередніх коефіцієнтів.

Входами регулятора є сигнали з об'єкта керування, сигнали з еталонної моделі, сигнал завдання та матриця що обумовлює рішення рівняння Ляпунова.

Виходом отриманого регулятора буде набір наступних параметрів: похибка системи, коефіцієнти параметричної адаптації K_x, K_y , коефіцієнт сигнальної адаптації U_s , та загальний сигнал адаптації U , що є сумою попередніх коефіцієнтів.

Під'єднавши необхідні входи та виходи, отримаємо адаптивну систему керування за схемою швидкісного градієнту (рис. 4).

Результат моделювання системи зображено на рис. 5. Як сигнал завдання використано одиничний ступінчастий сигнал.

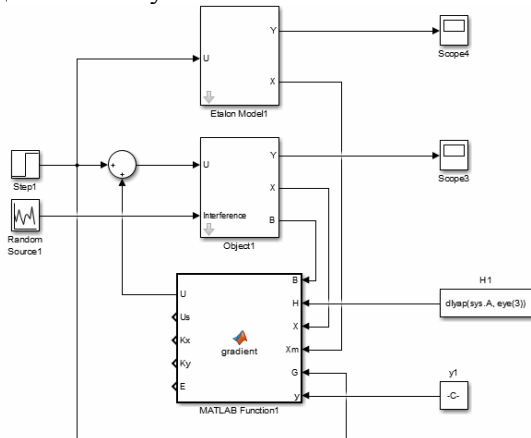


Рис.4. Система автоматичного керування з адаптивним регулятором за схемою швидкісного градієнту

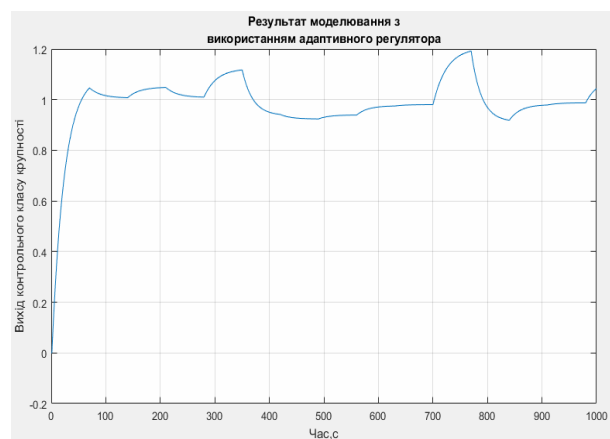


Рис. 5. Результат моделювання системи

Висновки на напрямки подальших досліджень. Оптимальна класифікація залізородної пульпи має велике значення з точки зору оптимізації процесу збагачення. Найбільшої ефективності можна досягти при збереженні матеріального балансу класів крупності в зливні гідроциклону. Синтезований адаптивний регулятор зі схемою швидкісного градієнту дозволяє зменшити вплив збурюючих факторів на об'єкт керування, тим самим зменшивши похибку ке-

рування. При збільшенні кількості збурюючих сигналів, синтезований адаптивний регулятор втрачає свою ефективність.

Напрямок подальших досліджень є розвиток систем автоматичного керування гідроциклоном з використанням адаптивних регуляторів з алгоритмами які є більш стійкими до збільшення кількості збурюючих факторів та систем нечіткої логіки для синтезу оптимальних законів керування гідроциклоном в умовах зміни гранулометричного складу залізородної сировини.

Список літератури

1. Sbarbaro D. Advanced control and supervision of mineral processing plants / D. Sbarbaro, R. del Villar., 2010. – 311 p.
2. Поваров А. И. Гидроциклоны на обогатительных фабриках [Текст]. – М. : Недра, 1978. – 232 с. : ил. + Список лит.: 197-201 (166 назв.).
3. Миколенко А.В. Аналіз систем автоматичного керування гідроциклоном на збагачувальній фабриці [Текст] // Миколенко А.В. // Гірничий вісник. – 2016. – № 101. – С. 137–143.
4. Гольдин Е. М. О гидродинамической картине потока и вычисления крупности разделения в гидроциклоне [Текст] / Гольдин Е. М., Поваров А. И. –// «Труды ин-та Механобр», – 1971. – Вып. 136. – С. 56–72.
5. Гринман И.Г. Контроль и регулирование гранулометрического состава продуктов измельчения [Текст] / Гринман И.Г., Блях Г. И – Алма-Ата: «Наука», 1967. 115с, с ил.
6. Попович М.Г. Теорія автоматичного керування: Підручник [Текст] / Попович М.Г., Ковальчук О.В., – К.: Либідь, 1997р., – 533 с.
7. Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.4: Теория оптимизации систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 742 с.
8. Воронов А.А., Рутковский В.Ю. Современное состояние и перспективы развития адаптивных систем // Вопросы кибернетики: Проблемы теории и практики адаптивного управления. М.: Научный совет по кибернетике АН СССР, 1985. – С. 5–48
9. Фрадков А.П. Адаптивное управление в сложных системах. [Текст] / Фрадков А.П – М.: Наука, 1990. – 292 с.
10. Моркун В.С. Адаптивные системы оптимального управления технологическими процессами [Текст] / Моркун В.С., Цокуренько А.А., Луценко И.А. – Кривой Рог: Минерал, 2005. – 261 с.

Рукопис подано до редакції 21.03.16

УДК 658.38: 621.1

О.Г. МОВЧАН, канд. хим. наук, доц., К.В. ЛОСЬЕВ, ассистент
Криворожский национальный университет

УСТАНОВЛЕНИЕ ОЧЕРЕДНОСТИ ПРОФИЛАКТИЧЕСКОГО РЕМОНТА ПО ЗАМЕНЕ АВАРИЙНЫХ УЧАСТКОВ ТРУБОПРОВОДОВ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ТРАВМООПАСНЫХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Цель. Целью данной работы является разработка способов повышения безопасности труда при эксплуатации и ремонтах теплотрасс. Также необходимо выявить наиболее травмоопасные специальности работников предприятий теплоснабжения, уменьшив аварийную производственную нагрузку на них. Уменьшение аварийных работ может быть достигнуто путем проведения профилактических работ на теплотрассах, сокращая при этом образом количество опасных работ а так же трудовые и материальные затраты связанные с их выполнением.

Методы исследования. Исследования проводились с использованием математико-статистического метода экспертных оценок. Данный метод позволяет оперативно выявить наиболее проблемные и затратные работы предприятий теплоснабжения возникающие как в процессе эксплуатации оборудования и теплотрасс так и с внезапными аварийными ситуациями. Таким образом можно определить перечень профилактических работ которые должны быть выполнены в первую очередь.

Научная новизна. Исследования с использованием математико-статистического метода экспертных оценок позволяют быстро определить проблемы при организации профилактических ремонтов на предприятиях теплоснабжения.

Практическая значимость. Полученные выводы по результатам исследований позволят разработать рекомендации по уменьшению количества аварийных работ на теплотрассах. Определив наиболее травмоопасные специальности предприятий теплоснабжения необходимо уменьшить производственную нагрузку связанную с аварийными работами через проведение профилактических работ на наиболее потенциально опасных аварийных участках.

Разработанные рекомендации на основе математико-статистического метода экспертных оценок позволят улучшить производство организационных работ по ликвидации аварийных участков теплотрасс и снизить количество аварийных работ, что в свою очередь, уменьшит заболеваемость работников предприятий теплоснабжения и