

5-40	29,4	30,5	34,3	36,1
6-40	26,5	25,6	30,2	34,2

Примечания: В таблице приведены значения прочности бетона в возрасте 28 сут.; АОГ – активированный наполнитель + железосиликатный щелочной коллоидный раствор

Выводы. Установлено, что прочность при сжатии бетона зависят от водоцементного отношения, содержания мелкого заполнителя в смеси заполнителей и степени наполнения цементного камня активированным наполнителем. Получены математические модели прочности бетона, учитывающие его состав и содержание активированного наполнителя при оптимальном содержании железосиликатного щелочного коллоидного раствора в цементе. При этом оптимальное содержание активированного наполнителя в цементе составляет 20...30 % от его массы.

Список литературы

1. Шишкін О.О., Хільченко О.П. Технологія бетону / О.О. Шишкін, О.П. Хільченко// Підручник для студентів вищих навчальних закладів. – Кривий Ріг: «Видавничий дім», 2007.– 376 с.
2. Кривенко П.В., Пушкарьова К.К., Барановський В.Б., Кочевих М.О., Гасан Ю.Г., Константиновський Б. Я., Ракша В.О. Будівельне матеріалознавство / П.В. Кривенко, К.К. Пушкарьова, В.Б. Барановський, М.О. Кочевих, Ю.Г. Гасан, Б. Я. Константиновський, В.О. Ракша// Підручник. – К.: «Видавництво Ліра-К», 2012. – 624 с.
3. Штарк Иохан, Вихт Бернд. Долговечность бетона / Иохан Штарк, Бернд Вихт: [пер. с нем.] // . - К.: Оранта, 2004. – 295 с.
4. ДСТУ Б В.2.7-176:2008 «Будівельні матеріали. Суміші бетонні та бетон. Загальні технічні умови». – К.: «Мінрегіонбуд України», 2010. – 109 с.
5. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щебенево-мастикові». – К.: «Мінрегіон України», 2015. – 26 с.
6. Баженов Ю.М. Технология бетона / Ю.М. Баженов // Учебное пособие для вузов. - М.: Высш. школа, 1987. - 455 с.
7. Комар А.Г. Строительные материалы и изделия / А.Г. Комар // Учебн. для инженерно-экономических специальностей строительных вузов. М.: Высш. школа, 1988. – 527 с.
8. Горчаков Г.И., Баженов Ю.М. Строительные материалы / Г.И. Горчаков, Ю.М. Баженов //Учебное пособие для вузов. – М.: Стройиздат, 1986. – 688 с.
9. Ахвердов И.Н. Основы физики бетона / И.Н. Ахвердов - М.: Стройиздат, 1981. - 464 с.
10. Михайлов К.В., Волков Ю.С. Бетон и железобетон в строительстве / К.В. Михайлов, Ю.С. Волков // . – М.: Стройиздат, 1987. – 103 с.

Рукопись поступила в редакцию 10.03.17

УДК 681.58:001.57

А.М. МАЦУЙ, канд. техн. наук, доц., В.О. КОНДРАТЕЦЬ, д-р техн. наук, проф.

Кіровоградський національний технічний університет

СИНТЕЗ КВАЗІІНВАРІАНТНОЇ СЛІДКУЮЧОЇ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ РОЗРІДЖЕННЯ ПУЛЬПИ В ПІСКОВОМУ ЖОЛОБІ ОДНОСПІРАЛЬНОГО КЛАСИФІКАТОРА

Мета. Метою даної роботи є розробка підходу автоматизованого керування подрібненням руди кульовими млинами з оптимізацією динаміки вирівнювання розрідження пульпи на початковій ділянці барабана технологічного агрегату. Великі витрати при подрібненні бідних залізних руд у перших стадіях в значній мірі викликані відсутністю інформації відносно певних технологічних процесів, до яких можливо віднести і розрідження пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, де недостатньо вивчалися засоби керування цим параметром.

Методи дослідження. Не розглядалося автоматичне керування розрідженням пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, яке б сприяло створенню і підтриманню умов розрідження пульпи в технологічному агрегаті, що гарантувало б значне підвищення ефективності роботи куль і не допускало б перевитрати електричної енергії, куль і футеровки з одночасним підвищенням продуктивності по готовому продукту.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Її метою є синтез квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора з пошуком оптимальної структури та параметрів динамічних ланок з врахуванням меж і характеру зміни вхідних даних.

Практична значимість. Показано, що слідкуючу систему доцільно реалізувати на базі виконавчого механізму з асинхронним двофазним електродвигуном змінного струму та тиристорного перетворювача частоти, редуктора, перетворювального механізму, двосідлового клапана, відрізка магістральної труби і витратоміра, які відрізняються високою надійністю. Отримані аналітичні залежності між сигналами та параметрами системи відкривають шляхи реалізації автоматичного регулятора. Недостатня вивченість цих зв'язків стримує розробку ефективних систем авто-

матичного керування даними процесами, що приводить до значних економічних збитків.

Результати. Створена квазіінваріантна слідкуюча система стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора, у якій реалізовано додатковий вплив за задавальним діянням, що в експлуатаційних умовах підвищує точність, практично гарантуючи рівність вихідного і вхідного сигналів, забезпечуючи умови ефективної роботи кульового млина.

Ключові слова: пісковий жолоб, густина пісків, стабілізація, квазіінваріантна система

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. За сучасних умов концентрат збагачених залізних руд слугує сировинною основою чорної металургії України, однак підвищена його собівартість порівняно з зарубіжними аналогами зменшує конкурентоспроможність галузевої продукції на міжнародному ринку. До цього в основному приводять значні перевитрати електроенергії і матеріалів в рудопідготовці, особливо при подрібненні руди в перших стадіях. Оскільки дана стаття розв'язує частину поставленої проблеми, то вона спрямована на розв'язання Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р., затвердженої наказом Міністра промислової політики України №152 від 25.02.2009 року, в частині гірничо-металургійного комплексу, та держбюджетної теми «Оптимізація продуктивності кульових млинів по руді і готовому продукту при мінімальних енергетичних і матеріальних перевитратах» (0115U003942) плану науково-дослідних робіт Кіровоградського національного технічного університету.

Аналіз досліджень і публікацій. Суттєво вплинути на зменшення втрат в рудопідготовці може автоматизація цих технологічних процесів з урахуванням сучасних досягнень в даній області знань. В роботі [1] розглянуто формування робастного автоматизованого керування замкнутим циклом подрібнення на основі H_∞ -норми. Робота [2] присвячена інтелектуальній ідентифікації та керуванню в умовах процесів збагачувальної технології, а [3] – прогнозуючому адаптивному керуванню стохастичною системою для забезпечення раціональних техніко-економічних показників на прикладі залізрудного гірничо-збагачувального комбінату. Реальний шлях підвищення ефективності збагачення залізних руд вбачають автори роботи [4] в автоматизації першої стадії подрібнення, класифікації та магнітної сепарації. Автори роботи [5] пропонують удосконалення адаптивного керування процесом подрібнення залізрудної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта. Одночасно розвиваються і технологічні основи рудопідготовки [6, 7]. Аналогічну роботу проводять і автори з далекого зарубіжжя [8,9]. Розвиток автоматичних систем керування за останні роки розглянуто в [10]. Системи, які діють нині у виробничих умовах описані і проаналізовані в [11]. Аспекти розрідження пульпи у кульових млинах найбільш ґрунтовно розглянуто у монографії [12]. В той же час засоби стабілізації розрідження пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора, які суттєво можуть впливати на ефективність подрібнення руди, ніхто не розглядав і не досліджував.

Постановка завдання. Метою даної роботи є синтез квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора для поліпшення умов подрібнення руди у кульовому млині.

Викладення матеріалу та результати. Розвантаження пісків односпірального класифікатора в пісковий жолоб має гармонічний характер, в якому середнє значення витрати пісків та амплітуда зростають при збільшенні циркулюючого навантаження, а період залишається майже незмінним [13]. Стабілізацію розрідження пульпи у пісковому жолобі при цьому можливо забезпечити електричним приводом з плавною зміною швидкості обертання вала. Найкращим рішенням нині є асинхронний двофазний двигун змінного струму з тиристорним перетворювачем частоти. Керованим об'єктом тут є відрізок труби в магістралі подачі води, регульовальний двосідловий клапан та магніто-індуктивний витратомір 8045 [14]. Крім того, між двосідловим клапаном та електродвигуном тут застосовуються перетворювальний механізм оберткових рухів у поступальній та знижувальній редуктор [14]. У системах відтворення кута і швидкості обертання основним збуренням є момент навантаження на виконавчу вісь [15]. Оскільки у двосідловому клапані при переміщенні штока зусилля практично не змінюється, збурююче діяння в системі виникати не буде. Момент навантаження на валу електродвигуна також змінюватись не буде. Тому дану систему слід розглядати як таку, що знаходиться лише під впливом задавального діяння. Дослідження показали, що звичайна структура системи не забезпечує необхідної якості керування. Тому систему необхідно розглядати як слідкуючу з притаманними їй вимогами.

При управлінні розрідженням пульпи у пісковому жолобі односпірального класифікатора необхідно об'ємну витрату пісків подати через масову. Крім того, наприклад, при співвідношенні тверде/рідке у пісковому жолобі $K_{TP}=3,025$ сигнал витрати пісків необхідно зменшити в 3,025 рази. За цих умов задавальним діянням стає не витрата пісків, а витрата води в пісковий жолоб, яка має той же характер змін у часі. Система повинна відтворювати цей сигнал. Такі функції виконують перетворюючі системи. Перетворюючу систему необхідно розробляти як слідкуючу.

Як показує аналіз, операції перетворюючої системи найкраще реалізувати у цифровій формі. Вимоги до перетворюючої системи зводяться до використання швидкодіючих мікропроцесорних засобів, розрядність яких не повинна бути меншою 16. У таких системах 12-розрядні аналого-цифрові перетворювачі не створюють відчутних похибок при обробці сигналів [16].

Для досягнення необхідної точності у слідкуючій системі здійснюють додаткові заходи. Спочатку розглянемо базову слідкуючу систему подачі води в пісковий жолоб односпірального класифікатора для отримання заданого співвідношення тверде/рідке. Її функціональна схема показана на рис.1. Задавальне діяння $X_{вх}$, що відповідає необхідній зміні витрати води в пісковий жолоб односпірального класифікатора Q_{BGZ} , сформований перетворюючою системою, прикладене до входу елемента порівняння слідкуючої системи, на другий вхід якого подано сигнал витратоміра води, що відповідає фактичній витраті води у пісковий жолоб і є регульованою величиною системи $X_{вих}$. До регульовального органа (двосідлового клапана) може бути прикладеним збуджуюче діяння F , але воно при даній конструкції дорівнює нулю.

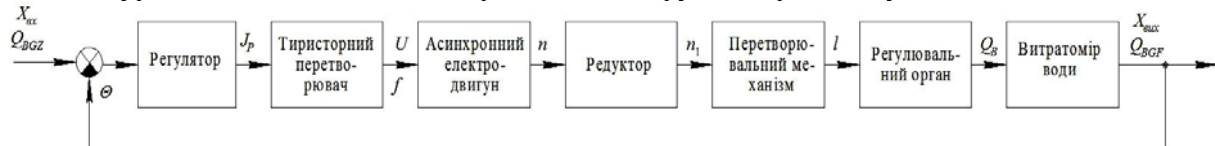


Рис.1. Функціональна схема базової слідкуючої системи подачі води в пісковий жолоб односпірального класифікатора

Розглянемо динамічні властивості функціональних елементів, поданих на рис.1. Асинхронний виконавчий двофазний електродвигун виконавчого механізму ПР-1М можливо розглядати як аперіодичну динамічну ланку, якщо вихідною величиною слугує кутова швидкість ротора. Передаточна функція такого електродвигуна буде [14]

$$W_{ДВ}(p) = \frac{k_{ДВ}}{T_{ДВ}p + 1} = \frac{3,11 \text{ рад/с}}{0,2p + 1}, \quad (1)$$

де $k_{ДВ}$ – передавальний коефіцієнт; $T_{ДВ}$ – електромеханічна стала часу.

Редуктор виконавчого механізму ПР-1М складається з шести пар змінних шестірень. Враховуючи те, що система повинна володіти високою швидкодією, передавальний коефіцієнт редуктора необхідно встановити на рівні $W_{РД}(p) = k_{РД} = 0,02$. Передавальний коефіцієнт перетворювального механізму складає $W_{РМ}(p) = k_{РМ} = 8,04$ мм/рад. Як показують розрахунки, передавальний коефіцієнт регульовального органа буде дорівнювати

$$W_{РО}(p) = k_{РО} = 55 \text{ (т/год)/25 мм} = 2,2 \text{ (т/год)/мм}.$$

Витратомір води перетворює витрату в електричний сигнал. Керування тиристорним перетворювачем частоти звичайно здійснюють струмом 4...20 мА. Найбільша витрата води в магістральному трубопроводі складає 55 т/год, тоді їй повинен відповідати струм 20 мА, а передавальний коефіцієнт витратоміра буде $W_{ВВ}(p) = k_{ВВ} = 20 \text{ мА/55 (т/год)} = 0,3636 \text{ мА/(т/год)}$.

Тиристорний перетворювач частоти має передавальну функцію [17]

$$W_{Pf} = k_{Pf} / (T_{Pf}p + 1), \quad (2)$$

де k_{Pf} – передавальний коефіцієнт тиристорного перетворювача частоти; T_{Pf} – стала часу тиристорного перетворювача частоти.

Їх можливо прийняти $k_{Pf} = 4,17$ Гц/мА, а $T_{Pf} = 0,014$ с.

Передаточну функцію даної частини слідкуючої системи позначимо

$$W_2(p) = \frac{k_{Pf}}{(T_{Pf}p + 1)} \cdot \frac{k_{ДВ}}{(T_{ДВ}p + 1)} \cdot k_{РД} \cdot k_{РМ} \cdot k_{РО} \cdot k_{ВВ}. \quad (3)$$

Враховуючи, що всі передавальні коефіцієнти належать статичним динамічним ланкам, результуючий передавальний коефіцієнт буде дорівнювати $k_2 = k_{pf} \cdot k_{DB} \cdot k_{PD} \cdot k_{PM} \cdot k_{PO} \cdot k_{BB}$.

Тоді вираз (3) подамо

$$W_2(p) = \frac{k_2}{(T_{DB}p + 1)(T_{pf}p + 1)}. \quad (4)$$

Ввівши до складу системи автоматичний регулятор з передаточною функцією $W_1(p)$, отримаємо структурну схему замкненої системи, однак при її роботі не буде помилка $\Theta_X(t)$ дорівнювати нулю. Відомо, що, якщо у рівнянні системи за похибкою операторний багаточлен при задавальному діянні прирівняти до нуля, то при будь-якому законі зміни задавального діяння похибка також буде дорівнювати нулю. Це так звана умова абсолютної інваріантності похибки слідкуючої системи відносно задавального діяння. Реалізують її введенням зв'язку за задавальним діянням. З врахуванням сказаного і того, що збурюючий вплив $F(p) = 0$ та прийнятих позначень динамічних елементів слідкуюча система прийме вигляд, показаний на рис.2. Відповідно до приведеної схеми справедливими будуть наступні рівняння

$$\Theta_X(p) = X_{ex}(p) - X_{eux}(p), \quad (5)$$

$$\Sigma(p) = W_1(p)\Theta_X(p) + W_{ZX}(p)X_{ex}(p), \quad (6)$$

$$X_{eux}(p) = W_2(p) \cdot \Sigma(p). \quad (7)$$

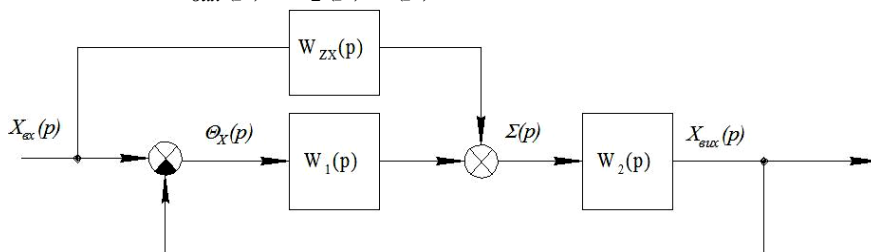


Рис.2. Структурна схема слідкуючої системи подачі води в пісковий жолоб односпірального класифікатора з впливом за задавальним діянням

Виключимо з цих рівнянь $X_{eux}(p)$ і $\Sigma(p)$. Як наслідок, отримаємо рівняння слідкуючої системи для похибки

$$[1 + W_1(p)W_2(p)]\Theta_X(p) = [1 - W_2(p)W_{ZX}(p)]X_{ex}(p). \quad (8)$$

Подамо передаточні функції через операторні багаточлени чисельника і знаменника. Тоді $W_1(p) = B_1(p)/A_1(p)$, $W_2(p) = B_2(p)/A_2(p)$, $W_{ZX}(p) = B_{ZX}(p)/A_{ZX}(p)$. Врахувавши ці позначення і виконавши перетворення, отримаємо рівняння слідкуючої системи у вигляді

$$[B_1(p)B_2(p) + A_1(p)A_2(p)]A_{ZX}(p)\Theta_X(p) = [A_2(p)A_{ZX}(p) - B_2(p)B_{ZX}(p)]A_1(p)X_{ex}(p). \quad (9)$$

Якщо врахувати, що $A_1(p) \neq 0$, то умова інваріантності буде мати вигляд

$$A_2(p)A_{ZX}(p) - B_2(p)B_{ZX}(p) = 0. \quad (10)$$

Враховуючи, що ліва частина рівняння (10) являє собою різницю, то є принципова можливість реалізації умови інваріантності вибором значень $A_{ZX}(p)$ і $B_{ZX}(p)$. Відповідно (10) передаточна функція зв'язку за задавальним діянням повинна дорівнювати

$$W_{ZX}(p) = \frac{B_{ZX}(p)}{A_{ZX}(p)} = \frac{A_2(p)}{B_2(p)} = \frac{1}{W_2(p)}. \quad (11)$$

При реалізації (11) необхідно для даної слідкуючої системи розглянути умови забезпечення стійкості. З залежності (9) видно, що багаточлен $B_{ZX}(p)$ входить лише до умови інваріантності. Тому вибір його значення для досягнення інваріантності не впливає на стійкість системи. Багаточлен $A_{ZX}(p)$ входить як до умови інваріантності, так і в характеристичне рівняння системи (9). Оскільки $A_{ZX}(p)$ входить у характеристичний багаточлен системи (9) у вигляді співмножника, то стійкість замкненої системи не змінюється, а з'являються лише нові корені відповідно виразу $A_{ZX}(p) = 0$. Нові корені визначають стійкість розімкненої частини системи, яка здійснює зв'язок за задавальним діянням. Враховуючи те, що у розімкнених системах не існує проблем стійкості, вибір багаточленів $A_{ZX}(p)$ і $B_{ZX}(p)$ з умови інваріантності не спричиняє втрати стійкості.

Як видно з (4), степінь багаточлена чисельника менша степені багаточлена знаменника. Обернена величина виразу (4), навпаки, буде мати вищу степінь чисельника, ніж знаменника, що

суперечить умові фізичної реалізації. Це означає, що передаточна функція зв'язку за задавальним діянням, яка відповідає абсолютній інваріантності, фізично не може бути реалізовною. Тому абсолютна інваріантність є недосяжною. Високу точність відтворення задавального діяння можливо отримати заміною фізично нереалізовної передаточної функції $W_{ZX}(p)$ близькою до неї фізично реалізовною передаточною функцією $W_{ZXH}(p)$. При цьому отримуємо квазіінваріантну систему, яка мало відрізняється від інваріантної.

На підставі (4) можливо записати нереалізовну передаточну функцію зв'язку за задавальним діянням

$$W_{ZX}(p) = \frac{1}{W_2(p)} = \frac{(T_{DB}p + 1)(T_{Pf}p + 1)}{k_2}. \quad (12)$$

Враховуючи правило Ішлинського [18], у знаменнику виразу (12) можливо додати два співмножника $(T_1p + 1)$ з невеликими сталими часу, що суттєво не вплине на перехідний процес. Тоді фізично реалізовна передаточна функція $W_{ZXH}(p)$ може мати значення

$$W_{ZXH}(p) = \frac{(T_{DB}p + 1)(T_{Pf}p + 1)}{k_2(T_1p + 1)(T_2p + 1)}, \quad (13)$$

де $T_1 \rightarrow 0$; $T_2 \rightarrow 0$.

З врахуванням (13) в слідкуючій системі можливо реалізувати додатковий вплив за керуючим діянням. У залежності (13) операторні одноклени чисельника можливо ввести пропорційно-диференціальними регуляторами на операційних підсилювачах, а операторні одноклени знаменника – активними згладжувальними ланками з відповідними сталими часу. Перед цими послідовно з'єднаними динамічними ланками необхідно встановити операційний підсилювач для врахування передавальних коефіцієнтів динамічних ланок і коефіцієнта підсилення k_2 . Тоді функціональна схема квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в піщовому жолобі односпірального класифікатора прийме вигляд, показаний на рис. 3.

В даній системі керуюче діяння $X_{вх}(t)$ у вигляді напруги $PHC1$ і $PHC2$ перетворюється у струм. Аналогічно вихідний сигнал системи $X_{вих}(t)$, який за рівнем напруги відповідає $X_{вх}(t)$, $PHC3$ також перетворюється у струм. Неузгодженість і вплив за керуючим діянням сумуються в CC і $PPHC$ перетворюються в струмовий сигнал 4-20 мА, який встановлює режим роботи тиристорного перетворювача частоти TPF , а отже необхідну витрату води в піщовий жолоб односпірального класифікатора.

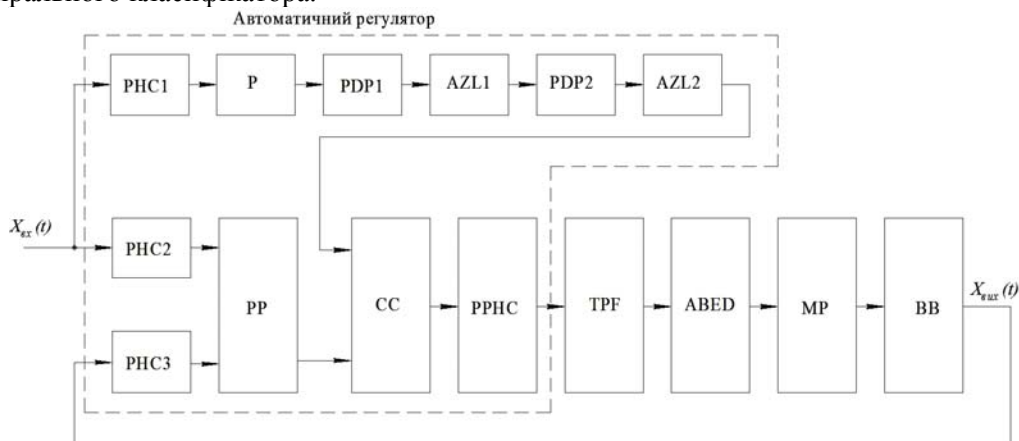


Рис. 3. Функціональна схема квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в піщовому жолобі односпірального класифікатора: $PHC1$ - $PHC3$ – перетворювачі напруга-струм; P – операційний підсилювач; $PDP1$, $PDP2$ – пропорційно-диференціальні регулятори на операційних підсилювачах; $AZL1$, $AZL2$ – активні згладжувальні ланки на операційних підсилювачах; PP – регулювальний підсилювач; CC – суматор сигналів; $PPHC$ – потужний перетворювач напруга-струм; TPF – тиристорний перетворювач частоти; $ABED$ – асинхронний виконавчий електродвигун; MP – механічні перетворювачі; BB – витратомір води

Автоматичний регулятор (рис. 3) реалізовано на операційних підсилювачах. Пристрої $PDP1$, $PDP2$, $AZL1$ і $AZL2$ реалізовано так, що мають передавальний коефіцієнт, що дорівнює одиниці. Тоді в залежності (13) передавальний коефіцієнт буде визначатись значенням k_2 . Оскільки k_2 при вибраних параметрах динамічних ланок дорівнює 1,665, то $1/k_2=0,6$. Отже, в (13)

передавальний коефіцієнт дорівнює 0,6 а сталі часу $T_{DB}=0,2$ с, $T_{pf}=0,014$ с. Сталі часу знаменника прийняті $T_1=T_2=0,001$ с.

Відповідно прийнятим даним і схемі (рис. 3) здійснено комп'ютерне моделювання квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора в середовищі MATLAB. В якості вхідного діяння прийнято $X_{ex}=A \cdot \sin \omega t$, де A – амплітуда, а ω – незмінна колова частота, що дорівнює $0,628$ с⁻¹. Амплітуда змінюється в достатньо широкому діапазоні і визначається циркулюючим навантаженням. При моделюванні її значення прийнято рівним $A=1,587$. Результати моделювання приведені на рис. 4.

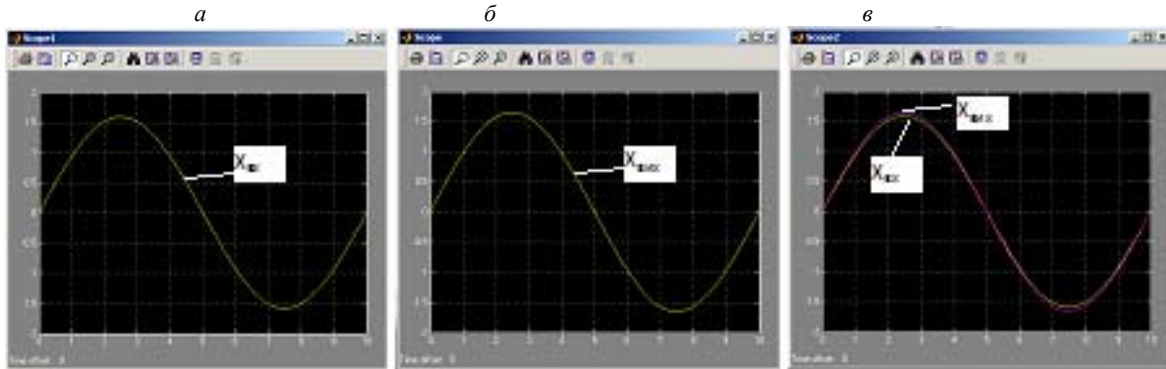


Рис.4. Результати моделювання роботи квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора : а – вхідний сигнал; б – сигнал на виході системи ; в – порівняння сигналів

З рис. 4 видно, що вихідний сигнал повторює задавальне діяння, їх початок, кінець і період співпадають. З порівняння сигналів (рис.4в) видно, що різниця між X_{ex} і X_{vix} незначна, що підтверджує високу точність квазіінваріантної слідкуючої системи.

Висновки та напрямок подальших досліджень. Оскільки при керуванні за відхиленням допускається велика похибка, систему регулювання витрати води в пісковий жолоб односпірального класифікатора слід розглядати як слідкуючу. Вона вимагає реалізації перетворюючої системи, яка формує задавальний сигнал зміни витрати води у пісковий жолоб. Її необхідно виконати на швидкодіючих мікропроцесорних засобах, розрядність яких не повинна бути меншою 16. У даній слідкуючій системі, враховуючи характер зміни задавального діяння, можуть виникати лише динамічні похибки, викликані першою та другою похідною у вхідному сигналі, які постійно змінюються. За таких умов у слідкуючій системі використано додатковий зв'язок за задавальним діянням, знайдено його передаточну функцію. Слідкуючу систему доцільно будувати з використанням асинхронного виконавчого двофазного електродвигуна змінного струму з тиристорним перетворювачем та операційних підсилювачів різного призначення. Запропонована квазіінваріантна слідкуюча система стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора забезпечує високу точність відтворення вхідного сигналу, що позитивно вплине на якість подрібнення руди кульовим млином.

Перспективою подальших досліджень є реалізація квазіінваріантної слідкуючої системи стабілізації розрідження пульпи в пісковому жолобі односпірального класифікатора.

Список літератури

1. **Моркун В.С.** Формирование робастного автоматизированного управления замкнутым циклом измельчения на основе H_∞ -нормы / **В.С. Моркун, Н.В.Моркун, В.В.Троне** // Гірничий вісник: наук.-техн. зб. ДВНЗ «КНУ». – 2014. – Вип. 98. – С. 83-85.
2. **Купін А.І.** Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології / **Купін А.І.** – Кривий Ріг: Видавництво КТУ, 2008. – 204с.
3. **Назаренко М.В.** Прогнозуюче адаптивне керування стохастичною системою для забезпечення раціональних техніко-економічних показників на прикладі залізрудного гірничо-збагачувального комбінату / **Назаренко М.В.** – Кривий Ріг: Діоніс (ФОП Чернявський Д.О.). – 2010. – 309 с.
4. **Азарян А.А.** Автоматизация первой стадии измельчения, классификации и магнитной сепарации – реальный путь повышения эффективности обогащения железных руд / **А.А. Азарян, Ю.Ю. Кривенко, В.Г. Кучер** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць.- 2014.- Вип. 36.- С. 276-280.

5. **Тронь В.В.** Формування адаптивного керування процесом подрібнення залізородної сировини в умовах невизначеності характеристик об'єкта / **В.В. Тронь, К.В.Маєвський** // Гірничий вісник: наук.-техн. зб. ДВНЗ «КНУ». - 2015.- Вип. 99.- С. 27-32.
6. **Маляров П.В.** Основы интенсификации процессов рудоподготовки / **Маляров П.В.** – Ростов-на-Дону: Рост-издат, 2004. – 320с.
7. **Науменко Ю.В.** Основы теории режимів роботи барабанних млинів: [монографія] / **Науменко Ю.В.** – Рівне: Видавництво СПД Зелент, 2009. – 282с.
8. **Herbst J.A.** Model-based control of mineral processing operations / **J.A. Herbst, W.T. Pate, A.E. Oblad** // Powder Technology. – 1992. – Vol.69. – P. 21-32. – ISSN 0032-5910.
9. **Линч А. Дж.** Циклы дробления и измельчения / **Линч А. Дж.**: [пер. с англ.]. – М.: Недра, 1981. – 342с.
10. Измельчение. Энергетика и технология / [**Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.**]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. – 296 с.
11. Разработка и применение автоматизированных систем управления процессами обогащения полезных ископаемых / [**Морозов В.В., Топчаев В.П., Улитенко К.Я. и др.**]. – М.: Изд. дом «Руда и Металлы», 2013. – 512 с.
12. **Кондратець В.О.** Автоматизація процесів керування розрідженням пульпи при подрібненні руди барабанними млинами / **Кондратець В.О., Сербул О.М., Мацуї А.М.**; за ред. В.О. Кондратця. – Кіровоград: КОД, 2013. – 368с.
13. **Мацуї А.М.** Моделювання формування пісового потоку у пісовому жолобі механічного односпіралного класифікатора / **А.М. Мацуї, В.О. Кондратець** // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях: зб. наук. праць. – 2016. – №16. – С.53-59.
14. **Мацуї А.М.** Дослідження нелінійної системи автоматичного управління подачею води у кульовий млин, що подрібнює піски класифікатора / **А.М. Мацуї, В.О. Кондратець** // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: зб. наук. праць КНТУ. – 2013. – Вип. 26. – С.161-168.
15. Основы автоматического регулирования и управления / [**Каргу Л.И., Литвинов А.П., Майборода Л.А. и др.**]; под. ред. В.М. Пономарева и А.П. Литвинова. – М.: Высш. школа, 1974. – 439 с.
16. **Кондратець В.О.** Технічне забезпечення допустимої похибки ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспіралного класифікатора / **В.О. Кондратець, А.М. Мацуї** // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – 2014. – Вип.37. – С.59-63.
17. **Грабко В.В.** Метод та засоби оптимізації роботи електроприводів насосної станції водопостачання / **В.В. Грабко, М.М. Мошноріз.** –Вінниця: ВНТУ, 2011. – 138 с.
18. Системы фазовой синхронизации / **С.Н. Складенко, А.В. Стеклов, Р.В. Уваров, В.М. Чмиль.** – К.: Техніка, 1994. – 160 с.

Рукопис подано до редакції 21.02.17

УДК 004.67

І.О. МУЗИКА, канд. техн. наук, доц., Д.І. КУЗНЕЦОВ, канд. техн. наук, ст. викл.
Криворізький національний університет

ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ПОБУТОВОЇ ТЕХНІКИ У СИСТЕМАХ ТИПУ «ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ ДІМ»

Мета. Метою роботи є розробка інформаційної системи енергоменеджменту у промисловому і приватному секторі, який являє собою постійну діяльність, направлену на енергозбереження, яке ґрунтується на перевірці, що враховує моніторинг і вимірювання, внутрішні аудита та коригувальну діяльність, а також включає розробку та впровадження новітніх енергозберігаючих заходів і інформаційних систем. Системи «Інтелектуальний дім» дають змогу, у автоматичному режимі, виконувати управління енергозабезпеченням, опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням тощо. У свою чергу, наявність сучасних бездротових технологій дозволяють власнику будинку вести енергомоніторинг будь-якого електрообладнання. На даний момент існуючі розробки та технологічні рішення, щодо автоматичного енергообліку побутової техніки вимагають наявності спеціалізованих блоків або видів побутової техніки з інтегрованими елементами діагностики, що є досить дорогим рішенням для впровадження у систему «Інтелектуальний дім».

Методи дослідження. У даній статті авторами запропоновано метод енергоменеджменту побутової техніки на основі спектрального аналізу електромережі у якій працюють побутові прилади з асинхронними двигунами.

Наукова новизна. Розв'язання даної задачі складає актуальність роботи. Запропоновані методи є актуальними адже дозволяють виконувати непрямий енергомоніторинг побутової техніки.

Практична значимість. Завдяки виконанню автоматизації на основі запропонованого підходу кожна частина інформаційної системи працює злагоджено з іншими, у оптимальному режимі, що дозволяє економити час та гроші. Окрім виконання функції контролю та забезпечення комфортних умов перебування у приміщенні, на даний момент, перспективним шляхом досліджень систем «Інтелектуальний дім» є енергоменеджмент побутової техніки, опалювального обладнання тощо. Наприклад, визначення надмірного споживання енергії електрокотлом, яке відрізняється