

УДК 622.002.56

**В. О. Кондратець**, канд. техн. наук

### **ВИМІРЮВАННЯ РУДНОГО ЗАВАНТАЖЕННЯ МЛИНІВ КОНВЕЄРНИМИ ВАГАМИ З ПОДВІЙНОЮ ФІЛЬТРАЦІЄЮ СИГНАЛУ ПОГОННОГО НАВАНТАЖЕННЯ**

**Анотація.** Показано, що в конвеєрних вагах точність вимірювання можливо підвищити застосуванням аналогового оптимального фільтра Калмана-Б'юсі та цифрового фільтра погонного навантаження з встановленою тривалістю інтегрування та наступним перемноженням результату і осередненої швидкості стрічки, що зменшує похибку більше, ніж в чотири рази.

**Ключові слова:** конвеєрні ваги, погонне навантаження, механічна частина, електрична частина, фільтр Калмана-Б'юсі, цифровий фільтр, алгоритм фільтрації

**V. Kondratets**, PhD.

### **MEASUREMENT OF MILLS ORE LOAD WITH CONVEYOR DUAL SIGNAL FILTERING LINEAR LOAD WEIGHING**

**Abstract.** It is shown that the conveyor scale measurement accuracy can be improved using an analog optimal Kalman-Bucy filter, and linear load of the digital filter with fixed duration of integration and subsequent multiplication of the results averaged and the tape speed, which reduces the error is more than four times.

**Keywords:** conveyor scales, linear load, the mechanical part, electrical part, Kalman-Bucy filter, digital filter, the filter algorithm

**В. А. Кондратец**, канд. техн. наук

### **ИЗМЕРЕНИЕ РУДНОЙ ЗАГРУЗКИ МЕЛЬНИЦ КОНВЕЙЕРНЫМИ ВЕСАМИ С ДВОЙНОЙ ФИЛЬТРАЦИЕЙ СИГНАЛА ПОГОННОЙ НАГРУЗКИ**

**Аннотация.** Показано, что в конвейерных весах точность измерений можно повысить применением аналогового оптимального фильтра Калмана-Бьюси и цифрового фильтра погонной нагрузки с установленной длительностью интегрирования и последующим перемножением результата и осредненной скорости ленты, что снижает погрешность больше, чем в четыре раза.

**Ключевые слова:** конвейерные весы, погонная нагрузка, механическая часть, электрическая часть, фильтр Калмана-Бьюси, цифровой фильтр, алгоритм фильтрации

**Вступ.** Україна по виробництву товарної залізної руди в світі займає 6–7 місце, підтвержені запаси складають 3–4 місце. Особливістю залізної руди в Україні є порівняно низький вміст корисного компонента – в середньому 35 %, що потребує її збагачення в широких масштабах. На подрібнення бідної залізної руди при збагаченні витрачається понад 50 % всіх енергетичних витрат збагачувальної фабрики. Крім того, при цьому споживається велика частка металу у вигляді молотильних тіл і футерівки. Зважаючи на це, економічно розвинуті країни задачі підвищення ефективності подрібнення руд включають в пріоритетні напрями розвитку науки і техніки. Оптимізація режимів подрібнення та засобів автоматичного управління являє основою підвищення ефективності рудопідготовки. Основою інформаційного забезпечення систем управління є розробка засобів автоматичного контролю режимів подріб-

нення [1]. Найбільш важливими параметрами інформаційних систем є масова витрата руди [2] і співвідношення тверде/рідке в млині [3]. Масову витрату руди вимірюють конвеєрними вагами, для визначення співвідношення тверде/рідке у млині засоби відсутні. Такий параметр необхідно ідентифікувати у технологічному процесі. Найбільш простим і достатньо ефективним є алгоритмічний підхід підвищення точності ідентифікації. Запропонований в [4] алгоритм ідентифікації співвідношення тверде/рідке в млині містить кілька технологічних параметрів, до яких входить і масова витрата руди. Алгоритм [4] показує, що при підвищенні точності визначення одних параметрів, інші чи один з них може визначатись з меншою точністю. У даному випадку це стосується вимірювання об'ємної витрати пульпи у пісковому жолобі. Отже, як визначення масової витрати руди, так і співвідношення тверде/рідке у млині потребують достатньо високої точності конвеєрних вагів, яка сьогодні не досягнута.

© Кондратець В.О., 2014

**Аналіз досліджень та публікацій.** Конвеєрні ваги розробляються достатньо давно і пройшли кілька етапів розвитку як технічні системи. Найбільш простими і достатньо точними були пристрої з одним опорним роликом і пружним перетворювачем зусилля з тензочутливими елементами. Найбільш поширеними конвеєрними вагами даного типу на збагачувальних фабриках стали ЕТВ-2 [5]. Вони складаються з одиничної ролюпоори з противагою, перетворювача навантаження на одному метрі довжини конвеєрної стрічки з кільцевим пружним елементом і тензорезисторами, з'єднаними у мостову схему, перетворювача швидкості стрічки з контактним роликом і помножувача вхідних сигналів. Ці ваги містять три електричні машини, три реохорди [5], їх похибка складає  $\pm 1$  %. В той же час було встановлено, що вони недодержують гарантованої похибки вимірювання в наслідок ряду причин, а в основному від негативного впливу степені нерівномірності розташування матеріалу на конвеєрній стрічці [5], тому стає задача забезпечення гарантованої точності конвеєрних вагів. Досягнення відносно похибки ваговимірювальних пристроїв, що дорівнює  $\pm 1$  %, крім того, створило проблему їх градування і перевірки.

Принципово новим рішенням є перехід до механічної системи з двома опорними роликами, що створюють два вимірювальних канала [6]. Паралельно з удосконаленням конвеєрних вагів отримують розвиток способи їх градування та перевірки. В цей час ваги для гірничо-металургійного виробництва у економічно розвинутих країнах мають практично однакові характеристики [7]. Винцем розробки конвеєрних вагів можливо рахувати створення двоканального пристрою ЕКВ-4Д та принципово нового непрямого способу градування та перевірки, що реалізується у робочому режимі [8]. Однак необхідно відмітити, що ці конвеєрні ваги значно складніші і дорожчі порівняно з одноканальними. Підводячи підсумок сказаному, можливо відмітити, що в останні роки здебільшого розроблялись двоканальні пристрої, тобто, удосконалювалась механічна частина конвеєрних вагів. Їх електрична система після виходу на пружні тензочутливі елементи та переводу на мікропроцесорні засоби за-

лишаються на тому ж рівні. Тому в роботі [3] і відмічається, що виконання реєструючої апаратури вагів на базі сучасної мікропроцесорної техніки вирішального впливу на точність конвеєрних вагів не здійснює, підвищення класу точності й надійності не відбувається. Тому недоцільно виключати з використання однороликові конвеєрні ваги, що отримали найбільше розповсюдження в наслідок своєї простоти та невеликої вартості. Підвищити ефективність однороликових конвеєрних вагів необхідно удосконаленням їх електричної частини.

**Постановка завдання.** Метою даної роботи є удосконалення електричної частини конвеєрних вагів з одним опорним роликом шляхом системного аналізу з підвищенням точності вимірювання та надійності інформаційного забезпечення систем керування технологічним процесом.

**Викладення матеріалу та результати.** Аналіз доцільно виконувати на прикладі базових конвеєрних вагів з одним опорним роликом типу ЕТВ-2. Серед вад конвеєрних вагів, які знижують їх точність, крім змін погонного навантаження в наслідок нерівномірного розташування сипкого матеріалу відмічають коливання натягання стрічки та зміну її жорсткості [8]. Вплив двох останніх вад можливо легко усунути застосуванням відомих технічних рішень – натягуванням за допомогою вантажу певної маси і налагодженням нуля при розвантаженій конвеєрній стрічці, яке в даній конструкції легко зробити автоматичним. Отже, похибка в основному буде визначатись нерівномірністю розташування матеріалу на конвеєрній стрічці.

Зміна швидкості конвеєрної стрічки складає 2...3 % і вимірюється за допомогою тахогенератора постійного струму, який має ряд вад стосовно точності і надійності інформаційного забезпечення. Досягнути високої точності результату вимірювання масової витрати сипкого матеріалу можливо лише з застосуванням засобу, який має достатньо малу відносну похибку. Він, на відміну тахогенератору постійного струму, не повинен володіти постійною часу, оскільки пульсація швидкості приводить до перехідних процесів і невідповідності сигналу на вході і виході вимірювального пристрою. Таким засобом

може бути магнітоіндукційний перетворювач швидкості руху конвеєрної стрічки, який при проходженні її одного метра формує не менше 400 імпульсів.

Реверсивний двофазний двигун змінного струму, який в ЕТВ-2 використовують для компенсації і перемноження сигналів, також має постійну частоту, що приводить до невідповідності істинного значення погонного навантаження і вихідного сигналу конвеєрних вагів. Зрозуміло, що з врахуванням сигналу, отриманого з тахогенератора постійного струму, результат буде ще більш викривленим. Тому можна стверджувати, що низька точність конвеєрних вагів ЕТВ-2 викликана не самим нерівномірним розподілом сипкого матеріалу в потоці і зміною швидкості стрічки, а реакцією вимірювального засобу на ці фактори.

В наслідок нерівномірності завантаження конвеєрної стрічки тиск матеріалу на опорний ролик є випадковим процесом. Швидкість руху конвеєрної стрічки також є випадковим процесом. Перемноження миттєвих значень двох випадкових величин вносить похибку. Тому забезпечити високу точність вимірювання цим підходом не можливо. Сигнали необхідно перетворювати, а потім перемножувати.

Сигнали необхідно перемножувати засобами мікропроцесорної техніки. Аналіз показує, що високої точності можливо досягти лише використовуючи аналого-цифрові перетворювачі (АЦП) не нижче 12-розрядних, а мікроконтролери – 16-розрядних. Імпульсний сигнал, що характеризує швидкість конвеєрної стрічки, перешкодо захищений і може мати значну амплітуду. Аналоговий сигнал, пропорціональний погонному навантаженню на конвеєрній стрічці, складається з усталеної та змінної складових. Їх характер та співвідношення встановлювалися в процесі теоретичних та експериментальних досліджень.

Дослідження показали, що змінна складова тиску сипкого матеріалу на опорний ролик конвеєрних вагів є нормальним стаціонарним випадковим процесом, який володіє ергодичною властивістю, амплітуда якого має порівняно невелике значення. Кореляційні функції, отримані як по теоретичним, так і експериментальним даним, достатньо добре апроксимуються виразом

$$K(\tau) = \sigma_{\xi}^2 e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\xi}^2$  – дисперсія випадкового процесу;  $\tau$  – часовий інтервал між двома перетинами реалізації випадкового процесу;  $\alpha, \beta$  – параметри, що характеризують кореляційну функцію.

Залежність (1) дозволяє знайти спектральну густину випадкового процесу

$$S(\omega) = \frac{\sigma_{\xi}^2}{2\pi} \left[ \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega + \beta)^2} + \frac{\alpha}{\alpha^2 + (\omega - \beta)^2} \right], \quad (2)$$

де  $\omega$  – колова частота.

При значеннях  $\alpha$  і  $\beta$ , характерних для транспортування сипкого матеріалу в умовах збагачувальної фабрики, графік спектральної густини (2) достатньо точно апроксимується більш простим виразом

$$S_{\xi}(\omega) = 2\sigma_{\xi}^2 T_{\xi} / (T_{\xi}^2 \omega^2 + 1), \quad (3)$$

де  $2\sigma_{\xi}^2 T_{\xi} = S_{\xi}(0)$  – спектральна густина при  $\omega=0$ ;  $T_{\xi}$  – постійна часу, яку отримують в процесі апроксимації.

При визначенні погонного навантаження сигнал формується на тензоперетворювачах. В умовах збагачувальних фабрик, де використовується велика кількість надзвичайно потужного та іншого електричного обладнання, передавачів, кабельних ліній, засобів мобільного зв'язку, на тензоперетворювачах і вхідних ланцюгах наводиться паразитний сигнал  $F(t)$ , що є завадою, яка сумірна з корисним сигналом. Отримати високу точність визначення погонного навантаження можливо лише шляхом позбавлення від завади і врахування змінної складової корисного сигналу. Такі задачі звичайно розв'язують застосуванням оптимальних стохастичних систем. Запропоновано ряд методів їх оптимізації. В якості критерію оптимальності, за звичай, приймають мінімум середньої квадратичної похибки. Скористаємося методом синтезу оптимальних систем, що розробили Калман і Б'юсі [9], тобто знайдемо оптимальний фільтр Калмана-Б'юсі. Враховуючи умови збагачувальної фабрики заваду  $F(t)$ , накладену на корисний сигнал  $\xi(t)$ , можливо рахувати «білим шумом», що має спектральну густину  $S_f(\omega) = S_f(0) = F$ . Вхідним сигналом системи тоді буде  $X_{ax}(t) = \xi(t) + F(t)$ .

В даному методі прийнято випадковий процес  $\xi(t)$  подавати у вигляді диференціального рівняння першого порядку

$$d\xi(t)/dt = A(t)\xi(t) + n(t), \quad (4)$$

а оптимальну систему описувати неоднорідним диференціальним рівнянням виду

$$dX_{\text{вих}}(t)/dt = Q(t)X_{\text{вих}}(t) + C(t)X_{\text{вх}}(t), \quad (5)$$

або

$$dX_{\text{вих}}(t)/dt = A(t)X_{\text{вих}}(t) + C(t)[X_{\text{вх}}(t) - X_{\text{вих}}(t)], \quad (6)$$

де  $A(t)$  – функція, що визначається статистичними характеристиками випадкового процесу  $\xi(t)$ ;  $n(t)$  – нестационарний випадковий процес типу «білий шум» з нульовим середнім значенням;  $Q(t)$ ,  $C(t)$  – функції, при яких забезпечується мінімум математичного сподівання квадрата випадкової похибки;  $X_{\text{вих}}(t)$  – вихідна величина системи, що повинна відповідати випадковому процесу  $\xi(t)$ .

Наприклад, диференціальному рівнянню (6) відповідає структурна схема оптимальної системи, приведена на рис.1, а. Дана структурна схема оптимальної системи є оптимальним фільтром Калмана-Б'юсі. На його вході діє сума корисного сигналу і завади, а на виході маємо вихідний сигнал  $X_{\text{вих}}(t)$ , практично позбавлений впливу завади. Оскільки процес  $\xi(t)$  є стаціонарним, то функції  $A(t)$  і  $C(t)$  є сталими  $A$  і  $C$ . Ці сталі необхідно відшукати, враховуючи, що оптимальна система є слідкуючою. Особливо це легко, коли система є одновимірною і спектральна густина корисного сигналу описується рівнянням виду (3) [10]. Виконавши ряд перетворень, випадковий процес  $\xi'(t)$ , який відтворює  $\xi(t)$ , можливо подати [10]

$$d\xi'(t)/dt = A(t)\xi'(t) + n(t), \quad (7)$$

де  $A(t) = A = -1/T_{\xi}$ .

Відповідно диференціальному рівнянню (7) можна побудувати структурну схему системи, де вхідною величиною буде стаціонарний процес  $n(t)$ , а вихідною  $X_{\text{вих}}(t) = \xi'(t) + F(t)$ .

Рівняння Ріккати для дисперсії помилки в даному випадку буде мати вигляд

$$dr(t)/dt = L + 2Ar(t) - r^2(t)/F, \quad (8)$$

де  $L$  – незмінна величина спектральної густини стаціонарного випадкового процесу типу «білого шуму»  $n(t)$ ;  $F$  – незмінна величина спектральної густини процесу  $F(t)$ .

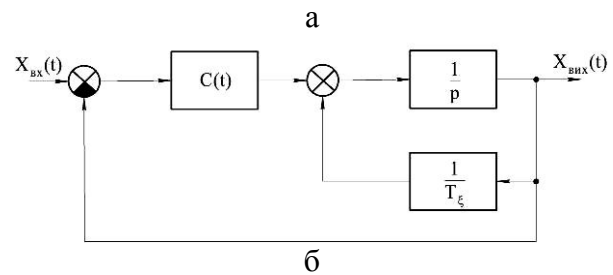
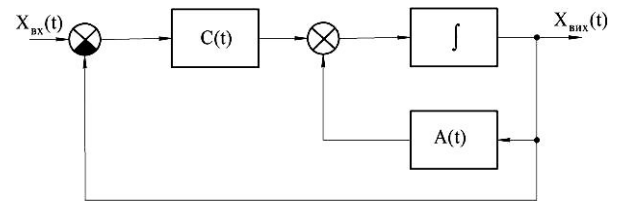


Рис. 1. Структурна схема оптимального фільтра Калмана-Б'юсі в загальному вигляді (а) і конкретизованому (б)

Для розв'язання (8) необхідно знати початкове значення  $r(t_0)$  при  $t_0 = 0$ , яке дорівнює  $\sigma_{\xi}^2$ .

Знайшовши розв'язок рівняння (8) і поклавши в ньому  $t \rightarrow \infty$ , знаходимо вираз для дисперсії похибки в усталеному режимі [10]

$$r = \frac{2\sigma_{\xi}^2}{1 + \sqrt{1 + 2\sigma_{\xi}^2 T_{\xi}' / F}} \quad (9)$$

і коефіцієнта  $C(\infty)$

$$C(\infty) = \frac{2\sigma_{\xi}^2}{F \left( 1 + \sqrt{1 + 2\sigma_{\xi}^2 T_{\xi}' / F} \right)}. \quad (10)$$

Відповідно (6) запишемо рівняння оптимального фільтра Калмана-Б'юсі

$$dX_{\text{вих}}(t)/dt = -X_{\text{вих}}(t)/T_{\xi}' + C(\infty) \times [X_{\text{вх}}(t) - X_{\text{вих}}(t)]. \quad (11)$$

Йому відповідає структурна схема оптимального фільтра Калмана-Б'юсі, показана на рис.1, б.

Виконавши перетворення відповідно рис. 1, б, отримаємо структурну схему оптимального фільтра Калмана-Б'юсі (оптимальної слідкуючої системи) для усталеного режиму роботи, яка показана на рис. 2. Оптимальний фільтр Калмана-Б'юсі необхідно реалізувати аперіодичною динамічною лан-

кою з постійною часу випадкового процесу, що характеризує корисний сигнал, та передаточним елементом  $C(\infty)$ , значення якого визначається тією ж постійною часу, дисперсією корисного сигналу та параметром завади  $F$ , накладеної на корисний сигнал.

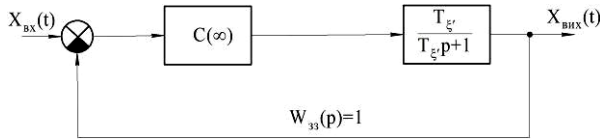


Рис. 2. Структурна схема оптимального фільтра Калмана-Б'юсі з конкретними значеннями параметрів

Оптимальний фільтр Калмана-Б'юсі (рис. 2) зі знайденою структурою і параметрами пропускає як постійну, так і змінну складову погонного навантаження матеріалу на конвеєрній стрічці, але без заводів. Повне погонне навантаження характеризує осереднений сигнал  $X_{вих}(t)$ . Оскільки цифрові фільтри можуть мати переваги, застосуємо цифрову фільтрацію сигналу  $X_{вих}(t)$ . В якості алгоритму фільтрації у даному випадку необхідно вибрати розрахунок поточного середнього значення сигналу  $X_{вих}(t)$ . При цьому на точність отриманого результату впливає часовий інтервал  $\Delta t$ , через який знімають значення випадкового процесу, розрядність обчислювального засобу та час осереднення його значень. Величина часового інтервалу  $\Delta t$  залежить від коливальності випадкового процесу, яка однозначно визначається спектральною густиною. Важливо, щоб найбільш високочастотному коливанию відповідало кілька значень випадкового процесу, які достатньо точно характеризують його середнє значення. Аналіз показує, що інтервал  $\Delta t=0,01$  с забезпечує достатньо високу точність визначення погонного навантаження на стрічці конвеєра. Час осереднення (тривалість інтегрування) сигналу визначається нижнім значенням колової частоти та помилкою знаходження параметра. Цей показник можливо відшукувати різними шляхами.

Враховуючи, що тривалість інтегрування (довжина реалізації) впливає і на точність визначення кореляційної функції, обґрунтування даного параметра виконаємо з використанням виразу (1). Оптимальну тривалість інтегрування  $2T$  визначимо шляхом знахо-

дження мінімуму дисперсії на вході цифрового фільтра. Помилку фільтрації згладжуванням можливо визначити залежністю

$$\sigma_T^2 = \sigma_x^2 - \frac{1}{T} \int_{-T}^T K_x(\tau) d\tau + \sigma_{mX}^2 + \sigma_{mF}^2, \quad (12)$$

де  $T$  – половина тривалості інтегрування;  $\sigma_x^2$  – дисперсія корисного сигналу;  $K_x(\tau)$  – кореляційна функція корисного сигналу;  $\sigma_{mX}^2$ ,  $\sigma_{mF}^2$  – дисперсії оцінки математичного сподівання корисного сигналу і завади.

Дисперсії оцінки математичного сподівання корисного сигналу і завади визначаються залежністю

$$\sigma_m^2 = \frac{1}{2T^2} \int_0^{2T} K(\tau) [2T - \tau] d\tau. \quad (13)$$

Продиференціювавши (12) з врахуванням (13), отримаємо

$$\frac{2}{T} \int_0^T K_x(\tau) d\tau - 2K_x(T) - \frac{1}{T^2} \int_0^{2T} (T - \tau) K_x(\tau) d\tau. \quad (14)$$

Дана залежність дозволяє визначити значення  $T$ . Зважаючи на незалежність поведінки експоненти і гармонічної складової в (1), задачу визначення оптимальної тривалості інтегрування випадкового сигналу можливо розбити на дві – дослідження впливу гармонічної складової і експоненти. Розв'яжемо задачу з використанням експоненти. Тоді кореляційна функція випадкового процесу буде дорівнювати

$$K_x(\tau) = \sigma_x^2 e^{-\alpha|\tau|}. \quad (15)$$

Після підстановки (15) в (14) і ряду перетворень отримаємо

$$\left( \frac{1}{\alpha T} - \frac{2\alpha T + 1}{\alpha^2 T^2} \right) e^{-2\alpha T} - 2 \left( \frac{1}{\alpha T} + 1 \right) e^{-\alpha T} + \left( \frac{1}{\alpha T} + \frac{1}{\alpha^2 T^2} \right) = 0. \quad (16)$$

Позначимо в (16)  $e^{-\alpha T} = x$ ,  $e^{-2\alpha T} = x^2$ , тоді

$$\left( \frac{1}{\alpha T} - \frac{2\alpha T + 1}{\alpha^2 T^2} \right) x^2 - 2 \left( \frac{1}{\alpha T} + 1 \right) x + \left( \frac{1}{\alpha T} + \frac{1}{\alpha^2 T^2} \right) = 0. \quad (17)$$

Розв'язавши (17) відносно  $x$  і виконавши перетворення, отримаємо

$$x = \frac{(1 + \alpha T) - \sqrt{(1 + \alpha T)^2 - \frac{1}{\alpha^2 T^2} + 1}}{(1 - \alpha T) \alpha T}. \quad (18)$$

Отже, маємо функцію (18) і  $x = e^{-\alpha T}$ . Вони мають спільний аргумент  $\alpha T$ . Тому можливо стверджувати, що (18) є апроксимуючою функцією для  $x = e^{-\alpha T}$ . Дані залежності приведені на рис. 3. Аналіз виразу показує, що при  $\alpha T=1$  відбувається розрив функції. При інших значеннях аргумента вона плавно змінюється. При малих значеннях аргументу  $\alpha T$  (рис. 3, а) графіки не співпадають. Майже співпадіння відбувається десь після  $\alpha T=20$  (рис. 3, б). Практично відсутня різниця між значеннями кривих буде при  $\alpha T=100$ . Знаючи значення параметра  $\alpha$  кореляційної функції (1) випадкового процесу з співвідношення  $\alpha T=100$  визначаємо  $T$ , а потім  $2T$  – тривалість інтегрування.

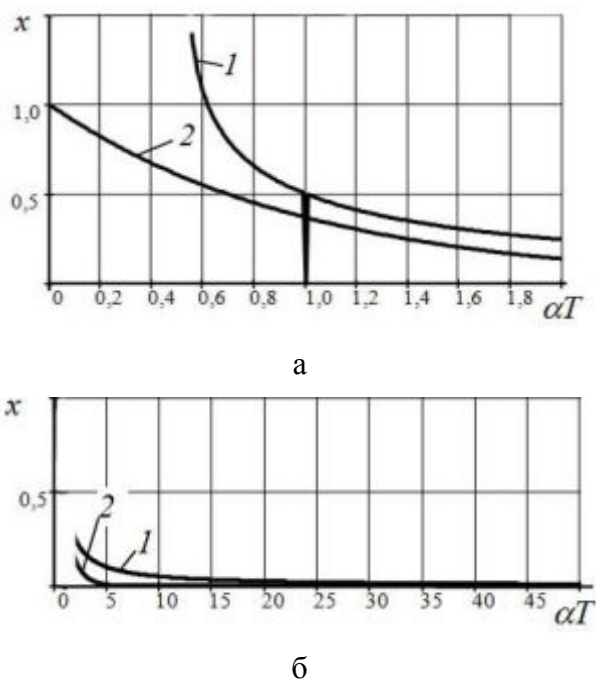


Рис. 3. Залежність основної (2) і апроксимуючої (1) функції від  $\alpha T$  при малих (а) та великих (б) значеннях аргументу

Реалізація цифрового фільтра випадковій процесі на вході переводить у невідповідності функції часу зі східчастою зміною сигналу, визначеного з високою точністю. Цей сигнал, що характеризує погонне навантаження конвеєрної стрічки, дозволяє знаходити шляхом перемноження на значення швидкості масову витрату матеріалу з великою точністю. Тривалість інтегрування при визначенні швидкості конвеєрної стрічки доцільно прийняти таку ж, як при оцінюванні погонного навантаження. Сказане дозволяє запро-

понувати функціональну схему електричної частини конвеєрних вагів, яка показана на рис. 4. Для реалізації принципової схеми електричної частини конвеєрних вагів добре підходить швид-кодуючий 16-розрядний мікроконтролер типу MSP430F1611PM.

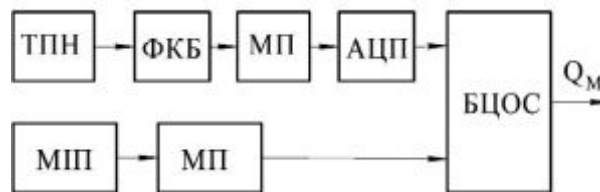


Рис. 4. Функціональна схема електричної частини конвеєрних вагів:

ТПН – тензометричний перетворювач навантаження; ФКБ – оптимальний фільтр Калмана-Б'юсі; МІП – магнітоіндукційний перетворювач; МП – масштабуючий підсилювач; АЦП – аналогово-цифровий перетворювач; БЦОС – блок цифрової обробки сигналів

В умовах рудозбагачувальної фабрики перевірялися на точність дві версії електричних частин конвеєрних вагів – існуюча і запропонована. На пружному елементі вагоприймального пристрою конвеєрних вагів наклеювалися аналогічні за типами тензоперетворювачі. На одному комплекті тензоперетворювачів було реалізовано традиційний підхід, але на засобах мікропроцесорної техніки. Швидкість конвеєрної стрічки вимірювалась тахогенератором. Миттєві значення погонного навантаження перемножувалися зі значеннями вихідного сигналу тахогенератора. Результати фіксувалися. На іншому комплекті тензоперетворювачів була реалізована запропонована схема електричної частини конвеєрних вагів. Випробування проводились одночасно, одночасно фіксувалися результати. В процесі обробки експериментальних даних встановлено, що середнє квадратичне відхилення результату вимірювання традиційним підходом склало 1,15 %, а запропонованим – 0,26 %, що підтверджує теоретичні висновки.

**Висновки та перспективи подальших розробок.** Найбільш розповсюджені конвеєрні ваги з одним опорним роликом не забезпечують точності вимірювання витрати сипкого матеріалу, яка стверджується заво-

дами–виробниками. Удосконалення вагів здійснюють впровадженням двоканальності у їх механічній частині. Показано, що точність простих і надійних конвеєрних вагів з одним опорним роликком низька в основному не з причин розташування матеріалу на стрічці та недоліків у механіці, а недосконалості їх електричної частини. Вперше запропоновано в ланцюзі сигналу тензоперетворювачів навантаження встановити аналоговий фільтр Калмана-Б'юсі і цифровий фільтр навантаження, а в ланцюзі сигналу швидкості – високочутливий імпульсний магнітоіндукційний перетворювач і цифровий фільтр швидкості, забезпечивши їх однаково тривалість інтегрування перед перемноженням. Обґрунтовані структура і параметри фільтрів. Експериментальна перевірка показала переваги нового підходу. При одному і тому ж матеріалі, який пройшов через конвеєрні ваги, середнє квадратичне відхилення за традиційним підходом склало 1,15 %, за запропонованим – 0,26 %. Практична значущість виконаного дослідження полягає в тому, що забезпечена необхідна точність конвеєрних вагів без зміни механічної частини порівняно простим удосконаленням лише вимірювальної схеми.

Перспективою подальших розробок є створення конвеєрних вагів даного типу для умов рудозбагачуваних фабрик та автоматизація на їх основі завантаження ба-рабанних млинів матеріалом.

#### Список використаної літератури

1. Измельчение. Энергетика и технология / [Пивняк Г. Г., Вайсберг Л. А., Кириченко В. И. и др.] – М. : Изд. дом «Руда и Металлы», 2007. – 296 с.
2. Сазонов Г. Т. Программно–технические комплексы для автоматизированных систем управления технологическими процессами переработки минерального сырья / Г. Т. Сазонов, О. Н. Тихонов // Обогащение руд. – М. : Изд. дом «Руда и Металлы». – 2006. – № 5. – С. 29 – 31.
3. Маляров П. В. Основы интенсификации процессов рудоподготовки / П. В. Маляров. – Ростов-на-Дону : ООО «Ростиздат». – 2004. – 320 с.
4. Пат. 59644 Україна. МПК 7 B03B11/00, B02C25/00. Спосіб автоматичної стабілізації розрідження пульпи в млинах з циркулюючим навантаженням / Кондратець В. О., Сербул О. М.; заявник і патентовласник Кіровоградський національний технічний університет. – № 2002118758; заявл. 05.11.02; опубл. 15.04.2005, Бюл. № 4.
5. Троп А. Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик / А. Е. Троп, В. З. Козин, Е. В. Прокофьев. – М. : Недра, –1987. – 303 с.
6. Пат. 2289797 С1 Российская федерация, МПК G01G11/00. Конвейерные весы / Донис В. К., Буднев М. Н., Бочаров А. В., Кисурин Д. В., Рачковский А. Е. (RU); заявитель и патентообладатель Закрытое акционерное общество «Энерпром-Электроникс» (RU). – № 2005119620/28; заявл. 24.06.05; опубл. 20.12.06. Бюл. № 35.
7. Мальцев Н. Е. Новые модификации приборов и средств автоматизации для обогащения, металлургии и экологии (по материалам семинара) [Текст] / Н. Е. Мальцев, Б. И. Смирнов, Б. В. Рабинович // Цветные металлы. – М. : Изд. дом «Руда и Металлы». – 1999. – № 12. – С. 84 – 87.
8. Совершенствование средств автоматического учета горной массы в конвейерных системах / В. К. Донис, А. В. Бочаров, А.А. Малинин [и др.] // Горный журнал. – М. : Изд. дом «Руда и Металлы». – 2001. – № 8. – С. 74 – 77.
9. Певзнер Л. Д. Теория систем управления:[учебн. пособ. для студ. вузов] / Л. Д. Певзнер. – М. : Изд-во МГГУ.– 2002. – 470 с.
10. Теория автоматического управления. Ч.II. Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления: [учебное пособие для студ. вузов] / [Бабаков Н. А., Воронов А. А., Воронова А. А. и др.]; под ред. А. А. Воронова. – М. : Высш. школа. – 1977. – 288 с.

Отримано 20.02.2014

## References

1. Pivnjak G.G., Vajsberg L.A., Kirichenko V.I. i dr. Izmel'chenie. Jenergetika i tehnologija [Grinding. Power Engineering and Technology]. (2007), *Posobie Dlja Vuzov*, Moscow, Russian Federation, *Izdatel'skij dom "Ruda i Metally" Publ.*, 296 p. (In Russian).
2. Sazonov G.T., and Tihonov O.N. Programmno-tehnicheskie komplekсы dlja avtomatizirovannyh sistem upravlenija tehnologicheskimi processami pererabotki mineral'nogo syr'ja [Software and Hardware for Automated Process Control Systems Mineral Processing], (2006), *Obogashhenie rud.*, Moscow, Russian Federation, *Izdatel'skij dom "Ruda i Metally" Publ.*, No. 5, pp. 29 –31 (In Russian).
3. Maljarov P.V. Osnovy intensivifikacii processov rudopodgotovki [Basics of ore Dressing Process Intensification], (2004), Rostov on Don, Russian Federation, *OOO "Rostizdat" Publ.*, 320 p. (In Russian).
4. Kondratec' V.O., and Serbul O.M. Sposib avtomatichnoi' stabilizacii' rozridzhennja pul'py v mlynah z cyrkuljujuchym navantazhennjam [A Method of Automatic Stabilization Dilution of the Pulp Mill Circulating Load]. Patent 59644 Ukraїna. MPK 7 B03B11/00, B02C25/00. Zajavnyk i patentovlasnyk Kirovogradsk'kyj nacional'nyj tehničnyj universytet. – No. 2002118758; zajavleno 05.11.02; opublikovano 15.04.2005, Bjul. No. 4. (In Ukrainian).
5. Trop A.E., Kozin V.Z., and Prokof'ev E.V. Avtomaticheskoe upravlenie tehnologicheskimi processami obogatitel'nyh fabrik [Automatic Control of Technological Processes Enrichment Factories], (1987), Moscow, Russian Federation, *Nedra Publ.*, 303 p. (In Russian).
6. Donis V.K., Budnev M.N., Bocharov A.V., Kisurin D.V., and Rachkovskij A.E. (RU). Konvejernye vesy. [Conveyor Scales]. Patent 2289797 C1 Rossijskaja Federacija, MPK G01G11/00. Zajavitel' i Patentoobladatel' Zakrytoe Akcionernoe Obshestvo "Jenerprom-Jelektroniks" (RU), No. 2005119620/28; zajavl. 24.06.05; opubl. 20.12.06. Bjul. No. 35 (In Russian).
7. Mal'cev N.E., Smirnov B.I., and Rabino-vich B.V. Novye modifikacii priborov i sredstv avtomatizacii dlja obogashhenija, metallurgii i jekologii [New Modifications of Instruments and Automation Equipment for Enrichment, Metallurgy and Ecology], (1999), *Cvetnye metally*, Moscow, Russian Federation, *Izdatel'skij dom "Ruda i Metally" Publ.* No. 12, pp. 84 – 87 (In Russian).
8. Donis V.K., Bocharov A.V., Malinin A.A. i dr. Sovershenstvovanie sredstv avtomaticheskogo ucheta gornoj massy v konvejernyh sistemah [Perfection Means Automatic Account of the Rock Mass in Conveyor Systems], (2001), *Gornyj zhurnal*, Moscow, Russian Federation, *Izdatel'skij dom "Ruda i Metally" Publ.*, No. 8, pp. 74 – 77 (In Russian).
9. Pevzner L.D. Teorija sistem upravlenija [Theory of Control Systems], (2002), *Uchebnoe posobie dlja studentov vuzov*, Moscow, Russian Federation, *MGGU Publ.*, 470 p. (In Russian).
10. Babakov N.A., Voronov A.A., Voronova A.A. i dr. Teorija avtomaticheskogo upravlenija. Ch.II. Teorija nelinejnyh i special'nyh sistem avtomaticheskogo upravlenija. [Automatic Control Theory. P.II. The theory of Nonlinear and Special Automatic Control Systems], (1977), *Uchebnoe posobie dlja studentov vuzov*. Moscow, Russian Federation, *Vysshaja shkola Publ.*, 288 p. (In Russian).



Кондратець Василь  
Олександрович,  
канд. техн. наук, проф.  
каф. автоматизації вироб-  
ничих процесів Кірово-  
градського нац. технічно-  
го ун-ту,  
25030, м. Кіровоград, вул.  
Волкова, 10, корп. 4, кв. 72.  
Тел.+38 (0522) 56-70-91  
E-mail: matsuyan@mail.ru