

УДК 681.17

## **ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОЧНОСТІ ОДНОРОЛИКОВИХ СТАЦІОНАРНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ РУХОМОЇ МАСИ СИПКИХ СЕРЕДОВИЩ**

*\*Кондратець В.О., Сербул О.М.*

*Кіровоградський національний технічний університет, 25006, м. Кропивницький, просп. Університетський, 8*

*Метою роботи є забезпечення необхідної точності одноролікових стаціонарних систем контролю рухомої маси сипких середовищ шляхом удосконалення системних засобів. Дослідження виконувалися методом декомпозиції системи на окремі незалежні складові та аналізу і забезпечення точності їх роботи з наступним об'єднанням окремих частин у єдине ціле. Встановлено, що підсистема вантажоприймання не потребує удосконалення. Розроблено підхід визначення швидкості руху конвеєрної стрічки з великою точністю, коли на один метр пройденого стрічкою шляху формується 200...400 імпульсів. Систему перемноження сигналів звільнено від вад застосуванням 16-розрядних мікропроцесорних засобів і 12-розрядних аналого-цифрових перетворювачів у ланцюзі формування сигналу погонного навантаження. Показано, що перемноження випадкових сигналів породжує похибку вимірювання як і застосування електромашинних підходів. Наукова новизна полягає в тому, що вперше запропоновано фільтрувати сигнали погонного навантаження і швидкості руху конвеєрної стрічки з визначенням середніх значень впродовж встановленого відрізка часу перед їх перемноженням. Практичне значення полягає у створенні достатньо простих, дешевих і точних конвеєрних вагів, що підвищить якість керування технологічними процесами.*

*Ключові слова: конвеєрні ваги, похибка, декомпозиція, підсистеми, удосконалення, мікропроцесорні засоби.*

*Целью работы является обеспечение требуемой точности однороліковых стационарных систем контроля подвижной массы сыпучих сред путем усовершенствования системных средств. Исследования выполнялись методом декомпозиции системы на отдельные независимые составляющие, анализа и обеспечения точности их работы с последующим объединением отдельных частей в единое целое. Установлено, что подсистема грузоприёма не требует усовершенствования. Разработан подход определения скорости движения конвейерной ленты с большой точностью, когда на один метр пройденного лентой пути формируется 200...400 импульсов. Систему перемножения сигналов избавлено от недостатков применением 16-разрядных микропроцессорных средств и 12-разрядных аналого-цифровых преобразователей в цепи формирования сигнала погонной нагрузки. Показано, что перемножение случайных сигналов порождает погрешность измерения как и применение электромашинных подходов. Научная новизна заключается в том, что впервые предложено фильтровать сигналы погонной нагрузки и скорости движения конвейерной ленты с определением средних значений в течение установленного отрезка времени перед их перемножением. Практическое значение состоит в создании достаточно простых, дешевых и точных конвейерных весов, что повысит качество управления технологическими процессами.*

*Ключевые слова: конвейерные весы, погрешность, декомпозиция, подсистемы, усовершенствование, микропроцессорные средства.*

*The aim of the work is to provide the required accuracy of single-roller stationary monitoring systems for the mobile mass of granular matter by improving system facilities. The study was carried out by decomposing the system into separate independent components, analyzing and ensuring the accuracy of their work with the subsequent integration of individual parts into a single whole. It is established that the cargo handling subsystem does not require improvement. An approach is being developed to determine the speed of the conveyor belt with high accuracy, when 200...400 pulses are formed per meter of the path traveled by the belt. The signal multiplication system is eliminated using 16-bit microprocessor means and 12-bit analog-to-digital converters in the signal conditioning circuit. It is shown that with the multiplication of random signals, a measurement error occurs, as well as the application of approaches to electric machines. Scientific novelty lies in the fact that for the first time it was suggested to filter the signals of the workload and the speed of the conveyor belt with the determination of the average values*

during the set time interval before multiplying them. Practical value consists in creation of rather simple, cheap and exact conveyor scales that will raise quality of management of technological processes.

Keywords: conveyor scales, error, decomposition, subsystems, improvement, microprocessor means

**Вступ.** В Україні виробляється значна кількість магнетитового концентрату, який споживається вітчизняною чорною металургією, а також значна його кількість експортується. Сировиною для магнетитових концентратів слугують бідні залізні руди, які збагачуються, що потребує їх подрібнення до розкриття магнетитових вкраплін. Невеликі вкраплини магнетиту та низький його вміст потребують значних енерговитрат на подрібнення вихідної руди. Значні перевитрати електроенергії та матеріалів при подрібненні вихідної руди, особливо в перших стадіях, підвищують собівартість кінцевої продукції – концентрату, що ставить у не рівні умови вітчизняних і закордонних виробників цієї продукції на світовому ринку. Ефективність рудопідготовки можливо значно покращити при розв'язанні цієї проблеми. Враховуючи це, дану публікацію спрямовано на виконання Галузевої програми енергоефективності та енергозбереження на період до 2017 р., затвердженої наказом Міністерства промислової політики України № 152 від 25.02.2009 року в частині гірничо-металургійного комплексу та наукової тематики Кіровоградського національного технічного університету в частині теми "Комп'ютеризована система ідентифікації завантаження кульового млина при управлінні подрібненням руди" (0109U007939).

Вважають [1], що одним з найбільш ефективних шляхів зменшення перевитрат в рудопідготовці є підвищення ефективності автоматизації даних технологічних процесів. Автоматизацією перших стадій подрібнення руди займаються давно як зарубіжні, так і вітчизняні вчені, однак тут ще не вичерпані всі наявні резерви. Головним у розвитку автоматизації перших стадій подрібнення руди виступає відсутність ряду надійних і достатньо точних інформаційних засобів. На це вказано в роботах [1, 2]. На необхідність засобів вимірювання витрати продуктів збагачення звертається увага в роботі [3]. Проблемна ситуація склалася і з конвеєрними вагами – попередні розробки не гарантують отримання об'явленої точності, а нові розробки мають достатньо ускладнену конструкцію і відрізняються високою вартістю. Оскільки дана публікація спрямована на розв'язання цієї задачі, її тема є актуальною.

**Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень і публікацій.** Конвеєрні ваги розробляються достатньо давно і як технічні системи пройшли кілька етапів

розвитку. Найбільш простими і достатньо точними стали пристрої з одним опорним роликком, зв'язаним з пружним елементом, на якому встановлюються тензочутливі перетворювачі. Вони перетворюють зусилля в електричний сигнал. На збагачувальних фабриках найбільше розповсюдження з цього класу отримали конвеєрні ваги ЕТВ-2. Заводи, що їх виготовляли, об'явили їх відносну похибку  $\pm 1\%$ . Згодом, з розвитком засобів градування конвеєрних вагів, було встановлено, що ЕТВ-2 об'явлену точність не витримують. Вихід почали відшукувати в розробці нових конструкцій конвеєрних вагів.

Новим рішенням став перехід до механічної системи з двома опорними роликами і двома вимірювальними каналами [4]. Паралельно створюються способи і пристрої їх градування та перевірки. Порівняння показують, що в цей час ваги в гірничо-металургійній галузі промисловості у економічно розвинутих країнах мають однакові характеристики [5]. Самими досконалими сучасними вимірювальними системами можливо рахувати двоканальні конвеєрні ваги ЕКВ-4Д і принципово новий непрямий спосіб, що реалізується у робочому режимі, їх градування і перевірки [6]. В той же час слід відмітити, що дані конвеєрні ваги значно складніші, більш вартісні, менш надійні та зручні в експлуатації.

Отже, слід відмітити, що в останні роки увага в основному приділяється двоканальним пристроям, удосконаленню механічної частини конвеєрних вагів. Електрична частина крім здебільшого формального переводу на мікропроцесорні засоби залишалася незмінною. Тому в роботі [7] підкреслено, що виконання реєструючої апаратури на базі сучасної мікропроцесорної техніки вирішального впливу на точність конвеєрних вагів не здійснює, підвищення класу точності й надійності не відбувається. Враховуючи відмічене, недоцільно виводити з використання однороликові конвеєрні ваги, які пройшли виробничі випробування десятиліттями, отримали широке розповсюдження в наслідок своєї простоти, надійності, невеликої вартості та зручності обслуговування. Підвищувати ефективність однороликових конвеєрних вагів необхідно на основі глибокого аналізу недоліків та системного зменшення їх впливу на точність вимірювання витрати рухомого матеріалу.

**Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми.** При контролі рухомої маси сипких середовищ вимірюють погонне навантаження матеріалу на базовій довжині

конвеєрної стрічки, швидкість її переміщення з наступним перемножуванням цих величин. Дані операції у вагах ЕТВ-2 виконуються аналоговими технічними засобами, але їх вплив на результат вимірювання витрати рухомого сипкого матеріалу ніхто не вивчав і не запроваджував заходи щодо його зменшення або ліквідації. Такі дослідження не проводились і стосовно інших підходів покращення вимірювальних характеристик однороликкових конвеєрних вагів.

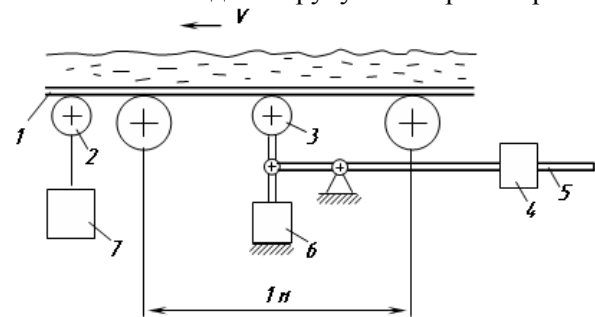
**Мета роботи.** Метою даної роботи є забезпечення необхідної точності однороликкових стаціонарних систем контролю рухомої маси сипких середовищ шляхом удосконалення системних засобів.

Поставлена мета досягалася методом декомпозиції системи на окремі незалежні складові та аналізі і забезпеченням точності їх роботи з наступним об'єднанням окремих частин у єдине ціле.

**Основний матеріал дослідження.** Першими широко розповсюдженими конвеєрними вагами, які в промисловості використовувалися, були механічні пристрої типу ЛТМ. Вони містять вантажоприймальну платформу з двома роликами, головний важіль, передавальний важіль, демпфер, накладний вантаж, квадрант, каретку інтегратора, ролик каретки, поводок ролика, диск, приводний ролик, зубчатий диференціал, сельсин показчика продуктивності, показчик продуктивності, сельсин лічильника і лічильник, які визначають і дистанційно передають значення продуктивності конвеєра та сумують показання. Всі операції тут здійснюються механічними засобами. Величина погонного навантаження визначається положенням каретки відносно нерухомої направляючої. Крім того, ваги містять фрикційну пару, яка створюється роликом і диском, що обертається. В роботі ролик зміщується від центра диска до периферії і навпаки. Швидкості ролика і диска сумуються зубчастим диференціалом. Недоліком цих конвеєрних вагів є складність механічної частини, ненадійність роботи фрикційної пари та її вплив на точність вимірювання, необхідність частого налагодження, забезпечення рівномірності завантаження стрічки матеріалом. [8]. Все це негативно впливає на точність вимірювання масової витрати матеріалу.

Ваги ЕТВ-2 відкрили нову еру в розробці цих технічних засобів. Вони призначені для неперервного вимірювання миттєвої продуктивності стрічкового конвеєра, сумарного обліку та ресстрації маси переміщеного сипкого матеріалу. Проаналізуємо їх особливості і характеристики. Технологічна схема установки вантажоприймального пристрою і засобу вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки приведена на рис. 1.

Вантажоприймальний пристрій конвеєрних вагів (рис. 1) являє собою одиничну роликкоопору 3 з противагою 4, яка може переміщуватись вздовж гвинта 5 і таким чином забезпечувати зрівноваження механічної системи вагів при роботі конвеєра без навантаження. Тиск, пропорційний масі вантажу на вимірюваній ділянці конвеєрної стрічки 1, передається через п'яту на перетворювач навантаження 6 виконаний у вигляді кільцевого пружного елемента, на внутрішній поверхні якого наклеєні тензорезистори, з'єднані у мостову вимірювальну схему. Засіб вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки встановлюється окремо. Швидкість руху конвеєрної стрічки 1 перетворюється у відповідні обертові рухи ролика 2, який контактує з нею. Ролик 2, зв'язаний з тахогенератором 7, обертає його явір. Вихідна напруга тахогенератора постійного струму пропорційна швидкості обертання якоря або лінійній швидкості руху конвеєрної стрічки.



**Рисунок 1 – Вантажоприймальний пристрій і засіб вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки вагів ЕТВ-2.**

Принципова схема електротензорезисторних вагів ЕТВ-2 показана на рис. 2 [9]. Тензорезисторний міст перетворювача погонного навантаження  $Pq$  і міст блока компенсації ВК живляться від обмоток  $W2$  і  $W3$  трансформатора  $Tr$ . Виходи мостів ввімкнені послідовно і зустрічно на вхід електронного підсилювача  $P$ . При появі напруги неузгодження  $\Delta U$  реверсивний двигун  $D$  типу PD-09 починає обертати ротор, переміщуючи движок реохорда  $R_D$  в мості блока компенсації. Одночасно двигун  $D$  переміщує движок перемножачого потенціометра  $R1-R2$ , який живиться від тахогенератора  $TG$  напругою  $U_T$ , що пропорційна швидкості руху стрічки конвеєра. Напруга з виходу цього потенціометра  $U_1 = V_p/L$  неперервно інтегрується лічильником  $L$  магнітоелектричної системи, лічильний механізм якого  $LM$  показує наростаючу масу матеріалу, що пройшов через вимірювальну систему. Установка "нуля" виконується резистором  $R_H$ . Резистор  $R4$  слугує

для установки чутливості компенсатора, а резистор  $R_3$  – для зміни ціни поділок шкали лічильного механізму.

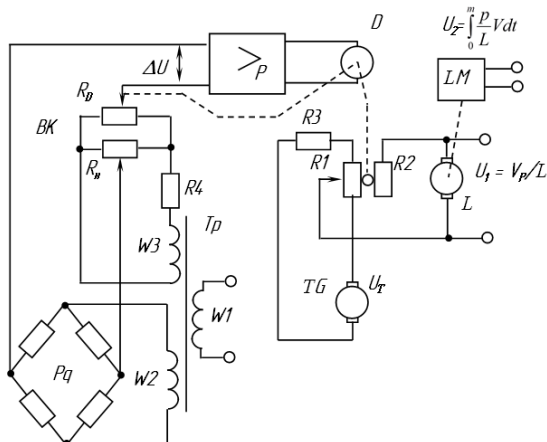


Рисунок 2 – Принципова схема електротензорезисторних вагів ЕТВ-2.

З розглянутого видно, що ваги ЕТВ-2 можливо подати трьома практично незалежними підсистемами – вантажоприймання; вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки; перемноження погонного навантаження на швидкість руху і обробки результуючого сигналу.

Досвід експлуатації конвеєрних вагів показав, що на точність вимірювання впливають різні фактори. Особливим є степінь нерівномірності розташування матеріалу на конвеєрній стрічці, оскільки на даний процес впливає безліч величин, що змінюються в процесі транспортних операцій. Крім того, до вад конвеєрних вагів відносять коливання натягу стрічки та зміну її жорсткості, зміну швидкості руху конвеєрної стрічки в межах 2...3 % [9]. Використання в ЕТВ-2 трьох реохордів знижує як точність, так і надійність вимірювання. Негативно на результат вимірювання впливають і сталі часу електродвигунів.

Розглянемо, як вказані вади конвеєрних вагів ЕТВ-2 відносяться до окремих їх підсистем. На підсистему вантажоприймання впливають нерівномірність розташування матеріалу на конвеєрній стрічці, коливання натягу стрічки та зміна її жорсткості. Підсистема вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки піддана впливу коливань швидкості в межах 2...3 % та сталої часу тахогенератора. Підсистема перемноження погонного навантаження на швидкість руху і обробки результуючого сигналу знаходиться під дією усіх відмічених факторів. Проаналізуємо стан кожної з підсистем під дією вказаних факторів.

Підсистема вантажоприймання виконана з реалізацією вимог, які забезпечують найкращі

показники використання тензорезисторних перетворювачів [10]. Їх застосовують у аналогічних сучасних засобах інших країн [3] і в інших сучасних інформаційних засобах – перетворювачах тиску та ін. Використання у вантажоприймальних пристроях конвеєрних вагів тензорезисторних перетворювачів забезпечує ряд переваг. Зокрема, вони мають невеликі габарити та вагу, відрізняються простотою конструкції, стабільністю показань, можливістю використання в тяжких умовах навколишнього середовища. Вони мають незначну нелінійність (не вище 0,1 %), високу надійність, стабільність нуля та коефіцієнта перетворення, легкість балансування у схемах, що автоматично зрівноважуються [11]. Основна приведена похибка вимірювання навантаження складає  $\pm 0,5\%$ . Елемент, на який наклеюються перетворювачі (месдоза), і тензометричний вимірювач деформації є безінерційними динамічними ланками [12], тобто, перетворюють змінний сигнал погонного навантаження без спотворень. Вплив коливання натягу стрічки та зміни її жорсткості можливо легко усунути застосуванням відомих технічних рішень – натягуванням за допомогою вантажу певної маси і налагодженням нуля при розвантаженій конвеєрній стрічці, яке в даних вагах легко виконати автоматичним. Отже, підсистема вантажоприймання конвеєрних ваг ЕТВ-2 повністю відповідає сучасним вимогам, забезпечуючи точну передачу невикривленого сигналу, і тому не потребує удосконалення.

Підсистема вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки знаходиться дещо в інших умовах. Швидкість руху конвеєрної стрічки може бути пульсуючою в межах 2...3 %. Вимірюється швидкість руху конвеєрної стрічки тахогенератором постійного струму. Його передаточна функція дорівнює

$$W_{TG}(p) = \frac{\bar{U}_{TG}}{n_{TG}} = \frac{k_{TG}}{T_{TG} \cdot p + 1}, \quad (1)$$

де  $k_{TG}$ ,  $T_{TG}$  – відповідно передаточний коефіцієнт і стала часу тахогенератора;  $\bar{U}_{TG}$ ,  $n_{TG}$  – відповідно зображення за Лапласом вихідної напруги та швидкість обертання якоря тахогенератора.

При роботі тахогенератора постійного струму на активне навантаження, що відповідає умовам конвеєрних вагів (рис. 2), стала часу буде

$$T_{TG} = \frac{L_{TG}}{R_{TG} + R_H}, \quad (2)$$

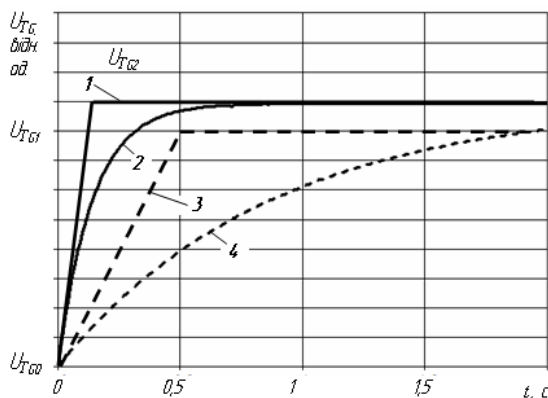
де  $L_{TG}$  – індуктивність якоря;  $R_{TG}$ ,  $R_H$  – відповідно активні опори якоря та навантаження.

Стала часу таких електричних машин

знаходиться в межах 0,5...0,15 с. Вихідна величина при східчастій зміні швидкості руху конвеєрної стрічки дорівнює

$$U_{TG}(t) = k_{TG} \left( 1 - e^{-\frac{1}{T_{TG}}t} \right) n_{TG} \cdot \quad (3)$$

Відповідно (3) на рис. 3 зображені наближені перехідні процеси в тахогенераторі при східчастій зміні швидкості руху конвеєрної стрічки. Ломана 1 відповідає ідеальному перехідному процесу при сталій часу тахогенератора 0,15 с. Звідси видно, що тахогенератор зовсім не може реагувати на зміни швидкості з частотою 11 Гц. З великими викривленнями передаються і сигнали частотою 1,5 Гц, тобто 1,5 коливання за секунду. Якщо стала часу досягає 0,5 с (ломана 3), що достатньо імовірно, то тахогенератор зовсім не реагує на два коливання за секунду і з великими викривленнями при 0,5 коливаннях за секунду. Враховуючи, що швидкість переміщення конвеєрної стрічки може бути до 2,5 м/с [3], а нерівномірність руху може здійснюватись на довжині стрічки 0,3...0,5 м, то коливання можуть відбуватися за 0,12...0,2 с або відповідати частоті 5...8,33 Гц. Це показує, що вимірювати швидкість руху конвеєрної стрічки тахогенератором у ваговимірювальних системах не доцільно. Підсистему вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки необхідно удосконалювати.



**Рисунок 3 – Наближені перехідні процеси в тахогенераторі при контролі швидкості руху конвеєрної стрічки.**

Підсистема перемноження погонного навантаження на швидкість руху стрічки конвеєра і обробки результуючого сигналу знаходиться у найбільш складних умовах роботи, оскільки на неї впливають всі збурні фактори. Для компенсації і перемноження вимірюваних величин у конвеєрних вагах використовується двофазний двигун змінного

струму. Асинхронні двофазні виконавчі двигуни типу PD-09 в таких схемах звичайно застосовують з амплітудно-фазовим керуванням. При амплітудно-фазовому керуванні з конденсатором у ланцюзі збудження передаточна функція відносно кута повороту дорівнює [12]

$$W_{PD}(p) = \frac{k_{PD}}{p(T_T \cdot p + 1)(T_M \cdot p + 1)}, \quad (4)$$

де  $k_{PD}$  – передаточний коефіцієнт;  $T_E$ ,  $T_M$  – відповідно електромагнітна й електромеханічна сталі часу. Оскільки електромагнітна стала часу  $T_E$  значно менша електромеханічної сталої часу  $T_M$ , то величиною  $T_E$  звичайно нехтують і рахують, що передавальна функція (4) електродвигуна не вміщує множника  $(T_E p + 1)$ . При такому спрощенні динаміка виконавчого двигуна визначається сталою часу  $T_M$ , яка дорівнює

$$T_M = \frac{J_p \omega_{xx}}{M_{PO}}, \quad (5)$$

де  $J_p$  – момент інерції ротора;  $M_{PO}$  – пусковий момент двигуна при номінальній напрузі на обмотці керування;  $\omega_{xx}$  – швидкість обертання ротора електродвигуна при холостому ході на номінальній напрузі керування. Величина даної сталої часу електродвигуна залежить, крім того, і від типу ротора, і від частоти струму в колі збудження. Такі малопотужні електродвигуни звичайно мають порожнистий немагнітний ротор. При частоті збудження 50 Гц стала часу електродвигуна складає 0,006...0,03 с [12]. Оскільки двигун малопотужний прийемо сталу часу  $T_M = 0,006$  с.

З врахуванням сказаного передаточна функція електродвигуна прийме вигляд

$$W_{PD}(p) = \frac{\bar{\alpha}_{PD}}{\bar{U}_{PD}} = \frac{k_{PD}}{p(T_M \cdot p + 1)}, \quad (6)$$

де  $\bar{\alpha}_{PD}$  – зображення за Лапласом кута повороту вала електродвигуна;  $\bar{U}_{PD}$  – зображення за Лапласом напруги керування електродвигуна.

Рівняння динаміки електродвигуна прийме вигляд

$$p(T_M \cdot p + 1)\bar{\alpha}_{PD} = k_{PD}\bar{U}_{PD}. \quad (7)$$

Здійснивши зворотний перехід від зображення за Лапласом до оригіналу при нульових початкових умовах і східчастому одиничному діянні на вході, отримаємо

перехідну функцію електродвигуна

$$h(t) = k_{PD} \cdot t - k_{PD} \cdot T_M \left( 1 - e^{-\frac{1}{T_M} t} \right). \quad (8)$$

де  $t$  – поточний час.

З врахуванням сталої часу рівняння (8) буде дорівнювати

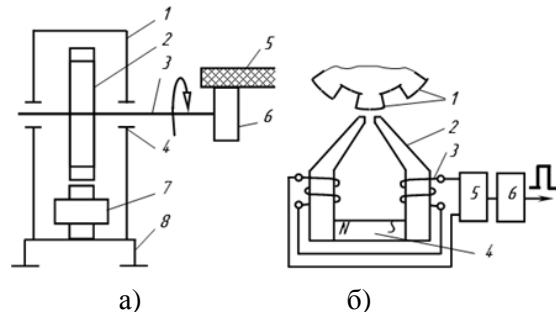
$$h(t) = k_{PD} \cdot t - 0.006 \cdot k_{PD} (1 - e^{-166.7t}). \quad (9)$$

З рівняння (9) видно, що при східчастій зміні напруги керування кут повороту ротора електродвигуна розпочне зміну з початку координат в декартовій системі. Оскільки показник експоненти великий, вона буде затухати надзвичайно швидко. Цьому сприяє і мале значення коефіцієнта перед виразом у круглих дужках. Тому можливо стверджувати, що кут повороту ротора електродвигуна при подачі на вхід східчастого діяння, починаючи з початку координат, буде змінюватись відповідно прямій  $h(t) = k_{PD} \cdot t$ . Така зміна буде відносно повільною, що не сприятиме швидкому реагуванню на динамічні процеси на вході вимірювальної схеми.

Зміна погонного навантаження сипкого матеріалу на стрічці конвеєра являє собою випадковий процес. Його коливальність однозначно визначається спектральною густиною. При його ідентифікації важливо, щоб найбільш високочастотному коливанию відповідало кілька значень випадкового процесу. Аналіз показує, що часовий інтервал  $\Delta t = 0,01$  с забезпечує достатньо високу точність визначення погонного навантаження на стрічці конвеєра. Це показує, що коливальність випадкового процесу достатньо висока. Сигнал без викривлень передає вантажоприймальна система. Потрапляючи на реохорди  $R_H$  і  $R_D$ , які мають східчасті статичні характеристики, в нього вносяться похибки. Такі ж похибки вносяться і на реохордах  $R1$ ,  $R2$ , що використані в операції перемноження сигналів. Порівняно повільне реагування виконавчого двигуна  $D$  на зміну ситуації також вносить похибку в результат вимірювання, зважаючи на швидкі зміни сигналу погонного навантаження матеріалу на конвеєрній стрічці. Вихідні сигнали погонного навантаження матеріалу на конвеєрній стрічці і тахогенератора, що вимірює швидкість руху конвеєрної стрічки, являють собою випадкові процеси зі значною коливальністю. При перемноженні цих сигналів в будь-який момент часу враховується випадкова величина як одного, так і іншого сигналу. Вони можуть лише

наближено характеризувати ці випадкові процеси. Тому при такій обробці сигналів можуть виникати достатньо великі похибки, що знижує точність конвеєрних вагів. Отже, підсистема перемноження сигналів повинна бути удосконалена з ліквідацією зазначених вад.

Підсистему вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки можливо удосконалити застосуванням магнітоіндукційного перетворювача (рис. 4, а). Він знаходиться у кожусі 1 і містить вал 3, встановлений у кульових підшипниках 4, на якому нерухомо закріплені зубчастий диск 2 і ролик 6, що приєднаний до конвеєрної стрічки 5 завдяки кріпленню 8. Зубчастий диск 2 встановлений з невеликим повітряним проміжком відносно електромагнітної системи 7.



**Рисунок 4 – Конструкція (а) і схема (б) магнітоіндукційного перетворювача швидкості руху конвеєрної стрічки.**

Ролик 6 має діаметр 31,85 мм, а зубчастий диск 2 – 76,43 мм. В процесі руху конвеєрної стрічки за один метр її довжини ролик здійснює 10 обертів разом з зубчастим диском. На зубчастому диску 2 виконано 40 зубців довжиною 3 мм і довжиною впадин 3 мм.

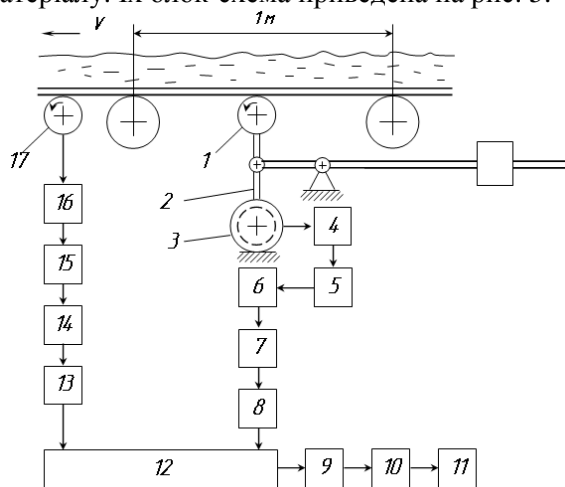
Магнітоіндукційний перетворювач (рис. 4,б) вміщує зубці 1 диска, два полюсних наконечника 2 з магнітом'якого матеріалу, обмотку 3, постійний магніт 4, амплітудний підсилювач 5 і формувач імпульсів 6.

Ширина повітряного проміжку між полюсними наконечниками та їх кромки складає відповідно по 1 мм, що в сумі дорівнює розміру окремого зубця та окремої впадини.

При проходженні зубця біля повітряного проміжку між полюсними наконечниками 2 в обмотці 3 індукується імпульс, який підсилюється амплітудним підсилювачем 5 і формується формувачем імпульсів 6. На виході пристрою виникає послідовність прямокутних імпульсів. При проходженні одного метру конвеєрної стрічки на виході перетворювача створюється 400 імпульсів.

Удосконалити підсистему перемноження погонного навантаження на швидкість руху конвеєрної стрічки можливо застосуванням засобів мікропроцесорної техніки, однак з врахуванням належної обробки сигналів, що є випадковими функціями. Аналіз показав, високої точності можливо досягти лише використовуючи аналого-цифрові перетворювачу (АЦП) не нижче 12-розрядних, а мікроконтролери – 16-розрядних [13].

Ліквідувавши виявлені недоліки в окремих підсистемах і об'єднавши їх в єдине ціле, отримаємо конвеєрні ваги, які гарантовано будуть забезпечувати необхідну точність вимірювання масової витрати сипкого матеріалу. Їх блок-схема приведена на рис. 5.



**Рисунок 5 – Блок-схема удосконалених конвеєрних вагів для вимірювання витрати сипкого матеріалу.**

Одинична ролюкоопора 1 сприймає зусилля, прикладене матеріалом на одному метрі довжини конвеєрної стрічки. При відсутності матеріалу на конвеєрі тиск створює лише один метр довжини конвеєрної стрічки, який компенсується противагою. Завдяки цьому на одиничну ролюкоопору 1 при роботі діє лише сипкий матеріал, розташований на одному метрі довжини стрічки. Це зусилля передається на перетворювач навантаження 2, який деформує кільцевий пружний елемент 3. Тензорезистори, ввімкнуті у мостову схему 4, змінюють свій стан і на її виході з'являється напруга, пропорційна погонному навантаженню матеріалу на конвеєрній стрічці. Вихідний сигнал мостової схеми 4 амплітудно перетворюється масштабуючим підсилювачем 5 і аналого-цифровим перетворювачем 6 у цифрову форму. Цифровий фільтр 7 впродовж встановленого відрізка часу, який визначається нерівномірністю розподілу матеріалу на

конвеєрній стрічці, осереднює сигнал, що надходить. Після осереднення фільтром 7 сигнал не залежить від пульсацій і точно характеризує погонне навантаження на конвеєрній стрічці, яке запам'ятовується елементом пам'яті 8.

Швидкість руху конвеєрної стрічки сприймається контактним роликком 17, який встановлено на осі і змонтовано на підшипниках, що передає обертові рухи на перетворювач швидкості 16.

Імпульсний сигнал, пропорційний швидкості конвеєрної стрічки, перетворюється масштабуючим підсилювачем 15 і передається на цифровий фільтр 14. Цифровий фільтр 14 на протязі встановленого відрізка часу, який визначається характером зміни швидкості конвеєрної стрічки осереднює сигнал. Він точно відповідає середній швидкості руху конвеєрної стрічки за розглянутий відрізок часу. Тривалість фільтрування в обох каналах приймають однаковою. Вона дорівнює більшому значенню серед двох вимірюваних каналів. Визначене середнє значення швидкості конвеєрної стрічки фіксується елементом пам'яті 13.

Помножувачем 12 визначається добуток сигналів, занесених в елементи пам'яті 8 і 13, який запам'ятовується елементом пам'яті 9 і характеризує масову витрату матеріалу на конвеєрній стрічці. Через засіб виведення інформації 10 результат вимірювання передається на пристрій реєстрації 11. Після закінчення тривалості поточного цифрового фільтрування сигналів і їх запам'ятовування елементами пам'яті 8, 9, 13 розпочинається повторний такий же цикл. На пристрої реєстрації інформація обмінюється через кожний встановлений відрізок часу, відведений для фільтрування сигналів поточного навантаження і швидкості конвеєрної стрічки.

У даних конвеєрних вагах, як видно з розглянутого, ліквідовані всі відмічені недоліки, притаманні попередній конструкції. Експериментальна перевірка даних конвеєрних вагів показала, що вони в умовах змінного навантаження і швидкості руху стрічки забезпечують відносну похибку вимірювання маси сипкого матеріалу, яка не перевищує  $\pm 1,0\%$ . Розроблені однороликові конвеєрні ваги захищені патентом України [14].

## ВИСНОВКИ

Декомпозицією конвеєрних вагів предмет дослідження представлено трьома практично незалежними підсистемами, що дозволило детально аналізувати їх вади і переваги. Встановлено, що підсистема вантажоприймання відповідає сучасним вимогам і її немає необхідності удосконалювати. Вади підсистеми вимірювання швидкості руху конвеєрної стрічки і підсистеми перемноження

погонного навантаження на швидкість руху стрічки приводять до зниження точності визначення масової витрати сипкого матеріалу і тому потребують удосконалення.

Оскільки втрати точності вимірювання масової витрати сипкого матеріалу від похибки визначення швидкості руху конвеєрної стрічки великі, розроблено підхід її визначення з великою точністю як в статичних, так і динамічних умовах, коли на один метр пройденого шляху формується 200...400 імпульсів. Від вад, притаманних підсистемі перемноження сигналів, конвеєрні ваги позбавлено застосуванням 16-розрядних мікропроцесорних засобів і 12-розрядних аналого-цифрових перетворювачів у ланцюзі формування сигналу погонного навантаження.

Враховуючи те, що сигнали швидкості руху конвеєрної стрічки і погонного навантаження сипкого матеріалу на ній являють собою випадкові процеси, показано, що їх перемноження породжує похибку вимірювання. Суттєвим теоретичним внеском є і те, що аргументовано показана неможливість у динамічних умовах застосовувати електромашинні методи для визначення швидкості руху конвеєрної стрічки та перемноження сигналів.

Наукова новизна виконаної роботи полягає в тому, що вперше запропоновано в динамічних умовах вимірювання фільтрувати сигнали погонного навантаження і швидкості руху конвеєрної стрічки з визначенням середніх значень впродовж встановленого відрізка часу перед їх перемноженням.

Практичне значення роботи полягає в тому, що з врахуванням результатів дослідження вдалося отримати достатньо прості і дешеві однороликові конвеєрні ваги, які гарантують відносну похибку вимірювання, що складає 1 %. Це дозволить суттєво підвищити якість автоматичного керування технологічними процесами та отримувати більш якісну вихідну продукцію.

Напрями подальшого дослідження можуть бути зв'язані з обґрунтуванням параметрів обробки сигналу погонного навантаження в конкретних технологічних процесах та розробкою конструкції окремих вузлів конвеєрних вагів.

1. Измельчение. Энергетика и технологии //Пивняк Г.Г., Вайсберг Л.А., Кириченко В.И. и др.]. – М.: Изд. дом "Руда и Металлы", 2007. – 296 с. 2. Купін А.І. Інтелектуальна ідентифікація та керування в умовах процесів збагачувальної технології /А.І. Купін. – Кривий Ріг: Вид-во КТУ, 2008. – 204 с. 3. 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. 4. Пат. 2289797 С1 Российская федерация, МПК G01G 11/00. 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. 5. 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. 6. 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. 7. Маляров П.В. Основы идентификации процессов рудоподготовки /П.В. Маляров. – Ростов-на-Дону: ООО "Ростиздат", 2004. – 320 с. 8. Автоматизация управления обогатительными фабриками [Кошарский Б.Д., Ситковский А.Я., Красномовец А.В. и др.]. – М.: Недра, 1977. – 527 с. 9. Троп А.Е. Автоматическое управление технологическими процессами обогатительных фабрик /Троп А.Е., Козин В.З., Прокофьев Е.В. – М.: Недра, 1986. – 303 с. 10. Нуберт Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. Введение в теорию, расчет и конструирование /Г.П. Нуберт; пер. с англ. М.М. Фетисова. – Л.: Энергия, 1970. – 360 с. 11. Мехеда В.А. Тензометрический метод измерения деформаций /В.А. Мехеда. – Самара: Изд-во СГАУ, 2011. – 56 с. 12. Танатар А.И. Элементы промышленной автоматики и их динамические свойства /А.И. Танатар. – К.: Техніка, 1975. – 232 с. 13. Кондратець В.О. Технічне забезпечення допустимої похибки ідентифікації розрідження пульпи при подрібненні пісків двоспірального класифікатора /В.О. Кондратець, А.М. Мацуї //Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. прац. – 2014. – Вип. 37. – С. 59-63. 14. Пат. 93639 Україна МКВ G01G 11/00, G01G 11/04. Конвеєрні ваги /Кондратець В.О., Сербул О.М.; заявник і патенто власник Кіровоградський національний технічний університет, - № U201404655; заявл. 30.04.2014; опубл. 10.10.2014, Бюл. № 19.

Поступила в редакцію 20.04.2017 р.

Рекомендували до друку: докт.техн.наук, проф. Юрчишин В.М., докт. техн. наук, проф. Олійник А.П.