

УДК 658.512

Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Босак А.В., Маламан Д.О.
Кафедра автоматизації управління електротехнічними комплексами

ОСОБЛИВОСТІ РЕГУЛЮВАННЯ ЗАВАНТАЖЕННЯ ДРОБИЛЬНОГО АГРЕГАТУ

У статті представлено результати досліджень режимів дробильних агрегатів, запропоновано пристрій з керованим електроприводом живильника, що дозволяє знизити споживання електроенергії за рахунок зміни швидкості конвеєра, що завантажує дробарку та забезпечує більш високу ефективність регулювання її вантажопотоку.

Ключові слова: дробильний агрегат, вантажопотік, регулювання.

The article presents the results of research on the modes of crushing units, proposed a device with a controlled feeder, which reduces electricity consumption by changing the speed of the conveyor, unloading the crusher and provides higher efficiency of its flow control.

Key words: crushing unit, cargo flow, regulation.

Руйнування шматка гірської породи неправильної форми є складним процесом, оскільки при стисканні виникає кілька точок зіткнення з плитами дробарки, через які передається руйнівна дія, тому усереднення сигналу, пропорційного міцності на постійному часовому інтервалі забезпечує точне регулювання швидкості живильника. Процеси виїмки і навантаження гірських порід, а також їх подрібнення і випуск готової продукції є основними технологічними процесами на кар'єрах і дробильно-сортувальних заводах, тому автоматизація живильника, дробарок являє собою важливе завдання. Особливістю процесу дроблення в шоккових дробильних агрегатах є зміна форми обвідного сигналу потужності, наявність холостого ходу в циклах дроблення, протягом яких руйнування матеріалу не відбувається, а також те, що великі моменти інерції системи не дозволяють валу електродвигуна дробарки в кожному циклі дроблення набирати за час холостого ходу швидкості попереднього циклу [1, 2].

Кількісна оцінка регулювання швидкості стрічки конвеєра при зміні вантажопотоку до максимального значення приведена на рис. 1, де залежності питомих витрат енергії q_e приводу на переміщення однієї тону гірської маси для конвеєра з постійною швидкістю стрічки ($V_c = \text{const}$, $Q_k = \text{var}$, $q_e = \text{var}$) - лінія 1 і зі змінною швидкістю ($V_c = \text{var}$, $Q_k = \text{var}$, $q_e = \text{const}$) - лінія 2. V_c – швидкість стрічки, м/с. Q_k – вантажопотік, тон/год. q_e – питомі витрати енергії, кВтгод/тону.

При регулюванні швидкості по масі вантажу на стрічці питомі витрати постійні (лінія 2). У разі постійної швидкості стрічки питомі витрати енергії істотно зростають зі зменшенням завантаження стрічки гірською масою (лінія 1). Зі зменшенням корисного навантаження витрати енергії на транспортування з постійною швидкістю стрічки ростуть в порівнянні з регульованою швидкістю конвеєра по масі вантажу на стрічці. При половинному завантаженні стрічки по прийнятній здібності конвеєра з регулюванням по масі вантажу швидкістю стрічки енерговитрати приводу знижуються до 30%. Чим менше завантаження стрічки зі змінною швидкістю, тим більше вираш за витратами енергії приводу [3, 4].

Запропоновано пристрій для систем управління подрібнювальними процесами який може бути використаний для автоматизації регулювання завантаження дробильних агрегатів у будівельній, гірничорудній і інших галузях промисловості, який забезпечує високу надійність, зниження споживання електроенергії за рахунок зміни швидкості конвеєра, що завантажує дробарку та забезпечує більш високу ефективність завантаження дробильного агрегату.

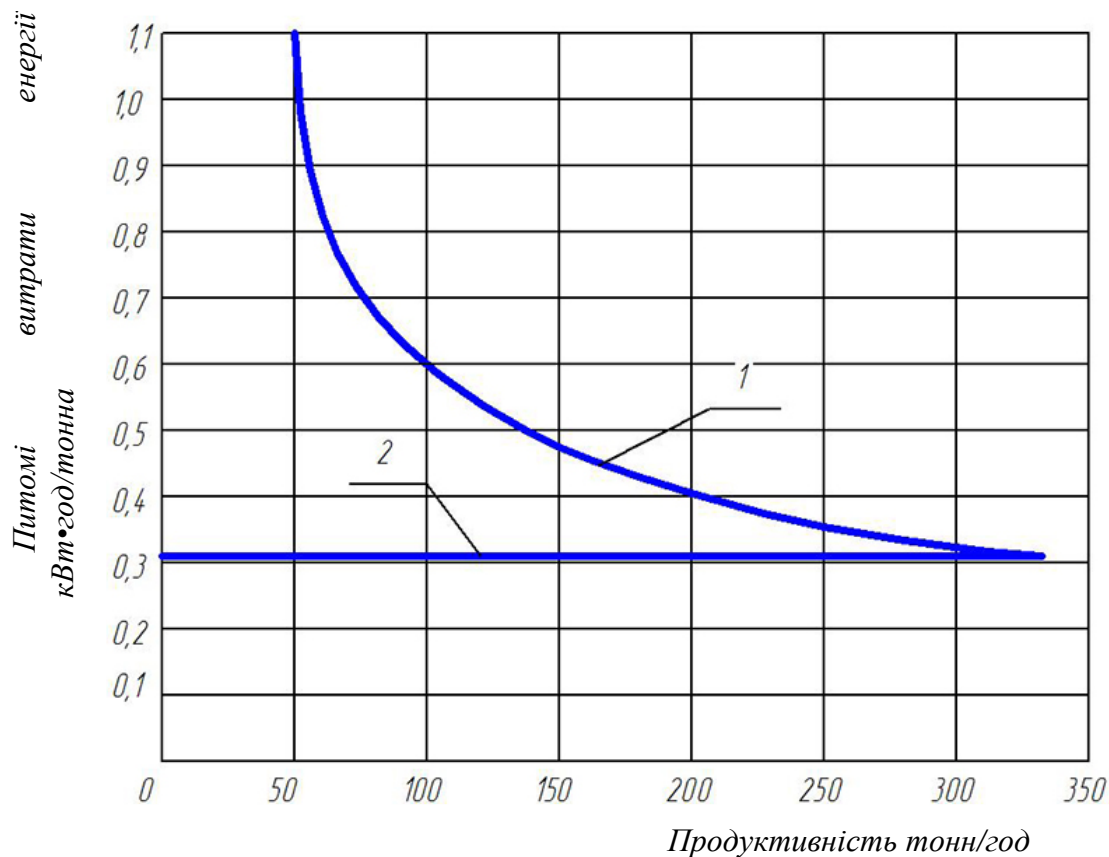


Рисунок 1 - Питомі витрати енергії при зміні вантажопотоку

Сутність пристрою пояснюється кресленням, рис. 2, де представлена структурна схема пристрою регулювання завантаження дробильного агрегату. На кресленні не показаний електродвигун приводний дробарки, а також ланцюги для пуску блоків 10, 13 управління.

Пристрій регулювання завантаження дробильного агрегату складається з дробарки 1, яка приводиться в дію електродвигуном, який на кресленні не показаний, конвеєр 2 відвантажувальний обладнаний датчиком 3 продуктивності, вихід якого сполучено з входом формувача 4 сигналів, а його вихід сполучений з другими входами елементів 5, 6 порогових, перші їх входи сполучені, відповідно, з джерелами Е1 та Е5 постійної вхідної дії. Вихід елемента 5 порогового сполучено з першим входом ключа 7 аналогового, другий та третій входи якого сполучено, відповідно, з джерелами Е2 та Е6 постійної вхідної дії, а вихід ключа 7 аналогового сполучено з другим входом ключа 8 аналогового, третій вхід якого сполучено з джерелом Е7 постійної вхідної дії, а перший вхід сполучено з виходом елемента 6 порогового та третім входом ключа 9 аналогового, перший та другий входи якого сполучено, відповідно, з джерелами Е3 та Е4 постійної вхідної дії, а вихід ключа 9 аналогового сполучено з першим входом блока 10 управління, вихід якого сполучено з електродвигуном 11 живильника 12, а другий вхід сполучено з другим входом другого блоку 13 управління і входом блока 14 живлення та підключено до мережі живлення U1. Вихід ключа 8 аналогового сполучено з першим входом другого блоку 13 управління, вихід якого сполучено з двигуном 15 конвеєра відвантажувального.

Датчик 3 продуктивності забезпечує вимірювання завантаження за одиницю часу конвеєра 2 відвантажувального, який відводить подрібнену масу від дробарки 1 та може бути виконаний з використанням ультразвукових або інших перетворювачів.

Формувач 4 сигналів призначений для забезпечення рівня вихідних сигналів в відповідності з параметрами вибраних елементів схеми пристрою.

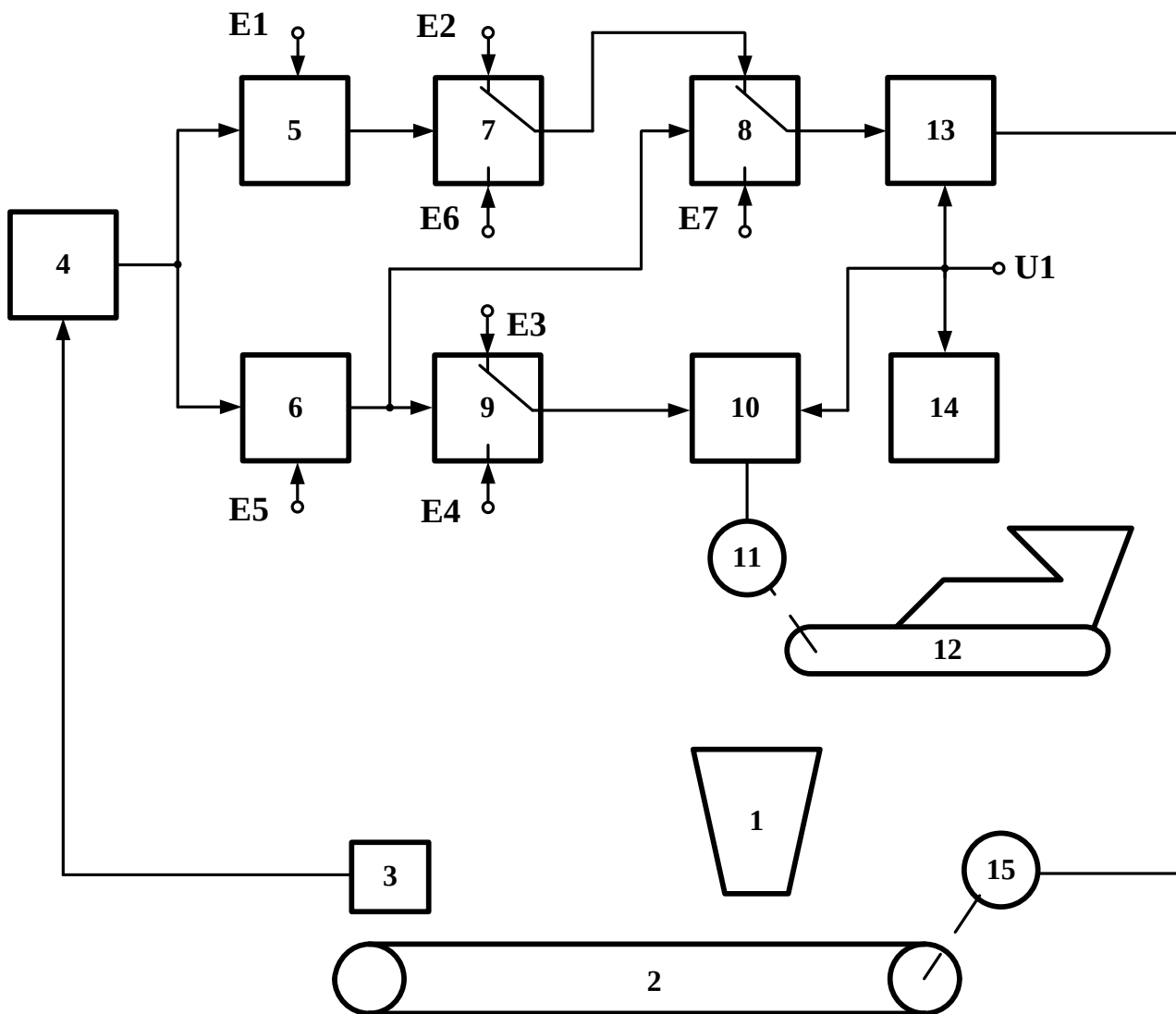


Рисунок 2 - Структурна схема пристрою регулювання завантаження дробильного агрегату

Ключі 7, 8, 9 аналогові призначені для комутації, передачі сигналів довільної форми при умові подачі сигналу, що управляє і можуть бути виконані з використанням електронних ключів інтегрального виконання.

Блоки 10, 13 управління забезпечують зміну частоти обертання вала електродвигунів, відповідно, 11 та 15 в залежності від значення вхідного сигналу та можуть бути виконані з використанням перетворювачів частоти.

Блок 14 живлення забезпечує необхідні значення напруги для блоків і елементів пристрою та може бути виконаний з використанням стандартних вузлів.

Живлення двигунів 11 та 15 здійснюється від блоків 10, 13 управління з використанням трифазної мережі змінного струму, яка на фіг. умовно показана в одну лінію.

Одним з напрямків економії енергії є адаптація конвеєра до вхідного вантажопотоку за рахунок зміни швидкості стрічки. Це дозволяє використовувати повністю приймальню здатність стрічки і істотно зменшити її пробіг. Оцінку енергоефективності регульованого приводу слід виконувати в умовах мінливого в часі вантажопотоку.

Прийняті позначення U_n^i - напруга на i -му виході n -го блоку. Пристрій регулювання

завантаження дробильного агрегату працює наступним чином.

Для запуску дробильного агрегату запускається спочатку конвеєр 2 відвантажувальний, після пуску блоку 13 управління, запускається електродвигун дробарки 1, який на фіг. не приведено. Подається напруга живлення після пуску блоку 10 управління на електродвигун 11 живильника 12, який завантажує дробарку 1. При номінальному завантаженні конвеєра 2 відвантажувального вихідний сигнал U_3 датчика 3 продуктивності через формувач сигналів 4 подається U_4 на входи елементів 5, 6 порогових, які мають такі вихідні характеристики

$$1, \text{ при } U_4 \geq E1,$$

$$U_5 =$$

$$0, \text{ при } U_4 < E1$$

$$1, \text{ при } U_4 \geq E5$$

$$U_6 =$$

$$0, \text{ при } U_4 < E5.$$

При цьому вихідний сигнал U_5 елемента 5 порогового дорівнює логічній одиниці та подається на ключ 7 аналоговий, на виході якого встановлюється значення U_7 , яке дорівнює значенню напруги джерела $E6$ постійної вхідної дії, відповідно з його характеристикою

$$E6, \text{ при } U_5 = 1$$

$$U_7 =$$

$$E2, \text{ при } U_5 = 0,$$

а сигнал $U_6 = 0$. При цьому сигнал U_8 на виході ключа 8 аналогового дорівнює значенню напруги $U_8 = U_7 = E6$, відповідно з його характеристикою

$$E7, \text{ при } U_6 = 1$$

$$U_8 =$$

$$U_7, \text{ при } U_6 = 0.$$

Сигнал $U_8 = E6$ з виходу ключа 8 аналогового подається на блок 13 управління, який забезпечує номінальну швидкість обертання двигуна 15 конвеєра 2 відвантажувального та номінальну швидкість V_{H^k} його робочого органа. Сигнал $U_6 = 0$ з виходу елемента 6 порогового подається також на вхід ключа 9 аналогового, на виході якого встановлюється значення U_9 , яке дорівнює значенню напруги джерела $E3$ постійної вхідної дії, відповідно з його характеристикою

$$E4, \text{ при } U_6 = 1$$

$$U_9 =$$

$$E3, \text{ при } U_6 = 0,$$

далі напруга $U_9 = E3$ подається на блок 10 управління, який забезпечує номінальну швидкість обертання двигуна 11 та номінальну швидкість $V_{H^{жс}}$ робочого органа живильника 12.

Завантаження конвеєра 2 матеріалом дроблення з виходу дробарки 1 оцінюється лінійною масою q_o вантажу на стрічці, яка може змінюватися від нуля до приймальної здатності стрічки $q_o = Q_k / 3,6 \cdot V_c$, кг/м

де Q_k – продуктивність конвеєра, т/год;

V_c – швидкість робочого органа конвеєра, м/с;

Вихідний сигнал U_3 датчика 3 продуктивності пропорційний значенню q_o .

Значення напруг джерел $E1 - E7$ постійної вхідної дії встановлюється при налаштуванні з врахуванням номінальної продуктивності Q_k конвеєра 2 відвантажувального, номінальної швидкості V_{H^k} робочого органа конвеєра 2 та номінальної швидкості $V_{H^{жс}}$ робочого органа живильника 12 та визначаються пропорційно наступним значенням:

$$E1 = 0,75 Q_k; E2 = 0,75 V_{H^k}; E3 = V_{H^{жс}}; E4 = 0,75 V_{H^{жс}};$$

$$E5 = 1,25 Q_k; E6 = V_{H^k}; E7 = 1,25 V_{H^k};$$

При зменшенні завантаження конвеєра 2 відвантажувального нижче номінального $Q < 0,75 Q_k$ вихідний сигнал U_3 датчика 3 продуктивності через формувач сигналів 4 подається U_4

на входи елементів 5, 6 порогових і, відповідно, до їх характеристик на виході елемента 5 порогового встановлюється сигнал U_5 має значення логічного нуля ($U_5 = 0$), а на виході елемента 6 порогового сигнал U_6 не змінюється ($U_6 = 0$). Таким чином, вихідні сигнали на виході ключа 9 аналогового та блока 10 управління не змінюються, швидкість електродвигуна 11 і робочого органа живильника 12 також не змінюються, а сигнал U_7 на виході ключа 7 аналогового має значення, яке дорівнює значенню напруги джерела E_2 постійної вхідної дії, в відповідності з його характеристикою ($E_2 = 0,75 V_{H^k}$) і далі через ключ 8 аналоговий $U_8 = E_2$ подається на блок 13 управління, який визначає зменшення швидкості обертання двигуна 15 конвеєра 2 відвантажувального до швидкості $V^k = 0,75 V_{H^k}$ його робочого органа.

Зменшення завантаження конвеєра 2 відвантажувального відбувається при надходженні до дробарки 1 матеріалів з збільшеними габаритами і для їх дроблення - необхідно більше часу.

При збільшенні завантаження конвеєра 2 відвантажувального вище номінального значення $Q > 1,25 Q_n$ вихідний сигнал U_3 датчика 3 продуктивності через формувач 4 сигналів U_4 подається на входи елементів 5, 6 порогових і, відповідно, до їх характеристик на виході елемента 5 порогового встановлюється, як і при номінальному завантаженні конвеєра 2 відвантажувального, вихідний сигнал U_5 , який дорівнює логічній одиниці та подається на ключ 7 аналоговий, на виході якого встановлюється значення U_7 , яке дорівнює значенню напруги E_6 постійної вхідної дії, в відповідності з його характеристикою, але на виході елемента 6 порогового встановлюється значення логічної одиниці, що приводить до переключення ключа 8 аналогового і на його виході стане сигнал $U_8 = E_7$, який відповідає значенню $E_7 = 1,25 V_{H^k}$. Цей сигнал подається на блок 13 управління, який визначає збільшення швидкості обертання двигуна 15 конвеєра 2 відвантажувального до швидкості $V^k = 1,25 V_{H^k}$ його робочого органа.

Сигнал $U_6 = 1$ з виходу елемента 6 порогового подається також на вхід ключа 9 аналогового, який переключається, на його виході встановлюється значення U_9 , яке дорівнює значенню напруги джерела E_4 постійної вхідної дії в відповідності з його характеристикою, тобто $E_4 = 0,75 V_{H^{жс}}$. Цей сигнал подається на блок 10 управління, який визначає зменшення швидкості обертання двигуна 11 живильника 12 до швидкості $V^{жс} = 0,75 V_{H^{жс}}$ робочого органа. Збільшення завантаження конвеєра 2 відвантажувального відбувається при надходженні до дробарки 1 матеріалів з невеликими габаритними розмірами і вони не потребують дроблення.

Зміна частоти обертів електродвигунів 11 та 15 виконується плавно за рахунок налаштувань блоків 10, 13 управління. Елементи для налаштування в матеріалах заявки не показані.

Відключення дробильного агрегату виконується в такій послідовності: знімається напруга живлення з виходу блоку 10 управління при цьому електродвигун 11 та живильник 12 зупиняються, знімається напруга живлення з електродвигуна дробарки 1 і вона зупиняється, може бути відключений конвеєр 2 відвантажувальний.

Режим роботи дробарки 1 тривалий, але навантаження непостійне, що змінюється в процесі роботи. Вплив на систему електроприводу поєднує кількох факторів: зміна значень твердості і в'язкості матеріалу, зміна сил тертя в процесі дроблення, нерівномірність проходження роздрібнювальних матеріалів.

Потужність, яка споживається електродвигуном 15 конвеєра 2 визначається за виразом $P_{15} = k_3 \cdot F_t \cdot V_k / \eta_k$, Вт

де k_3 - коефіцієнт завантаження;

F_t - окружне зусилля на приводному барабані, Н;

η_k - ККД конвеєра.

В цілому для конвеєра коефіцієнт корисної дії η_k можна визначити за виразом

$$\eta_k = \eta_e \cdot \eta_m \cdot \eta_b \cdot \eta_c$$

де $\eta_e = (0,95 - 0,98)$ - ККД електродвигуна;

$\eta_m = (0,95 - 0,98)$ - ККД редуктора;

$\eta_o = (0,95 - 0,98)$ – ККД приводного барабана;

$\eta_c = (0,25 - 0,9)$ – ККД транспортування вантажу на стрічці.

Збільшення лінійної маси вантажу q_o на стрічці конвеєра 2 підвищить загальний ККД, при порівнянні її з постійними масами стрічки і обертових частин роликів змінюється в більшу сторону. Тому регулювання швидкості стрічки конвеєра 2 забезпечить зміну споживання потужності електродвигуном 15 конвеєра 2 [5].

Застосування додатково введених ключів 7, 9 аналогових, порогового елемента 6, блока 13 управління, а також джерел Е2 – Е7 постійної вхідної дії зменшить витрати енергії в дробильному агрегаті, підвищить ефективність і надійність його роботи, покращити тепловий режим електродвигунів 11 та 15. Крім того, можна уникнути технологічних перевантажень, підвищить продуктивність та ефективність регулювання завантаження дробильного агрегату. З огляду на те, що коливання фізико-механічних властивостей матеріалу, який привозиться з одного кар'єра, зазвичай, знаходяться в межах 10%, то даний пристрій дозволяє збільшити продуктивність процесу до 5%.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Патент України № 20337. Кочура Є. В. Спосіб управління здрібнювальним агрегатом і пристрій для його здійснення. В02 С25/00. Бюл. № 1. 27.02.98.
2. Патент України № 62761. Дубовик В.Г., Лебедєв Л.М., Попова Є.А. Пристрій регулювання завантаження дробильного агрегату. В02 С25/00. Бюл. № 17, 12.09.2011.
3. Назаренко В. М. Системы управления механизмами дробильно - сортировочных фабрик. М., Недра, 1995 г.
4. Кошаровский Б. Ю. Автоматическое управление обогатительными фабриками. М., Недра, 1997 г.
5. Системы автоматизированного управления электропривода: Учебник / В.В. Москаленко. – М.: Инфра – М, 2004. – 208 с.