

Список литературы

1. **Ищенко А.Д.** Статические и динамические свойства агломерационного процесса. – М.: Металлургия, 1972. – 320 с.
2. **Копелович А.П.** Комплексная автоматизация процесса производства агломерата / Бюллетень ЦНИИЧМ. Серия 3. 1961.
3. **Копылов В.Г., Мостовой Л.Е.** Измерение влажности аглошихты нейтронным влагомером.- Металлург, 1974. - №7.
4. **Клиновицкий М.Д., Копелович А.П.** Автоматический контроль и регулирование в черной металлургии. Справочник. - М.: Металлургия, 1967. – 250 с.
5. **Крижевский А.З., Кучер В.Г.** Газопроницаемость как параметр регулирования производительности агломерационной установки / Автоматизация агломерационного и доменного производства. – К.: Техніка, 1969. – 206 с.
6. **Савицкая Л.И.** Развитие агломерационного производства в странах Западной Европы / Ин-т Черметинформация. Серия «Подготовка сырьевых материалов к металлургическому переделу». – М.: 1982.
7. **Мигуцкий Л.Р., Рудь Ю.С., Кучер В.Г.** и др. Способ спекания шихты. А.С. СССР, №196907.
8. **Федоровский Н.В., Рудь Ю.С., Кучер В.Г.** и др. Исследование основных параметров регулирования процесса спекания агломерата. В ст. «Теория и практика автоматизации агломерационного процесса», Киев, 1971, с. 126-133 (256 с.).
9. **Кучер В.Г.** Исследование основных возмущающих воздействий систем автоматического регулирования процесса спекания агломерата. - Проблемы автоматизации агломерационного производства. - Материалы Всесоюзной конференции. - К., 1973. - 376 с.
10. **Федоровский Н.В., Дементьева Е.М.** К вопросу создания структурно-алгоритмической части АСУТП в агломерационном производстве. - Проблемы автоматизации агломерационного производства. - Материалы Всесоюзной конференции. - К., 1973. - 376 с.
11. **Новак С.Б.** и др. Теория и практика управления агломерационным процессом. ЮГОК / Под редакцией **В.А. Мартыненко.** - Кривой Рог, 2006. –121 с.

Рукопись поступила в редакцию 14.04.15

УДК 622.647.2: 681.518.54

М.М. КОНДРАТЕНКО, ст. викладач, Криворізький національний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПУСКОВИХ РЕЖИМІВ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА ДЛЯ АНАЛІЗУ СТАНУ РОЛИКООПОР І БАРАБАНІВ

З метою зменшення витрат на ремонти, міжремонтне обслуговування конвеєрів, а також для своєчасного виявлення і заміни зношених роликкоопор запропонований метод діагностики стану роликів і барабанів. Він ґрунтований на експрес-аналізі динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, оцінці енерговитрат на ці процеси. Дослідження витрат електроенергії на динамічні процеси, що виникають при несправності роликів або барабанів, можливо на основі математичної моделі для процесів пуску з урахуванням мас роликів і їх стану. Оцінка динамічних характеристик конвеєра виконується шляхом моделювання залежностей, що зв'язують швидкості, шлях переміщення стрічки на головних і допоміжних барабанах, роликах, динамічне зусилля в стрічці з величиною і характером зміни рушійного зусилля, що розвивається електроприводом під час діагностики і при еталонних випробуваннях. Діагностика по запропонованому методу виконується в період часу, коли по черзі залучаються до обертання роликів вантажної гілки конвеєра. У момент початку обертання стрічкою хвостового барабана буде отримана повна інформаційна картина стану елементів вантажної гілки, що обертаються, а можливість діагностики за цим методом припиниться.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Відомо, що витрати на ремонт і міжремонтне обслуговування машин в середньому за рік складають від 10-15 до 25% вартості устаткування [1]. Для машин, працюючих в особливо важких умовах, таких як в гірській, вугільній, будівельній промисловості, витрати тільки на капітальні ремонти сягають 50 % їх вартості.

Більша частина деталей машин (80-85%) виходить з ладу внаслідок інтенсивного зношування. Це вказує на те, що при проектуванні і експлуатації машин і механізмів далеко не завжди використовують найбільш ефективні засоби зменшення тертя і зношування [2]. Крім того, значний вплив на процес тертя справляє характер матеріалу, що транспортується.

Аналіз досліджень та публікацій. Особливості транспортування крупнокускових матеріалів, вплив їх вантажопотока на довговічність елементів описувалися в роботах [3-5].

Для своєчасного виявлення і заміни зношених роликів потрібна постійна їх діагностика [6,7].

При експлуатації стрічкових конвеєрів існує можливість експрес-аналізу стану роликів і барабанів на підставі аналізу динамічних навантажень, що виникають в електроприводі в пусковому режимі, і оцінки енерговитрат на ці процеси [8].

Постановка завдання. Дослідження витрат електроенергії на динамічні процеси, що виникають при несправності роликів або барабанів, стає практично можливим тільки на основі математичних моделей. Це підтверджує ряд авторів відомих робіт [9-11]. Відтворити експериментальним шляхом випадкову дію різних поєднань поломок роликів і барабанів майже неможливо. Пояснюється це великим числом складових балансу потужності електроприводу і елементів ставу конвеєра.

Тому, скориставшись відомими методами моделювання пуску конвеєра [9-11], децю змінивши основні допущення і підходи, можна скласти модель для процесів пуску з урахуванням мас роликів і їх стану (обертаються вони або нерухомі).

В цьому випадку завданням моделювання буде дослідження витрат енергії на зміну швидкості стрічки без вантажу і на подолання сил внутрішнього тертя, розтягування стрічки, обертання роликів і барабанів [9,10]. Необхідність в подібного роду дослідженнях полягає не лише в можливості розуміння і визначення витратних процесів [12,13], але і в можливості визначення кількості несправних роликів, барабанів, а також оцінки характеру їх несправності і стану стрічки.

Викладення матеріалу та результати. Електропривод стрічкових конвеєрів великої довжини і продуктивності в основному виконується на базі асинхронних електродвигунів з фазним ротором, пуск яких здійснюється за допомогою ступінчастого введення додаткових опорів в роторний ланцюг. Останнім часом отримали поширення електроприводи з пристроями, що здійснюють плавний пуск з квазіпостійним моментом.

Оцінювати динамічні характеристики конвеєра можна шляхом моделювання залежностей, що зв'язують швидкості, шлях переміщення стрічки на головних і допоміжних барабанах, роликів, динамічне зусилля в стрічці з величиною і характером зміни рушійного зусилля, що розвивається електроприводом під час діагностики і при еталонних випробуваннях.

Для обліку зосереджених мас приводних барабанів і розподілених по довжині конвеєра мас стрічки і роликів використовуємо метод кусочно-лінійної апроксимації і допущення, прийняті в роботі [14]. Крім того, з метою пониження порядку диференціальних рівнянь припустимо, що натягач встановлений в точці збігання стрічки з другого по ходу руху стрічки приводного барабана. Також прийемо, що в цій точці підтримується постійне натягнення.

На рис. 1 представлено розрахункову схему на прикладі багатобарабанного стрічкового конвеєра.

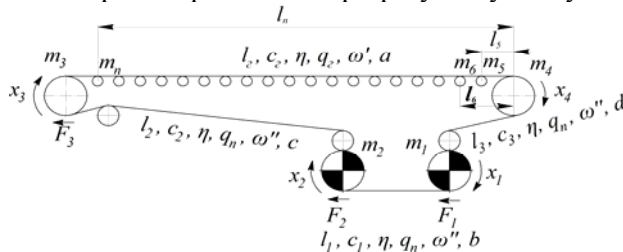


Рис. 1. Розрахункова схема багатобарабанного стрічкового конвеєра

Тут $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, \dots, m_n$ - маси обертових частин приводних, головного і хвостового барабанів, приведені до кола приводних барабанів (з урахуванням сполучних муфт, редукторів і електродвигунів), кг; F_1, F_2 - рушійні зусилля, що розвиваються

приводними електродвигунами на відповідних приводних барабанах, Н; x_1, x_2, x_3, x_4 - переміщення стрічки на відповідних барабанах, м; $l_2, l_1, l_2, l_3, l_5, \dots, l_n$ - довжини відповідних ділянок стрічки між барабанами і роликами, м; ω', ω'' - коефіцієнти опору руху стрічки на верхній і нижній гілках конвеєра; c_1, c_2, c_3, c_4 - коефіцієнти жорсткості відповідних ділянок стрічки, Н/м; η - коефіцієнт загасання коливань в конвеєрній стрічці, кг/с; q_2, q_n - розподілені лінійні навантаження верхньої (вантажної) і нижньої (порожнякової) гілок конвеєра, кг/м.

Знайдемо $m_1, m_2, m_3, m_4, m_5, m_6, \dots, m_n$:

$$m_{1,2} = GD_{1,2}^2 \cdot \frac{i^2}{D_6^2}; \quad m_{3,4} = GD_6^2 \cdot \frac{i^2}{D_6^2}; \quad m_5 = m_6 = \dots = m_n = Gd_p^2 \cdot \frac{i^2}{D_6^2},$$

де $GD_1^2, GD_2^2, GD_6^2, GD_p^2$ - крутєвє моменти приводів N_1, N_2 , головного і хвостового барабанів і роликів, приведені до валу двигуна, кг·м²; i - передатне число редуктора; $D_{1,2}, D_6, d_p$ - діаметр, відповідно, приводних, головного, хвостового барабанів і роликів, м.

Знайдемо коефіцієнти жорсткості відповідних ділянок стрічки за формулою

$$c = E_o / l_i,$$

де E_o - динамічна жорсткість стрічки, Н; l_i - довжина відповідної ділянки конвеєра ($l_2, l_1, l_2, l_3, l_5, \dots, l_n$).

$$E_o = z_T \cdot F_T \cdot E,$$

де z_T - число тросів у стрічці; F_T - марна площа поперечного перерізу дротів троса, мм²; E - модуль пружності, віднесений до одиниці перерізу дротів.

$$z_T = B/h + 1,$$

де B - ширина стрічки; h - крок троса.

Розподілені лінійні навантаження верхньої і нижньої гілок конвеєра визначаємо за формулами

$$q_{\Sigma} = q_{\Sigma} + q'_p; \quad q_n = q_n + q''_p,$$

де q_{Σ}, q'_p, q''_p - відповідно розподілені лінійні навантаження від стрічки, частин роликкоопор, що обертаються, верхньої (вантажної) і нижньої (порожнякової) гілок конвеєра, кг/м

$$q'_p = m'_p/h'_p; \quad q''_p = m''_p/h''_p,$$

де m'_p, m''_p - маса обертових частин роликкоопор відповідно верхньої і нижньої гілок конвеєра, кг; h'_p, h''_p - крок роликкоопор відповідно верхньої і нижньої гілок конвеєра, м.

Позначимо

$$a = q_{\Sigma} \cdot l_2/6; \quad b = q_n \cdot l_1/6; \quad c = q_n \cdot l_2/6; \quad d = q_n \cdot l_3/6;$$

$$\begin{cases} A_1 = 2 \cdot (b + d) + m_1; \\ A_2 = 2 \cdot (b + c) + m_2; \\ A_3 = 2 \cdot (a + c) + m_3; \\ A_4 = 2 \cdot (a + d) + m_4; \\ M_{\Sigma} = 2 \cdot (a + b + c + d) + A_1 + A_2 + A_3 + A_4, \end{cases} \quad (1)$$

де M_{Σ} - сумарна маса обертових частин конвеєра, кг; a, b, c, d - умовно прийняті конструктивні коефіцієнти конвеєра, кг.

Діагностика за запропонованим методом можлива лише в проміжок часу, коли 1-й, 2-й і 4-й барабани почали обертатися, а 3-й (хвостовий) барабан ще не обертається. Частина стрічки, що збігає з 2-го барабана, «вибирається» натягувачем. Частина стрічки, що збігає з 4-го барабана, тільки починає рух, поступово залучаючи до нього вантажну гілку, що набігає на цей барабан. Так в рух обертання залучаються спочатку ролик №5, потім №6 і так далі № n , поки частина вантажної гілки стрічки, що рухається, не почне обертати 3-й (хвостовий) барабан. При цьому буде отримана повна інформаційна картина стану обертових елементів вантажної гілки, а можливість діагностики за цим методом припиниться.

Система рівнянь (1) для m_5 запишеться по-іншому

$$a = q_{\Sigma} \cdot l_3/6; \quad b = q_n \cdot l_1/6; \quad d = q_n \cdot l_3/6;$$

$$\begin{cases} A_1 = 2 \cdot (b + d) + m_1; \\ A_2 = 2 \cdot b + m_2; \\ A_3 = 2 \cdot a + m_5; \\ A_4 = 2 \cdot (a + d) + m_4; \\ M_{\Sigma} = 2 \cdot (a + b + d) + A_1 + A_2 + A_4. \end{cases} \quad (2)$$

Складемо диференціальні рівняння руху конвеєра в операторній формі з урахуванням прийнятих допущень. Вони зв'язують переміщення стрічки x_1, x_2, x_4 на відповідних приводних барабанах з рушійними зусиллями F_1, F_2 , що розвиваються приводними електродвигунами, на відповідних приводних барабанах

$$a_{11}(p) \cdot x_1(p) + a_{12}(p) \cdot x_2(p) + a_{14}(p) \cdot x_4(p) = F_1 - a_{1F}; \quad (3)$$

$$a_{21}(p) \cdot x_1(p) + a_{22}(p) \cdot x_2(p) + a_{24}(p) \cdot x_4(p) = F_2; \quad (4)$$

$$a_{31}(p) \cdot x_1(p) + a_{32}(p) \cdot x_2(p) + a_{34}(p) \cdot x_4(p) = -a_{3F}; \quad (5)$$

$$a_{41}(p) \cdot x_1(p) + a_{42}(p) \cdot x_2(p) + a_{44}(p) \cdot x_4(p) = -a_{4F}; \quad (6)$$

де $a_{11} = A_1 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_3)$; $a_{22} = A_2 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_2)$;
 $a_{44} = A_4 p^2 + 4\eta p + (c_3 + c_2)$; $a_{12} = a_{21} = b p^2 - 2\eta p - c_1$; $a_{14} = a_{41} = d p^2 - 2\eta p - c_3$;
 $a_{23} = a_{32} = c p^2 - 2\eta p - c_2$; $a_{34} = a_{43} = a p^2 - 2\eta p - c_2$; $a_{24} = a_{31} = a_{42} = a$;

$$\begin{cases} a_{1F} = 0,5 \cdot q_n \cdot l_3 \cdot g \cdot \omega^n; \\ a_{3F} = 0,5 \cdot q_2 \cdot l_5 \cdot \omega' \cdot g; \\ a_{4F} = 0,5 \cdot (q_2 \cdot l_5 \cdot \omega' + q_n \cdot l_3 \cdot \omega^n) \cdot g. \end{cases} \quad (7)$$

де g - прискорення вільного падіння, m/c^2 .

Тобто, матриця коефіцієнтів

a_{11}	a_{12}	a_{14}
a_{21}	a_{22}	a_{24}
a_{31}	a_{32}	a_{34}
a_{41}	a_{42}	a_{44}

перетворилася на матрицю

$A_1 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_3)$	$b p^2 - 2\eta p - c_1$	$d p^2 - 2\eta p - c_3$
$b p^2 - 2\eta p - c_1$	$A_2 p^2 + 4\eta p + (c_1 + c_2)$	a
a	$c p^2 - 2\eta p - c_2$	$a p^2 - 2\eta p - c_2$
$d p^2 - 2\eta p - c_3$	a	$A_4 p^2 + 4\eta p + (c_3 + c_2)$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Вимірюючи струм I_d у ланці постійного струму перетворювача частоти і, знаючи, що він пропорційний зусиллю приводів можна за його величиною судити про опір руху стрічки ω' . Залежно від збільшення струму можна визначати стан ролика, вирішивши систему рівнянь (2-7) відносно ω' і F . Номер ролика (тобто відстань l_i) можна обчислювати за допомогою датчика шляху.

Щоб розробити методику аналізу стану барабанів і роликів вантажної гілки, яка найбільш схильна до деформацій, необхідно привести 1-й, 2-й і 4-й барабани до одного і по черзі розглянути взаємодію цього приведенного барабана і кожного ролика вантажної гілки. Подальші дослідження будуть проведені на цій моделі із застосуванням якого-небудь дослідницького пакету, наприклад, MatLab.

Окрім вказаних вимог до приводу під час випробувань, потрібне оптимальне поєднання формування законів управління параметрами системи: потокозчепленням і швидкістю [15] з метою зменшення втрат в асинхронному двигуні і точнішої діагностики роликів і барабанів.

Для прийнятих умов (статичний момент M_c дорівнює моменту холостого ходу $M_{x,x}$: $M_c = M_{x,x} = \text{const}$) найбільш прийнятними законами управління потокозчепленням є підтримка $\psi_f = \text{const}$, що і забезпечується, при $M_c = \text{const}$. При цьому розвиток швидкості має бути лінійним [15]. Підтримка максимальної величини потокозчеплення призводить до гасіння кидків струму, а значить до зменшення похибок при аналізі несправностей роликів і барабанів.

Для перевірки збіжності результатів криві, отримані в результаті математичного моделювання необхідно порівняти з реальними кривими зміни параметрів руху стрічки конвеєра, отриманими експериментальним шляхом. Розбіжність результатів може бути пояснена наступними чинниками: неоднорідністю конвеєрної стрічки; похибкою методу кусочно-лінійної апроксимації передатних функцій високого порядку передатними функціями другого порядку.

Список літератури

1. Шендеров А.И., Емельянов О.А., Один И.М. Надежность и производительность комплексов горнотранспортного оборудования. – М.: Недра, 1976. – 247с.
2. Н. Lauhoff, Speed Control on Belt Conveyors - Does it Really Save Energy? Bulk solids handling • Vol. 25 (2005) No. 6, p.368-377 http://www.synergy-eng.com/pdf/BSH-2005_Beltspeed_Lauhoff.pdf
3. Смирнов В.К., Монастырский В.Ф., Демин Г.К. и др. Экспериментальные исследования эффективности работы ленточного конвейера при транспортировании крупнокусковых грузов: Сб. Шахтный и карьерный транспорт. – М., 1980. – С. 78-84.
4. Эрлих Г.Л. Теоретическое исследование крупнокускового грузопотока, поступающего на конвейер: Сб. Шахтный и карьерный транспорт. – М., 1977. – С. 57-62.
5. Новиков Е.Е., Смирнов В.К. Теория ленточных конвейеров для крупнокусковых горных пород. – К.: Наук. Думка, 1983. – 184 с.
6. Кондратенко М.Н. Оценка технического состояния тяговых роликів ленточных конвейеров // Сборник научных трудов национальной горной академии Украины. – Дн-ск, 2001. – №11. т. 2. – с.99-102

7. Назаренко В.М, Кондратенко М.М. Система діагностування стану роликів конвеєрів: шляхи вирішення // Вісник КТУ. –2004. –№4. –с. 77-79.
8. Кондратенко М.М, Савицький О.І. Система автоматизованого контролю стану роликів конвеєра // Криворізький техн. ун-т.: Вісник КТУ: Зб. наук праць. –Кривий Ріг, 2006. – Вип.15. – С. 147-150.
9. Сокотнюк Ю.А. Система автоматического управления наклонным ленточным конвейером: Автореферат диссертации кандидата технических наук: 05.13.07/ДГИ – Дн-ск, 1987. – 16 с.
10. Запенин И.В., Бельфер В.Е., Селищев Ю.А. Моделирование переходных процессов ленточных конвейеров. – М.: Недра, 1969. – 56 с.
11. Назаренко В.М. Режимы работы автоматизированных ленточных конвейеров рудоподготовительного производства: Диссертация доктора технических наук: 05.13.07, 05.05.06/ИГТМ. – Дн-ск, 1990. – 455 с.
12. Мелкозеров П.С. Энергетический расчет систем автоматического управления и следящих приводов. – М.: Энергия, 1968. – 304 с.
13. Савицкий А.И. «Автоматизация конвейерного транспорта с изменяющейся производительностью» Автореферат диссертации канд. техн. наук: 05.13.07/КГРИ – Кривой Рог, 2000. – 16 с.
14. Назаренко В.М., Сокотнюк Ю.А. Передаточные функции ленточного конвейера как объекта регулирования // Известия ВУЗов. Электромеханика. – 1986. – №1. – с. 110-114.
15. Economic evaluation of efficiency of investments into energy-saving controlled electric drives of conveyers of mining and processing works. Krutov G., Savitskiy A.I. 2014, Metallurgical and Mining Industry, No.6, p.78-81.

Рукопис подано до редакції 21.03.15

УДК 519.237.7: 621.771.065

К.В. ГЕРАСИМОВА, Г.І. ТКАЧЕНКО, кандидати техн. наук, доц.
А.А. ШЕПЕЛЬ, аспірантка, Криворізький національний університет
О.А. САМОЙЛЮК, ПАТ «ПівдГЗК»

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОПОРУ ДЕФОРМАЦІЇ НА ТЕХНОЛОГІЧНІ ПАРАМЕТРИ ПРОЦЕСУ ГАРЯЧОЇ ПРОКАТКИ ШИРОКИХ СМУГ

Для дослідження впливу опору деформації на технологічні параметри процесу гарячої прокатки широких смуг з використанням комплексу прикладних програм була побудована математична модель і здійснений планований чисельний експеримент. Виконано розрахунок енергосилових параметрів гарячої прокатки. Встановлені залежності опору деформації від температури прокатки для найбільш використовуваних марок сталі, що дозволило скорегувати їх оптимальний хімічний склад з урахуванням температурного режиму прокатки.

Температурний режим прокатки в безперервних станах виявляє суттєвий вплив на механічні властивості, опір деформації, структуру і якість прокату. Одночасно температурний режим впливає на напружений стан, стійкість і профіль валків, визначаючи точність прокату. Аналіз технічної літератури та патентної документації дозволяє стверджувати, що до 80 % патентів і публікацій присвячені техніці та технології управління температурним режимом прокатки примусовим охолодженням заготовки водою, повітрям і водо-повітряними сумішами. В інших джерелах представлені матеріали по техніці і технології управління температурним режимом прокатки зниженням температури нагріву металу перед прокаткою або зміною кількості використовуваних робочих клітей (безперервної листової прокатки).

Ключові слова: прокатка, температурний режим, технологічні параметри, математична модель.

Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями. Жорсткі економічні відносини на внутрішньому і зовнішньому ринках, обумовлюють новий рівень вимог до готової продукції чорної металургії. Це повною мірою стосується прокатного переділу, в тому числі - виробництва гарячекатаних смуг на широкоштабових станах.

Зниження енергоємності виробництва і собівартості продукції вимагає підвищення ступеня наукової обґрунтованості прийнятих в кожному конкретному випадку технічних рішень. Враховуючи специфіку металургійного виробництва, треба зазначити, що при проведенні наукових досліджень пріоритетними остаються методи автоматизованого регулювання та керування технологічними режимами роботи прокатних станів гарячої прокатки, практична реалізація теоретичних підходів.

В реальних умовах технологічного процесу неможливо абсолютно точно і адекватно врахувати всю доступну вихідну інформацію. Підвищення ефективності виробничих процесів неможливо без удосконалення і розроблення нових методів моделювання.

Використання в теорії прокатки математичних моделей дозволяє передбачувати результати внесення тих або інших змін в технологію процесу або конструкцію прокатного стану. Це