

УДК 622.232.72

МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ АКТИВНОГО ВИВАНТАЖЕННЯ ВУГІЛЛЯ ОЧИСНИХ КОМБАЙНІВ

Нечепасев В.Г., докт. техн. наук, проф.,
Донецький національний технічний університет

Виконано моделювання робочих процесів систем вивантаження вугілля, створених на основі концепції, що передбачає додатковий розподілений силовий вплив на потік вугілля, яке вивантажується.

Modelling working processes of systems of a unloading of the coal, created is executed on the basis of the concept of an active unloading. The concept provides the additional allocated power influence on a stream of unloaded coal.

Проблема і її зв'язок з науковими і практичними задачами.

Приблизно 83 % промислових запасів вугілля України зосереджено в дуже тонких і тонких положистих пластах (потужністю 0,55-1,2 м), більша частина яких відрізняється неспокійною гіпсометрією й іншими особливостями, що визначають можливість їхньої продуктивної виїмки тільки спеціально створеними для цих умов очисними комбайнами. Створенню високопродуктивних очисних комбайнів зі шнековими виконавчими органами перешкоджає їх недостатня навантажувальна здатність, що обумовлює асиметрію потенціалів систем руйнування вибою і вивантаження зруйнованого вугілля. У той час як потрібний рівень навантажувальної здатності постійно зростає в зв'язку з ростом енергооснащеності і швидкості переміщення комбайнів, відомі шляхи і методи її підвищення практично вичерпали себе.

Аналіз досліджень і публікацій. Основною причиною недостатнього рівня навантажувальної здатності є формування інтенсивного напруженого стану вугілля, що вивантажується (характеризується тиском на лопатях шнеків до 0,12 МПа), і його кругова циркуляція. Існуючі конструкції виконавчих органів традиційної структури і технології їхнього виготовлення розроблені без обліку цієї особливості і не забезпечують необхідну продуктивність вивантаження вугілля в цих умовах.

Постановка задачі. Для рішення проблеми запропоноване удосконалення структури виконавчих органів на основі концепції активного вивантаження, що передбачає додатковий розподілений силовий

(активуючий) вплив на потік вугілля, яке вивантажується, за допомогою спеціальних пристроїв - механічних, гідродинамічних, пневматичних і ін. Для реалізації кожного з зазначених способів здійснення активуючого впливу розроблений ряд концептуальних технічних рішень, що мають патентний захист, наприклад, [1]. Визначення оптимальних параметрів виконавчих органів, створюваних на основі концепції активного вивантаження, з обліком її принципової новизни вимагає моделювання робочих процесів таких органів.

Виклад матеріалу і результати. Виконавчі органи активного вивантаження (при моделюванні робочих процесів їх стосовно до розв'язуваної проблеми) розглядаються в загальному випадку як механо-пнеumo-гідродинамічна система. Використовуючи принципи системного підходу, у ній виділені 3 підсистеми і 5 модулів; на цій основі встановлена необхідна кількість математичних моделей (ММ), що описують їхнє функціонування. Функціонування окремих модулів описується шістьма частинними ММ.

ММ1 надходження вугілля в шнек установлює зміну об'єму відокремлюваного шнеком вугілля як функцію параметрів системи активного вивантаження. Її основні залежності мають вид

$$\left\{ \begin{array}{l} V_y(\varphi) = C_1 \int_0^{\varphi} l(\alpha; \psi) h(\psi) d\psi + C_2 \int_0^{\varphi} h(\psi) d\psi, \quad \varphi \in [0; \pi] \\ V_y(\varphi) = C_1 \int_0^{\pi} l(\alpha; \psi) h(\psi) d\psi + C_2 \int_0^{\pi} h(\psi) d\psi, \quad \varphi \in [\pi; 2\pi k] \\ V_y(\varphi) = C_1 \int_{\varphi-2k\pi}^{\pi} l(\alpha; \psi) h(\psi) d\psi + C_1 (b_3 - b_\partial) \int_0^{\varphi-2k\pi} h(\psi) d\psi + C_2 \int_0^{\pi} h(\psi) d\psi, \\ \varphi \in [2\pi k; \pi(2k+1)] \end{array} \right.$$

$$C_1 = 0,5\lambda d_u; C_2 = 0,5k_\partial b_\partial \lambda d_u;$$

$$h(\psi) = h_{\max} \sin \psi + \frac{1}{2} d_u - \sqrt{\frac{d_u^2}{4} - h_{\max}^2 \cos^2 \psi}.$$

Тут $V_y(\varphi)$ - об'єм вугілля, що руйнується, як функція кута повороту φ шнека; $l(\alpha; \psi)$ - рівняння лінії розташування різців; $h(\psi)$ - товщина зрізу; α - кут підйому лопатей шнека; λ - коефіцієнт розпушення вугілля; d_u - діаметр шнека по різцях; k - конструктивний па-

раметр шнека; b_d - ширина відрізного диска; k_d - коефіцієнт відрізного диска.

ММ2 формування об'єму робочої камери шнека описує зміну об'єму робочої камери $V_{pk}(\phi)$ як функцію кута повороту шнека ϕ для шнеків з перемінним по ширині захвату кроком навантажувальних лопатей

$$V_{pk} = \begin{cases} \frac{(D_l^2 - d_c^2)}{8} \left[(b_z - b_d)\pi - \frac{2k\pi}{\pi(2k-1)} \int f_1(\phi) d\phi + \frac{\pi \cdot (2k-1)}{2 \cdot \pi \cdot (k-1) + \phi} \int f_2(\phi) d\phi + \right. \\ \left. + \frac{\pi \cdot (2k-1)}{2 \cdot \pi \cdot (k-1) + \phi} \int f_1(\phi) d\phi \right] & \phi \in [0; \pi] \\ \frac{(D_l^2 - d_c^2)}{8} \left[(b_z - b_d)(2\pi - \phi) - \frac{2 \cdot k \cdot \pi}{2 \cdot \pi \cdot (k-1) + \phi} \int f_1(\phi) d\phi \right] & \phi \in [\pi; 2\pi] \end{cases}$$

де D_l і d_c - відповідно діаметри лопаті і маточини шнека; b_z - ширина захвату шнека; b_d - ширина відрізного диска шнека; $f_1(\phi)$ - рівняння гвинтової лінії лопаті шнека, для якої розглядається процес вивантаження вугілля; $f_2(\phi)$ - рівняння гвинтової лінії відстаючої по напрямку обертання лопаті.

ММ3 формування тиску в потоці вугілля, що вивантажується, установлює зміну нормального тиску p_n в перемішуваному потоці як функцію кута охвату шнека ϕ , конструктивних і режимних параметрів системи, а також фізико-механічних характеристик вибою, що руйнується, і вугілля, що транспортується.

Вихідні рівняння цієї моделі після ряду перетворень приведені до диференціального рівняння виду

$$\frac{dp_n}{d\phi} = \frac{a_1}{\cos(\phi)} + p_n(a_2 \operatorname{tg} \phi + a_3),$$

де a_1, a_2, a_3 - коефіцієнти, що відбивають вплив конструктивних і режимних параметрів системи вивантаження, а також фізико-механічних властивостей вибою і зруйнованого вугілля

$$a_1 = \frac{\rho_y \cdot g}{2} \cdot (R + r) \cdot (\cos \alpha - f_n \cdot \sin \alpha);$$

$$a_2 = \frac{n_{\min}}{R-r} \cdot (k_v^r \cdot r - k_v^{R2} \cdot R) \cdot (\cos \alpha - f_n \cdot \sin \alpha);$$

$$a_3 = \frac{n_{\min}}{R-r} \cdot \left[\cos(\alpha)(k_v^r r f_r - k_v^{R1} R f_{R1})(\cos(\alpha) - f_n \sin(\alpha)) + \right. \\ \left. + \sin \alpha \cdot (k_v^r \cdot r \cdot f_r - k_v^{R2} \cdot R \cdot f_{R2}) \cdot (\sin \alpha - f_n \cdot \cos \alpha) \right];$$

Рішення рівняння (3) у квадратурах має вид

$$p_n = \frac{(\cos \varphi)^{a_2}}{\exp(a_3 \cdot \varphi)} \cdot \int \left[-\frac{a_1}{\cos \varphi} \cdot \exp[(-a_2 \cdot \ln(\cos(\varphi)) + a_3 \cdot \varphi)] d\varphi + \right. \\ \left. + \cos \varphi^{a_2} \cdot [\exp(a_3 \cdot \varphi)]^{-1} \cdot C. \right.$$

Оскільки вираження для p_n не може бути отримане в елементарних математичних функціях, то рівняння (3) вирішено чисельно методом Рунге-Кутта 4-го порядку апроксимації.

ММ4 формування сили опору у вікні вивантаження встановлює зміну тиску у вікні вивантаження шнекового виконавчого органа очисного комбайна в залежності від конструктивних параметрів системи активного вивантаження, фізико-механічних характеристик зруйнованого вугілля, сили активуючого впливу.

Вираження для визначення тиску у вікні вивантаження має вид

$$p_{ок}(\varphi) = \frac{0,5 \cdot l \cdot \gamma \cdot g \cdot S_g \cdot [f + (e^{ml} - 1)] - F_{акт}}{S_{ок}(\varphi)},$$

де $S_{ок}(\varphi)$ - поточне значення площі вікна вивантаження; φ - поточне значення кута охопту вікна вивантаження; S_g - площа перетину тіла волочіння по вікну вивантаження; l - довжина тіла волочіння; γ - щільність насипного вугілля; g - прискорення вільного падіння; f - коефіцієнт тертя вугілля по вугіллю; $F_{акт}$ - сила активуючого впливу на масив насипного вугілля

$$m = 2f \cdot n_b \cdot l \cdot \tan \rho_d \cdot S_g^{-1},$$

де n_b - коефіцієнт бічного тиску; ρ_d - динамічний кут укосу перемішуваного потоку вугілля.

ММ5 додаткового активуючого впливу установлює функціональний зв'язок між силою активуючого впливу і параметрами акти-

вуючих пристроїв. Тут як приклад приводяться моделі, що встановлюють зв'язок між силою гідродинамічного впливу напірних струменів рідини активуючих пристроїв систем активного вивантаження і їх конструктивними і режимними параметрами.

Розроблене сімейство поліноміальних чотирьохмірних лінійних і нелінійних моделей множинної регресії 1...6 порядків представлено у виді

$$\bar{y} = F_{2\partial}(d, L, p) = \sum_{i=0}^k b_i \cdot d^{I_i} \cdot L^{J_i} \cdot p^{G_i},$$

де $F_{2\partial}$ - сила гідродинамічного впливу незатопленого струменя рідини на перешкоду; d - початковий діаметр струменя; L - відстань від насадка до перешкоди; p - початковий тиск струменя рідини; b_i - коефіцієнти рівняння множинної регресії ($i=0,1,\dots,k$); I_i, J_i, G_i - показники ступеня при незалежних перемінні рівняння регресії; k - число членів рівняння регресії.

Створені також тривимірні моделі для фіксованих дискретних значень $p = const$ виду

$$y' = F'_{2\partial}(d, L) = \sum_{i=0}^k b'_i \cdot d^{I_i} \cdot L^{J_i},$$

що дозволяють виконати графічну інтерпретацію отриманих результатів, а також більш зручні для рішення ряду проектних задач.

ММ6 керованого технологічного впливу встановлюють функціональний зв'язок між значеннями кінематичного коефіцієнта тертя вугілля, що вивантажується, по робочих поверхнях шнеків і параметрами систем активного вивантаження. Розроблене сімейство поліноміальних чотирьохмірних лінійних і нелінійних моделей множинної регресії 1...4...4 порядків представлено у виді

$$f = F(Ra, p_f, W) = \sum_{j=0}^k b_j \cdot Ra^{I_j} \cdot p_f^{J_j} \cdot W^{G_j},$$

де f - кінематичний коефіцієнт тертя вугілля, що вивантажується, по робочих поверхнях шнеків; Ra - параметр шорсткості робочих поверхонь шнеків; p_f - тиск вугілля на робочі поверхні шнеків; W - вологість вугілля, що вивантажуються; b_j - коефіцієнти рівняння

множинної регресії ($j = 0, 1, \dots, k$); I_j, J_j, G_j - показники ступеня при незалежних перемінних рівняння регресії; k - число членів рівняння регресії.

Створені також тривимірні моделі для фіксованих дискретних значень $W = \text{const}$ виду

$$f = F'(Ra, p_f) = \sum_{j=0}^k b'_j \cdot Ra^{I_j} \cdot p_f^{J_j},$$

а також виду

$$f = F''(Ra, p_f) = c \cdot Ra^{k_1} \cdot p_f^{k_2},$$

де c - коефіцієнт рівняння регресії; k_1, k_2 - показники ступеня відповідно для параметрів Ra і p_f .

Сукупність одночасно взаємодіючих у часі і просторі частинних моделей ММ1-ММ6 (за допомогою їхньої комп'ютерної реалізації) описує функціонування системи активного вивантаження вугілля як транспортуючого пристрою [2] і є інтегральною моделлю її робочого процесу.

Інтегральна модель відбиває прямі і зворотні взаємозв'язки між конструктивними, технологічними і режимними параметрами системи, а також фізико-механічними властивостями зруйнованого вугілля. Адекватність частинних і інтегральної моделей підтверджена результатами комплексних експериментальних досліджень, виконаних у представницьких умовах спеціального повнорозмірного стенда [3]. На основі виконаних модельних і експериментальних досліджень установлені закономірності функціонування систем активного вивантаження.

З урахуванням установлених закономірностей функціонування об'єкта досліджень задача його структурно-параметричної оптимізації трактується як задача оптимальної адаптації систем вивантаження до конкретних умов експлуатації очисних комбайнів і сформульована в наступному виді: знайти простір оптимальних значень структури, параметрів і режимів роботи системи вивантаження, при яких цільова функція (теоретична продуктивність очисного комбайна) досягає максимального значення при використанні машини в заданій області гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов експлуатації й обліку впливу обмежуючих факторів на можливу величину перемінних параметрів проектування.

Математична модель оптимізації представлена у виді

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Знайти } R_{\text{СВ}}^0 \supset \bar{X}_{\text{СВ}1}, \quad (1 = \overline{1, N_1}), \\ Q_{\text{ОК}}(\bar{X}_{\text{СВ}}, \bar{C}) = \max_1 Q_{\text{ОК}}(\bar{X}_{\text{СВ}}, \bar{C}), \\ \bar{X}_{\text{СВ}} \in R_{\text{СВ}}^n, \bar{C} \in G, \\ R_{\text{СВ}}^n \supset \bar{X}_{\text{СВ}} \left\{ \begin{array}{l} a_{1m} \leq X_{\text{СВ}m} \leq a_{2m}, \quad (m = \overline{1, N_m}), \\ \bar{g}_{\text{СВ}j}(\bar{X}_{\text{СВ}}, \bar{C}) \leq 0, \quad (j = \overline{1, N_j}), \\ X_p - \text{дискретні}, \quad (p = \overline{1, N_p}), \end{array} \right. \end{array} \right.$$

де $R_{\text{СВ}}^0$ - простір оптимальних значень вектора перемінних проектування; N_1 - число оптимальних рішень; $Q_{\text{ОК}}(\bar{X}_{\text{СВ}}, \bar{C})$ - цільова функція оптимізації; $\bar{X}_{\text{СВ}}$ - вектор перемінних проектування; \bar{C} - вектор постійних проектування; $R_{\text{СВ}}^n$ - простір проектування; G - область гірничо-геологічних і гірничотехнічних умов використання очисного комбайна; a_{1m}, a_{2m} - відповідно мінімальне і максимальне можливі значення m -й компоненти вектора перемінних проектування; N_m - число обмежених компонентів вектора $\bar{X}_{\text{СВ}}$; $\bar{g}_{\text{СВ}j}(\bar{X}_{\text{СВ}}, \bar{C})$ - вектор-функція обмежень простору проектування; N_j - число функцій, що обмежують простір проектування; N_p - число компонентів вектора перемінних проектування, що приймають цілочисельні значення.

Установлено, що найбільш сприятливі умови для синтезу систем активного вивантаження створюють механо-гідродинамічні системи, які забезпечують одночасний комбінований активуючий гідродинамічний вплив на вугілля за допомогою декількох нерухомих струменеформуючих пристроїв (розташованих у різних зонах). Розроблено методику визначення і визначені оптимальні конструктивні, технологічні і режимні параметри таких систем стосовно до різних умов експлуатації очисних комбайнів [4]. На цій основі синтезовані й експериментально протестовані шнекові механо-механо-гідродинамічні системи активного вивантаження [5], що забезпечують підвищення навантажувальної здатності в два і більш рази в порівнянні із системами пасивного вивантаження традиційної структури при одночас-

ному істотному зниженні рівня питомих енерговитрат робочого процесу (рис.1).

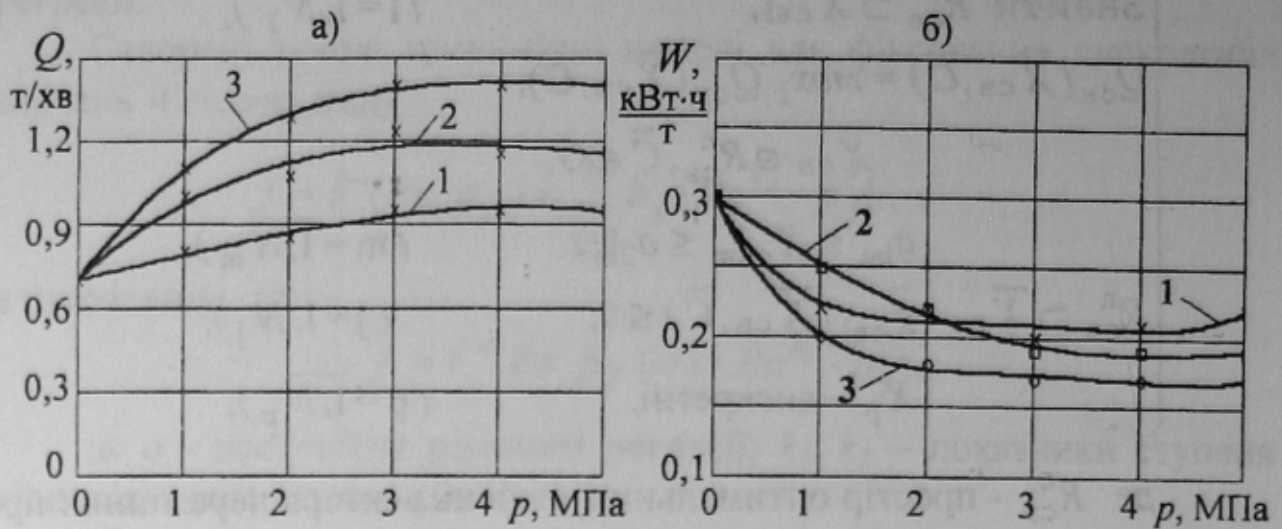


Рисунок 1 - Графіки зміни продуктивності вивантаження (а) і питомих енерговитрат (б) як функції тиску рідини в активуючих пристроях: 1,2 – роздільна робота двох пристроїв, розташованих у різних зонах; 3 – спільна робота цих пристроїв

Висновки і напрямок подальших досліджень. Системи активного вивантаження вугілля, синтезовані на основі запропонованої концепції удосконалювання виконавчих органів, є ефективним і реалізованим при мінімальних витратах засобом підвищення технічного рівня очисних комбайнів для виїмки тонких положистих пластів.

Список джерел.

1. Нечепаяев В.Г. Разработка исполнительного органа повышенной погрузочной способности для очистных комбайнов, работающих в условиях тонких пластов // Известия вузов. Горный журнал. - 1996. - №1. - С. 110-114.
2. Нечепаяев В.Г. Основы теории функционирования механо-гидродинамических систем активной выгрузки угля очистных комбайнов // Известия Донецкого горного института. Донецк. - 2002. - №1. - С.10-15.
3. Нечепаяев В.Г., Семенченко А.К. Моделирование и экспериментальные исследования механо-гидродинамической системы активной выгрузки угля очистных комбайнов // Наукові праці Донецького державного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк (ДонНТУ), 2001. - № 35. - С. 138-143.
4. Нечепаяев В.Г. Эффективность шнековых исполнительных органов комбайнов для тонких пластов // Уголь Украины. - 2001. - №4. - С. 20-22.
5. Нечепаяев В.Г. Результаты экспериментального определения интегральных показателей эффективности механо-гидродинамических систем выгрузки угля очистных комбайнов // Збірник наукових праць ДонДТУ. Серія Гірничо-геологічна. – Донецьк (ДонДТУ), 2002. - № 45. – С. 130-135.