Б. О. Блюсс /д. т. н./, С. В. Дзюба /к. т. н./,
Є. В. Семененко /д. т. н./

М. М. Лях /к. т. н./

Інститут геотехнічної механіки
ім. М.С. Полякова НАН України, м. Дніпро,
Україна

Івано-Франківський національний технічний
університет нафти і газу МОН України,
м. Івано-Франківськ, Україна
e-mail: sergejdzuba@gmail.com

Оцінка методів підвищення ефективності функціонування гідротехнічних систем гірничо-металургійних комбінатів

B. O. Blyuss /Dr. Sci. (Tech.)/,
S. V. Dziuba /Cand. Sci. (Tech.)/,
Ye. V. Semenenko /Dr. Sci. (Tech.)/
M. M. Liah /Cand. Sci. (Tech.)/

Polyakov Institute of Geotechnical Mechanics
of National Academy of Sciences of Ukraine,
Dnipro, Ukraine

Ivano-Frankivsk National Technical University
of Oil and Gas Ministry of Science and Science
of Ukraine, Ivano-Frankivsk, Ukraine
e-mail: sergejdzuba@gmail.com

Evaluation of methods for improving efficiency of the hydrotechnical systems functioning at mineral-metallurgical combines

Мета. Обґрунтування методів оцінки ефективності функціонування гідротехнічних систем гірничо-металургійних комбінатів з урахуванням показників оціночного та порівняльного аналізу та на основі раціональних параметрів трубопроводів і концентрації гідросуміші.

Методика. Аналіз сучасних методів оцінки ефективності експлуатації гідротехнічних систем підприємств гірничо-металургійної галузі дозволив визначити перспективні напрями застосування різних хімічних реагентів з метою зниження гідравлічного опору при транспортуванні гідросумішей у технологіях переробки мінеральної сировини.

Результати. Обґрунтовано раціональні параметри режимів роботи гідротехнічних систем гірничо-металургійних комбінатів, а саме: діаметр трубопроводу і концентрація гідросуміші для заданого об'єму транспортування з метою забезпечення мінімуму наведених витрат за період оцінки та з урахуванням хімічних реагентів, які використовуються для підвищення ефективності трубопровідного транспорту.

Наукова новизна. На основі аналізу методів оцінки функціонування гідротехнічних систем обґрунтовано перспективні напрями підвищення ефективності технологій переробки мінеральної сировини. Визначено, що найбільш раціональними в існуючих умовах методами підвищення ефективності й надійності роботи гідротранспортного комплексу є коригування параметрів в'язкості гідросумішей і зниження коефіцієнта гідравлічних опорів тертя в трубопроводах за рахунок використання добавок до несучої рідини гідродинамічно активних речовин і поліетиленових труб.

Практична значущість. Полягає у вдосконаленні методів розрахунку раціональних параметрів і режимів роботи гідротехнічних систем, які дозволяють визначати значення швидкості і концентрації гідросуміші, тим самим забезпечуючи мінімум наведених витрат за розрахунковий період. Ці методи адаптовані для випадку використання поліетиленових труб з урахуванням добавок до несучої рідини гідродинамічно активних речовин, які враховують зниження наведених витрат за рахунок діагностування технічного стану обладнання, а також дозволяють оптимізувати витрати на технічне обслуговування. (Іл. 1. Бібліогр.: 10 назв.)

Ключові слова: гідротехнічні системи, оціночний і порівняльний аналіз, коефіцієнт гідравлічної надійності, економічна ефективність.

DOI: 10.33101/S005-2343455

Вступ. Як правило, оцінка ефективності роботи гідротранспортних установок проводиться на основі трьох показників: питомий натиск, питома витрата енергії і енергоємність гідротранспортування. Потрібно відзначити, що жоден з цих параметрів не враховує, що оцінка ефективності роботи гідротранспортного устаткування в гідротехнічних системах технологій переробки мінеральної сировини проводиться для різних періодів часу функціонування гірничо-металургійних комбінатів [1–3].

Визначення параметрів ефективності роботи гідротехнічних систем у даний і попередній момент часу є основою для оціночного аналізу ефективності. Порівнюючи параметри роботи різних гідротранспортних установок щодо технологій переробки мінеральної сировини для визначення, яка з них працює найбільш ефективно, обґрунтовуємо висновки для порівняльного аналізу ефективності. Параметри, які використовуються при оцінці ефективності роботи гідротранспортних установок, можна поділити на інтегральні, погонні, питомі і відносні параметри. Інтегральні параметри відображають результат роботи гідротранспортної установки за деякий проміжок часу. До них належать обсяги оборотної води і електроенергії, що припадає на одиницю об'єму або маси переміщуваного матеріалу. Погонні параметри ефективності роботи гідротранспортної установки – це параметри роботи насосного обладнання, віднесені до розрахункової довжини магістралі: погонний натиск, погонна потужність насосного обладнання.

Питомими параметрами ефективності роботи гідротранспортної установки визначаємо параметри роботи насосного обладнання, що припадають на одиницю маси або об'єму матеріалу, який транспортується. Такими параметрами є: питомий натиск, питома сила струму, питома потужність насосного обладнання. До відносних параметрів ефективності роботи гідротранспортної установки віднесемо безрозмірні параметри, що показують, яка частка витраченої потужності припадає на вчинення корисної роботи. Це ККД гідротранспортної установки, коефіцієнт транспортних втрат і коефіцієнт використання гідротранспортної установки, питомо-погонний натиск і питомо-погонна сила струму.

Використання відносних параметрів ефективності роботи дозволяє порівнювати ефективність роботи гідротранспортних установок, які перебувають у різних технологічних і ландшафтних умовах. Так, гідротранспортні установки деяких збагачувальних фабрик виконують не тільки транспортну функцію, а й технологічну, а саме забезпечують подачу гідросуміші, яка транспортується до збагачувального устаткування. Для

оцінки ефективності роботи таких установок визначимо, яка частина потужності, що розвивається, проводиться на транспортну, а яка – на технологічну функцію.

Постановка завдання. Напір, який розвивається насосами гідротранспортної установки, визначається виразом [3; 4]:

$$H = iL_{PC} + h_0 + h_{\Gamma}, \quad (1)$$

де i – гідравлічний ухил при русі гідросуміші; L_{PC} – розрахункова довжина гідротранспортної магістралі; h_0 – залишковий напір магістралі; h_{Γ} – різниця геодезичних відміток початку і кінця магістралі.

Розділивши обидві частини рівняння на величину L_{PC} , маємо:

$$i_H = i + i_{\Gamma} + i_0; \quad i = \frac{h_0}{L_{PC}}; \quad i_{\Gamma} = \frac{h_{\Gamma}}{L_{PC}}, \quad (2)$$

де i_H – погонний напір; i_0 і i_{Γ} – залишковий і геодезичний ухили гідротранспортної магістралі.

Ці величини характеризують технологічні та ландшафтні параметри установки. На підставі цього для оцінки ефективності гідротранспортних установок пропонуються величини:

$$\varsigma = \frac{i}{i_H}; \quad \xi = \frac{i_0 + i_{\Gamma}}{i_H}, \quad (3)$$

де ς і ξ – коефіцієнт транспортних втрат і технологічності.

Ці величини виражають, яка частка напору, що розвивається насосним устаткуванням гідротранспортної установки, припадає на подолання тертя, а яка – на подолання різниці геодезичних відміток і на створення залишкового напору.

Корисною роботою гідротранспортної установки буде робота, яка витрачена на переміщення заданої витрати матеріалу на необхідну відстань. Отже, корисна потужність визначається так:

$$N_n = g\rho_m Q_m L, \quad (4)$$

де L , ρ_m і Q_m – відстань, щільність і витрати матеріалу, що транспортується.

Крім того, в деяких гідротранспортних установках необхідно подолати різницю геодезичних відміток і забезпечити на виході з магістралі заданий натиск. Таким чином, фактична корисна потужність буде:

$$N_{\phi} = g\rho_m Q_m (L + h_e) + g\rho Q h_0. \quad (5)$$

Потужність, що витрачається на гідротранспортування, дорівнює потужності насосного обладнання гідротранспортної установки. Таким чином, ККД гідротранспортної установки розраховується за формулою:

$$\bar{\eta} = \eta \frac{\rho_T C (\delta + i_T)}{i_{HP}} + \eta \frac{i_0}{i_H}, \quad (6)$$

де δ – звивистість гідротранспортної магістралі [1]; η – ККД насосного устаткування.

Питомо-погонні параметри ефективності роботи гідротранспортної установки показують, який напір припадає в даній гідротранспортній установці при транспортуванні однієї тонни матеріалу на один метр гідротранспортної магістралі. Абстрактні параметри ефективності роботи гідротранспортної установки відображають ефективність лише процесу гідротранспортування. Ці параметри показують частку питомих втрат напору, яка припадає на переміщення твердої і рідкої фаз.

При русі гідросуміші питомі втрати напору складаються із суми питомих втрат на переміщення несучої рідини і питомих втрат на переміщення твердого матеріалу [3; 5; 6]:

$$i = i_T + i_B, \quad (7)$$

де i_T і i_B – додатковий гідравлічний ухил і гідравлічний ухил несучої рідини.

Співвідношення величин i_T і i_B буде визначати ефективність процесу гідротранспортування. Для оцінки цього співвідношення пропонуємо такі параметри:

$$k_T = \frac{k}{1+k}; \quad k = \frac{i_T}{i_B}; \quad e = \frac{S}{(1-S)k}, \quad (8)$$

де k_T і k – відносний гідравлічний ухил несучої рідини і відносний додатковий гідравлічний ухил; e – відношення питомих гідравлічних ухилів твердого матеріалу і несучої рідини.

Необхідно відзначити, що для порівняльного аналізу ефективності роботи гідротранспортних установок, на відміну від оціночного, застосовані не всі перелічені вище параметри. Гідротранспортні установки, що перебувають у різних ландшафтних умовах, мають магістралі різної довжини. У деяких гідротранспортних системах необхідно забезпечити заданий натиск на виході з магістралі, на що витрачається частина потужності насосного обладнання. Отже, інтегральні, погонні і питомі параметри ефективності роботи гідротранспортної установки не завжди можуть використовуватися для порівняльного аналізу. Доцільно було б запропонувати використання погонних і питомих параметрів для порівняльного аналізу роботи гідротранспортних установок з близькими ζ і ξ . В іншому випадку порівняльний аналіз із застосуванням погонних і питомих параметрів краще проводити, замінивши у формулах величину i_H на величину:

$$i = i_H - (i_T + i_0). \quad (9)$$

Аналіз сучасних методів підвищення ефективності функціонування гідротехнічних систем у технологіях переробки мінеральної сировини показав необхідність обґрунтувати застосування різних хімічних реагентів з метою зниження гідравлічного опору при транспортуванні гідросумішей.

Першими реагентами, які знайшли своє застосування на початку 50-х років минулого сторіччя в трубопровідному транспорті, стали поверхнево активні речовини (ПАР), які використовувалися для очищення трубопроводів і ємностей [7]. Перші відомості про ПАР аніонного типу відносять ще до VIII ст., коли почалося виробництво солей карбонових кислот з рослинних і тваринних жирів, відомих під назвою мила. Подальший розвиток хімічної промисловості привів до створення високомолекулярних сполук – полімерів, які використовуються в трубопровідному транспорті – карбоксиметилцелюлоза (КМЦ), поліакриламід (ПАА), поліакрилонітрил (ПАН), поліпропен (ПП), поліетилакрил (ПЕА), поліетиленоксид (ПЕО) [7; 8]. Найбільшого поширення серед них набули поліакриламід і його похідні. Протягом XX ст. сформувалися основні групи хімічних реагентів, які сприяють вдосконаленню процесів трубопровідного транспорту (рис. 1), для яких доведено можливість їх застосування на об'єктах трубопровідного транспорту для вирішення різних завдань [7].

При додаванні в напірний потік ПАР і гідродинамічно активних речовин (ГДАР) насосні станції необхідно укомплектувати обладнанням для підготовки та подачі розчинів, що збільшує капітальні витрати, одночасно потрібна постійна закупівля самих ГДАР, що збільшує частину експлуатаційних витрат, однак при цьому знижуються гідравлічний опір і, відповідно, необхідна потужність насосів.

Відомі методики оцінки економічної ефективності припускають використання наведених річних витрат [4; 6]:

$$\Pi = C + (p + E)K; \quad (10)$$

$$C = (Z_N + (Z_E + Z_T)T)N + Z_0(1-S)QT + C_E, \quad (11)$$

де відповідно Π – наведені річні витрати; C – річні експлуатаційні витрати; K – капітальні вклади; p – річні відрахування на поточний ремонт і амортизацію споруд; E – коефіцієнт порівняльної ефективності; Z_N – витрати на матеріали, віднесені до одиниці робочої потужності; Z_E – вартість електроенергії для промислових підприємств; Z_T – заробітна плата з нарахуваннями працівників насосних станцій; T – середньостатистична кількість годин роботи установки за рік; N – установча потужність насосів гідротранспортного комплексу; Z_0 – вартість води для промислових підприємств;

Рис. 1. Групи хімічних реагентів, які використовуються для підвищення ефективності трубопровідного транспорту

S – витратна концентрація пульпи; Q – необхідна об’ємна витрата пульпи; C_E – додаткові витрати, які не залежать від параметрів трубопроводу; D – діаметр трубопроводу; δ – товщина стінок трубопроводу; ρ_T – щільність матеріалу трубопроводу; K_1 – вартість труб, зварювання і транспортування, віднесена до одиниці ваги; K_2 – вартість земляних робіт, віднесена до одиниці діаметра труб; K_3 – вартість вишукувальних робіт, будівництва доріг, ліній зв’язку тощо; L – довжина трубопроводу; K_4 – вартість насосних агрегатів, віднесена до одиниці потужності; K_0 – витрати, які не залежать від параметрів трубопроводу.

З урахуванням залежності величини N від параметрів гідротранспорту, яка обґрунтована аналізом результатів досліджень [4; 6], для гідротранспортної установки зі сталевим трубопроводом без використання ГДАР формула для розрахунку наведених річних витрат має вигляд:

$$\Pi = \frac{\Pi_1 X}{D^{4.5}} + \frac{\Pi_1 B}{D^{4.865}} + \Pi_1 W D^{2.5} + \Pi_2 D + \Pi_0 + R \Pi_1; \quad (12)$$

$$\Pi_1 = Z_N + (Z_E + Z_T)T + 1.1(E + p)K_4; \quad (13)$$

$$X = \frac{\Psi g \rho}{12.5 \eta} \varphi L \frac{\sqrt{\rho_c \mu_c}}{\rho_0 g \pi^{1.5}} Q^{2.5}; \quad (14)$$

$$\Pi_0 = Z_0 (1 - S) Q T + (E + p) K_3 L + K_0 (E + p) + C_4;$$

$$R = \Delta Z \Psi g \frac{Q}{\rho_0 \eta} \rho^2 \quad (15)$$

$$\Pi_2 = (E + p)(\pi \delta \rho_T K_1 + K_2) L;$$

$$B = \frac{\Psi g \rho}{25.97 \eta} \frac{AR_2 Q^{2.865}}{g \pi^{1.865}} \varphi L \left(\frac{v_1}{4} \right)^{0.135} \quad (16)$$

$$W = \frac{\Psi \rho}{\eta} AR_3 c_1 \varphi L \frac{g \pi w}{4 \sqrt{d}};$$

$$A = \frac{ArS(1 - R_1 S)}{1 + ArR_1 S} \quad Ar = \frac{\rho_s - \rho_0}{\rho_0} \quad (17)$$

де Ψ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність роботи насосів; ρ – щільність пульпи; η – ККД насосу; φ – коефіцієнт, що враховує місцевий

гідрравлічний опір; ρ_c – щільність суспензії з частинок діаметром менше 0,05 мм; μ_c – динамічний коефіцієнт в'язкості суспензії з частинок діаметром менше 0,05 мм; ΔZ – різниця геодезичних відміток початку і кінця траси; R_1, R_2, R_3 – масова частка в матеріалі часток розміром менш 0,05 мм, 1,5 мм і більше 3 мм; v_1 – кінематичний коефіцієнт в'язкості несучої рідини; c_1 – експериментальна константа; w, d – гідрравлічна крупність і середньозважений діаметр частинок класу більше 0,05 мм, але менше 1,5 мм; ρ_s, ρ_0 – щільність матеріалу, що транспортується, і води.

Застосування ПВХ труб дозволяє забезпечити необхідну витрату пульпи з меншими гідрравлічними опорами, тобто значно знизиться встановлена потужність, а крім цього, капітальні витрати стануть залежні від гідрравлічних параметрів течії:

$$K_1 = P_0 + P_1 \left(\frac{\mu\phi}{n} \right)^m H'^m, \quad (18)$$

де m, P_0, P_1 – параметри апроксимації; H' – втрати напору в магістралі з ПВХ труб; μ – коефіцієнт, що враховує підвищення тиску за рахунок близького розташування послідовно з'єднаних насосів; ϕ – коефіцієнт запасу, що враховує підвищення тиску при гідрударі; n – кількість насосів, які використовуються.

Наприклад, для труб за ДОСТ 18599-83, виробництва ТОВ «Укрпластпереробка», величини m, P_0, P_1 складають 1, 186.88 і 4.47.

Таким чином, з урахуванням зазначених залежностей, а також особливостей течії в ПВХ трубах [4; 6], для гідротранспортної установки з такими трубопроводами без використання ГДАР формулу для розрахунку наведених річних витрат можна записати у вигляді:

$$\Pi = a \frac{X\Pi_1}{D^{5-n}} + b \frac{B\Pi_1}{D^{5-k}} + \frac{c'_1}{c_1} W\Pi_1 D^{2.5} + R\Pi_1 + \Pi_0 + \omega\Pi_2 D + \Pi_3 D \left(\frac{R\eta}{\psi_{gr}} + \frac{a\eta X}{\psi_{gr} D^{5-n}} + \frac{b\eta B}{\psi_{gr} D^{5-k}} + \frac{c'_1}{c_1} \frac{\eta W}{\psi_{gr}} D^{2.5} \right)^m; \quad (19)$$

$$\omega = \frac{\frac{\delta' \rho'_T}{\delta \rho_T} \frac{P_0}{K_1} + \frac{K_2}{\pi \delta \rho_T K_1}}{1 + \frac{K_2}{\pi \delta \rho_T K_1}}; \quad \Pi_3 = \pi D \delta' \rho'_T P_1 \left(\frac{\mu\phi}{n} \right)^m L; \quad (20)$$

$$b = 12.985 C_k \left(\frac{\pi v_1}{4Q} \right)^{k-0.135}; \quad a = 6.25 C_n \left(\frac{Q}{\pi} \right)^{0.5-n} \quad (21)$$

де δ' – товщина стінки ПВХ труби; ρ'_T – щільність матеріалу ПВХ труби; C_k, k – коефіцієнт пропорційності і показник ступеня у формулі для розрахунку коефіцієнта гідрравлічного опору від числа Рейнольдса при русі структурованої суспензії в ПВХ трубі; C_n, n – коефіцієнт пропорційності і показник ступеня у формулі для розрахунку коефіцієнта гідрравлічного опору від числа Рейноль-

дса при русі пульпи в ПВХ трубі; c'_1 – значення експериментальної константи при русі пульпи в ПВХ трубі.

З урахуванням залежності величини N від параметрів гідротранспорту, базованої на результатах розрахунків ряду відомих вчених, для гідротранспортної установки зі сталевим трубопроводів з використання ГДАР формулу для розрахунку річних витрат можна записати у вигляді:

$$\Pi = \frac{\Pi_1 A}{D^{4.5}} + b_* \frac{\Pi_1 B}{D^{2-p}} + \frac{w_*}{w} \Pi_1 W D^{2.5} + \Pi_1 R + \Pi_0 + \Delta \Pi_* + \Pi_2 D; \quad (22)$$

$$b_* = 12.985 \frac{C_p}{\phi L} \left(\frac{\pi v_1}{4Q} \right)^{p-0.135}; \quad \Delta \Pi_* = \alpha Z_* Q T, \quad (23)$$

де w_* – гідрравлічна крупність частин класу більше 0,05 мм, але менше ніж 1,5 мм після флокуляції ГДАР; C_p, p – коефіцієнт пропорційності і показник ступеня у формулі для розрахунку коефіцієнта гідрравлічного опору від числа Рейнольдса при течії пульпи в трубі з добавками ГДАР; α – об'ємна частка ГДАР, яку додають у пульпу; Z_* – вартість ГДАР.

На основі залежностей (12)–(23) можна в першому наближенні проводити оцінку економічної ефективності працюючих і проектних установок для гідротранспорту, оцінювати ефективність їх модернізації, а також обґрунтовувати раціональні параметри і режими роботи.

Оцінка економічної ефективності проводиться безпосередньо розрахунками за формулами (12)–(23). Для оцінки ефективності модернізації, наприклад, заміни сталевих труб на ПВХ труби або застосування добавок ГДАР, необхідно, щоб різниця відповідних наведених річних витрат була позитивна:

$$\delta \Pi_* = \frac{\Pi_1 B}{D^{4.865}} \left(1 - b_* D^{2.865+p} \right) + \Pi_1 W \left(1 - \frac{w_*}{w} \right) D^{2.5} - \Delta \Pi_*; \quad (24)$$

$$\delta \Pi' = \frac{\Pi_1 A}{D^{4.5}} \left(1 - a D^{n-0.5} \right) + \frac{\Pi_1 B}{D^{4.865}} \left(1 - b D^{k-0.135} \right) + \Pi_1 W \left(1 - \frac{c'_1}{c_1} \right) D^{2.5} + \Pi_2 (1 - \omega) D - \Pi_3 D \times \quad (25)$$

$$\times \left(\frac{R\eta}{\psi_{gr}} + \frac{a\eta X}{\psi_{gr} D^{5-n}} + \frac{b\eta B}{\psi_{gr} D^{5-k}} + \frac{c'_1}{c_1} \frac{\eta W}{\psi_{gr}} D^{2.5} \right)^m.$$

Обґрунтування раціональних параметрів і режимів роботи полягає у виборі для заданого вантажопотоку такого діаметру трубопроводу і концентрації гідросуміші, які забезпечували б мінімум наведених витрат за період оцінки. Використовуючи відому залежність між вантажопотоком, концентрацією і об'ємною витратою

пульпи, можна виключити з формул (11)–(23) величину, після чого поставлена задача зводиться до розв'язання системи рівнянь:

$$\frac{d\Pi}{dD} = 0; \quad \frac{d\Pi}{dS} = 0, \quad (26)$$

після розв'язання якої потрібно перевірити умову відсутності критичних режимів течії.

Залежності (12)–(23) є наближеними, вимагають доопрацювання з метою врахування цілого ряду факторів, зокрема не враховують заходи з діагностики технічного стану труб і насосів. Однак вони дозволяють оцінити потенціал розглянутих систем, складність поставленої проблеми і окреслити можливі шляхи її вирішення.

Одним з найбільш поширених методів забезпечення ефективної та надійної роботи елементів ГТСТОМС є діагностика їх технічного стану [10]. За даними державних наглядових органів Росії частка причин аварій, що виявляються діагностуванням, досягає 60 % [10].

У роботі [10] витрати з урахуванням ефективності діагностики виробничого об'єкта, можуть бути враховані таким чином:

$$K_D = \sum_{t=0}^T \frac{3_t + \beta_t (1 - D\alpha)Y}{(1 - E)^t}, \quad (27)$$

де 3_t – витрати на проведення щорічної діагностики та усунення виявлених дефектів; β_t – розрахункове значення ймовірності аварії в t -му році; α – частка дефектів, що виявляються діагностикою (приблизно 0,6); D – вірогідність діагностики (зазвичай від 0,8 до 0,9); Y – ймовірний збиток від аварії; E – норма дисконту (зазвичай 0,1–0,2); t – рік експлуатації об'єкта; T – період експлуатації об'єкта.

Найбільш ефективним методом діагностики вважається той, для якого значення критерію буде найменшим [10].

Висновки. На основі аналізу методів оцінки функціонування гідротехнічних систем обґрунтовано перспективні напрями підвищення ефективності технологій переробки мінеральної сировини. Визначено, що найбільш раціональними в існуючих умовах методами підвищення ефективності і надійності роботи гідротранспортного комплексу є коригування параметрів в'язкості гідросумішей і зниження коефіцієнта гідравлічних опорів тертя в трубопроводах за рахунок використання добавок до несучої рідини гідродинамічно активних речовин і поліетиленових труб.

Практична значущість результатів роботи полягає у вдосконаленні методів розрахунку раціональних параметрів і режимів роботи гідротехнічних систем, які дозволяють визначати значення швидкості і концентрації гідросуміші, що забезпечують мінімум приведених витрат за

розрахунковий період. Ці методи адаптовані для випадку використання поліетиленових труб з урахуванням добавок до несучої рідини гідродинамічно активних речовин, які враховують зниження приведених витрат за рахунок діагностування технічного стану обладнання, а також дозволяють оптимізувати витрати на технічне обслуговування.

Бібліографічний список / References

1. Обоснование параметров и режимов работы систем гидротранспорта горных предприятий / Ю. Д. Баранов, Б. А. Блюсс, Е. В. Семененко, В. Д. Шурыгин. – Днепропетровск: Новая идеология, 2006. – 416 с.

Baranov Yu. D., Blyuss B. A., Semenenko E. V., Shuryigin V. D. *Obosnovanie parametrov i rezhimov raboty sistem gidrotransporta gornykh predpriyatiy*. Dnepropetrovsk, Novaya ideologiya, 2006, 416 p.

2. Булат А. Ф. Модели элементов гидротехнических систем горных предприятий: монография / А. Ф. Булат, О. В. Витушко, Е. В. Семененко; Ин-т геотехнической механики имени Н. С. Полякова НАН Украины. – Днепропетровск: Герда, 2010. – 216 с.

Bulat A. F., Vitushko O. V., Semenenko E. V. *Modeli elementov gidrotehnicheskikh sistem gornykh predpriyatiy*. IGTM NAN Ukraine. Dnepropetrovsk, Gerda, 2010, 216 p.

3. Блюсс Б. А. Параметры оценки эффективности работы гидротранспортных комплексов / Б. А. Блюсс, Е. В. Семененко // Геотехническая механика. Разработка месторождений твердых полезных ископаемых. – Днепропетровск, 1997. – Вып. 2. – С. 113–118.

Blyuss B. A., Semenenko E. V. *Parametryi otsenki effektivnosti raboty gidrotransportnykh kompleksov*. Geotekhnicheskaya mehanika. Razrabotka mestorozhdeniy tverdykh poleznykh iskopaemykh. Dnepropetrovsk, 1997, issue 2, pp. 113–118

4. Смолдырёв А. Е. Гидро- и пневмотранспорт в металлургии / А. Е. Смолдырёв. – М.: Металлургия, 1985. – 383 с.

Smoldyryov A. E. *Gidro- i pnevmotransport v metallurgii*. Moscow, Metallurgiya, 1985, 383 p.

5. Теория и прикладные аспекты гидротранспортирования твердых материалов / И. А. Асауленко, Ю. К. Витошкин, В. М. Карасик, С. И. Криль, В. Ф. Очередько. – К.: Наук. думка, 1981. – 364 с.

Asaulenko I. A., Vitoshkin Yu. K., Karasik V. M., Kril S. I., Ocheredko V. F. *Teoriya i prikladnyye aspekty gidrotransportirovaniya tverdykh materialov*. Kiev, Naukova dumka, 1981, 364 p.

6. Блюсс Б. О. Обґрунтування параметрів ефективності гідротехнічних систем в технологіях переробки мінеральної сировини / Б. О. Блюсс,

С. В. Дзюба, Є. В. Семененко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2018. – Вып. 4.

Blyuss B. A., Dziuba S. V., Semenenko E. V. *Obgruntuvannya parametriv efektyvnosti gldrotekhnicheskikh sistem v tehnologiyah pererobki mIneralnoYi sirovini*. Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyishlennost, 2018, issue 4.

7. Мастобаев Б. Н. История применения химических реагентов и технологий в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук, 07.00.10 – История науки и техники, 02.00.13 – Нефтехимия / Борис Николаевич Мастобаев. – Уфа, 2003. – 32 с.

Mastobaev B. N. *Istoriya primeneniya himicheskikh reagentov i tehnologiy v truboprovodnom transporte nefiti i nefteproduktov*. Ufa, 2003, 32 p.

8. Применение гидродинамически активных добавок полимеров и поверхностно-активных веществ в энергосберегающих технологиях / А. В. Ступин, П. В. Асланов, А. П. Симоненко, Н. В. Быковская, С. А. Фоменко // Прикладна гідромеханіка. – 2001. – Т. 3 (75), № 1. – С. 74–81.

Stupin A. V., Aslanov P. V., Simonenko A. P., Bykovskaya N. V., Fomenko S. A. *Primenenie gidrodinamicheskii aktivnykh dobavok polimerov i poverhnostno-aktivnykh veschestv v energosberegayushchih tehnologiyah*. Prikladna gidromekhanika, 2001, vol. 3 (75), no. 1, pp. 74-81.

9. Карасик В. М. Интенсификация гидротранспорта продуктов и отходов обогащения горно-обогатительных комбинатов / В. М. Карасик, И. А. Асауленко, Ю. К. Витошкин. – Киев: Наукова думка, 1976. – 156 с.

Karasik V. M., Asaulenko I. A., Vitoshkin Yu. K. *Intensifikatsiya gidrotransporta produktov i othodov obogascheniya gorno-obogatitelnykh kombinatov*. Kiev, Naukova dumka, 1976, 156 p.

10. Оценка эффективности технического диагностирования / А. В. Клейменов, Г. Л. Гендель, А. В. Швец // Сб. науч. тр. Национального исследовательского Томского политехнического университета. – Томск, 2011. – № 2. – С. 36–41.

Kleymenov A. V., Gendel G. L., Shvets A. V. *Otsenka effektivnosti tekhnicheskogo diagnostirovaniya*. Sb. nauch. tr. Natsionalnogo issledovatel'skogo Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Tomsk, 2011, no. 2, pp. 36-41.

Цель. Обоснование методов оценки эффективности функционирования гидротехнических систем горно-металлургических комбинатов с учетом показателей оценочного и сравнительного анализа и на основе рациональных параметров трубопроводов и концентрации гидросмеси.

Методика. Анализ современных методов оценки эффективности эксплуатации гидротехнических систем предприятий горно-металлургической от-

расли позволил определить перспективные направления применения различных химических реагентов с целью снижения гидравлического сопротивления при транспортировке гидросмесей в технологиях переработки минерального сырья.

Результаты. Обоснованы рациональные параметры режимов работы гидротехнических систем горно-металлургических комбинатов, а именно: диаметр трубопровода и концентрация гидросмеси для заданного объема транспортировки с целью обеспечения минимума приведенных затрат за период оценки и с учетом химических реагентов, используемых для повышения эффективности трубопроводного транспорта.

Научная новизна. На основе анализа методов оценки функционирования гидротехнических систем обоснованы перспективные направления повышения эффективности технологий переработки минерального сырья. Определено, что наиболее рациональными в существующих условиях методами повышения эффективности и надежности работы гидротранспортного комплекса являются корректировка параметров вязкости гидросмесей и снижение коэффициента гидравлических сопротивлений трения в трубопроводах за счет использования добавок к несущей жидкости гидродинамически активных веществ и полиэтиленовых труб.

Практическая значимость. Заключается в усовершенствовании методов расчета рациональных параметров и режимов работы гидротехнических систем, позволяющих определять значение скорости и концентрации гидросмеси, тем самым обеспечивая минимум приведенных затрат за расчетный период. Эти методы адаптированы для случая использования полиэтиленовых труб с учетом добавок к несущей жидкости гидродинамически активных веществ, учитывающих снижение величины приведенных затрат за счет диагностирования технического состояния оборудования, а также позволяющих оптимизировать расходы на техническое обслуживание.

Ключевые слова: гидротехнические системы, оценочный и сравнительный анализ, коэффициент гидравлической надежности, экономическая эффективность.

Purpose. Justification of hydraulic systems management methods of mining and metallurgical plants, taking into account indicators and comparative analysis and on the basis of pipelines rational parameters and slurry concentrates.

Methodology. Analysis of modern methods for assessing the efficiency of operation of hydraulic systems of enterprises in the mining and metallurgical industry allowed us to determine the promising directions for the use of various chemical reagents in order to reduce hydraulic resistance during transportation of hydraulic mixtures in mineral processing technologies.

Findings. The rational parameters of the operation of hydraulic systems of mining and smelting plants, namely: the diameter of the pipeline and the concentration of the slurry for a given amount of transportation to ensure a minimum of reduced costs for the evaluation period and taking into account the usage of chemicals which were used to improve the efficiency of pipeline transport.

Originality. Based on the analysis of methods for assessing the effectiveness of mineral processing technologies. It is determined that the most rational in the totality of technologies to improve the efficiency and reliability of the hydrotransport complex is the use of polyethylene pipes, as well as additives to the carrier fluid of hydrodynamically active substances.

Practical value. It consists in the improvement of methods for calculating rational parameters and modes of operation of hydraulic systems, allowing to determine the value of the velocity and concentration of the slurry, providing a minimum of reduced costs for the estimated period. These methods are adapted for the case of using polyethylene pipes, taking into account additives to the

carrier fluid of hydrodynamically active substances, taking into account the reduction of reduced costs due to diagnosing the technical condition of the equipment, as well as allowing to optimize maintenance costs.

Key words: hydraulic systems, evaluation and comparative analysis, coefficient of hydraulic reliability, economic efficiency.

Рекомендована к публикации
д. т. н. И. О. Садовенко

Поступила 30.11.2018

УДК 622.234.42:622.235

Производство

В. И. Ляшенко /к. т. н./

ГП «УкрНИПИИпромтехнологии», г. Желтые Воды, Украина
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

Ф. Ф. Топольный /д. б. н./

ГВУЗ «Центральноукраинский национальный технический университет», г. Кропивницкий, Украина
e-mail: topolnii@gmail.com

Г. Д. Коваленко /д. ф.-м. н./

Научно-исследовательское учреждение «Украинский научно-исследовательский институт экологических проблем», г. Харьков, Украина
e-mail: grygoryk0@gmail.com

Повышение эффективности выщелачивания металлов из рудного сырья¹

V. I. Lyashenko /Cand. Sci. (Tech.)/

HP "Ukrainian scientific-research and design-prospecting" Institute of industrial technology, Zheltye Vody, Ukraine
e-mail: vilyashenko2017@gmail.com

F. F. Topolnij /Dr. Sci. (Biolog.)/

GVUS "Central Ukrainian National Technical University", Kropivnizkij, Ukraine
e-mail: topolnii@gmail.com

G. D. Kovalenko /Dr. Sci. (Tech.)/

Scientific Research Institution "Ukrainian Research Institute of Environmental Problems", Kharkov, Ukraine
e-mail: grygoryk0@gmail.com

Improving the efficiency of leaching of metals from ore raw materials

Цель. Повышение эффективности выщелачивания металлов из рудного сырья путем обоснования параметров подземных горных работ и внедрения комплексной технологии в сочетании с геотехнологией, обеспечивающих рациональное использование, охрану недр и окружающей среды при отработке запасов комбинированными геотехнологическими методами.

¹В организации создания, совершенствования и внедрения научных разработок принимали участие и оказывали содействие специалисты ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» (г. Желтые Воды), АО «ВНИПИпромтехнологии» (г. Москва), АО «ВНИИХТ» (г. Москва), ФГБНУ «ВНИМИ» (г. Санкт-Петербург), КП «Кировгеология» (г. Киев) и др.