

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ОПРІСНЕННЯ ВИСОКО МІНЕРАЛІЗОВАНИХ СТІЧНИХ ВОД, ЯК СКЛАДОВОЇ ПРОДУКТИВНИХ ПОТОКІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

¹Саллі В.С., ¹Мамайкін О.Р., канд.техн.наук, доц.

²Хорольський А.О., канд.техн.наук

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

²Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, Дніпро, Україна

Анотація. В роботі досліджено наявні технології очистки шахтних стічних вод та проведено порівняльний аналіз. В результаті проведеного аналізу запропоновано застосувати технологію зворотного осмосу. Вперше проблема очистки шахтних стічних вод та оцінка ефективності розглядається, як складова продуктивних потоків вугільних шахт. Запропоновано технологічні рішення, а також проведено економічну оцінку.

Вступ. Всі шахти Європейських країн з геологічними умовами наближеними або такими ж як і в українських реаліях Донецького басейну давно закриті. Головною причиною закриття шахт стала нерентабельність підприємств та навантаження на бюджет, адже екологічний аспект не був нагальною темою ще 30 років тому. Наймасштабнішою задачею, що може принести із собою закриття цілої низки шахтних підприємств, є реінтеграція цілих міст та містечок та перепрофілювання працездатного населення. Також, шахти, навіть без розвитку гірничих робіт, потребують постійного капіталовкладення, адже порушеність водоносних шарів гірничими виробками призвели до великої концентрації підземних шахтних вод у місцях проведення гірничих робіт.

Природні ресурси еволюційні. Характер і рівень використання природного середовища, як однієї з умов виробництва, визначається рівнем розвитку продуктивних сил і виробничих відносин. Якщо, наприклад, століття тому в Донбасі підземні води, що знаходяться на великій глибині, не знаходили ніякого практичного застосування, то по мірі зростання чисельності населення, високих темпів індустріалізації, у тому числі й внаслідок створення водоемних виробництв, шахтна вода, як продукт спецводокористування, стає цінним та дефіцитним ресурсом. Внаслідок цього виникає потреба її оцінки як додаткового природного ресурсу, який має вартісну форму [1].

Таким чином, обґрунтування параметрів опріснення шахтних стічних вод, через дослідження складових продуктивних потоків вугільних шахт є актуальною науковою задачею.

Методи дослідження. У відповідності до визначеної задачі формується послідовність етапів дослідження: на першому етапі – розроблялась модель, яка враховує продуктивні потоки; на другому етапі – аналізувались технології очистки шахтних вод; на третьому – обиралась технологія та обґрунтовувались її параметри.

Як відомо результатом виробничої діяльності підземного комплексу гірничих робіт є доставка на поверхню трьох продуктивних компонентів, які з позицій раціонального ресурсо- і природокористування можуть бути розглянуті як

чинники, які можуть робити негативний вплив на доцільність інвестування. Цими компонентами є вугілля, порода і газ метан. Враховуючи їх динамічний характер, доцільно для математичного опису процесів переміщення вугілля (C), породи (R), газу метану (G) та води (W) уявити їх у вигляді потоків в деякій технологічній системі перетворювачів. При цьому метою перетворень є отримання основних і додаткових ресурсів сировини, а також мінімізація екологічного збитку [2, 3].

Основним методом дослідження моделі є метод багатовимірною статистичного аналізу. З урахуванням цих вимог введемо такі позначення

$$K_3 = \left\{ \frac{D_{pi}}{D_{Di}}, \frac{\alpha_{Di}}{\alpha_{pi}}, \frac{\sum \Pi_i}{\sum \mathcal{Z}_i}, \frac{V_{\Pi i}}{V_i}, \frac{\sum \mathcal{Z}_{\Pi i}}{\sum \mathcal{Y}_{\Pi i}}, \frac{Q_{Bi}}{Q_i}, \frac{\sum \mathcal{Z}_{Bi}}{\sum \mathcal{Y}_{\mathcal{E}i}}, \frac{D_{Bi}}{V_i}, \frac{Q_{Bi^*}}{Q_{i^*}}, \frac{\sum \mathcal{Z}_{Bi^*}}{\sum \mathcal{Y}_{\mathcal{E}i^*}}, \frac{D_{Bi^*}}{V_{i^*}} \right\} \quad (1)$$

де α – показник якості вугілля (зольність), %;

Таким чином, результативну ознаку для i -ої шахти можна представити

$$K_e = \left\{ \begin{array}{l} \frac{D_{pi}}{D_{Di}} Z_{i1}, \frac{\alpha_{Di}}{\alpha_{pi}} Z_{i2}, \frac{\sum \Pi_i}{\sum \mathcal{Z}_i} Z_{i3}, \frac{V_{\Pi i}}{V_i} Z_{i4}, \frac{\sum \mathcal{Z}_{\Pi i}}{\sum \mathcal{Y}_{\Pi i}} Z_{i5}, \frac{Q_{Bi}}{Q_i} Z_{i6}, \frac{\sum \mathcal{Z}_{Bi}}{\sum \mathcal{Y}_{\mathcal{E}i}} Z_{i7}, \\ \frac{D_{Bi}}{V_i} Z_{i8}, \frac{Q_{Bi^*}}{Q_{i^*}} Z_{i9}, \frac{\sum \mathcal{Z}_{Bi^*}}{\sum \mathcal{Y}_{\mathcal{E}i^*}} Z_{i10}, \frac{D_{Bi^*}}{V_{i^*}} Z_{i11} \end{array} \right\} \quad (2)$$

Вираз (2) дозволяє урахувати стабільність технологічних потоків, а також якість продукції, що надходить із шахти.

Для того, щоб можна було порівняти результат дії певного параметра на обсяг значення X_{ij} зводяться в матриці у вигляді стандартизованих ознак. Стандартизація проводиться загальноприйнятими методами за допомогою середньоарифметичних значень і середньоквадратичних відхилень.

З точки зору комплексності оцінки роботи шахт, обсяг видобутку відіграє досить важливу роль, але не визначальну. Особливо це проявляється в плані якісних характеристик вугілля і значить в обсягах товарної продукції і в співвідношенні видаваної і переробленої (залишеної в шахті) породи. На жаль, попутний видобуток метану протягом останніх років практично не ведеться. Ця обставина не підвищує рейтинг технологічних схем шахт регіону [4, 5].

Вхідними параметрами, зовнішніми умовами такої системи є наступні.

Для потоку C (вугілля):

D_i – обсяг видобутку кожної i -ї шахти з урахуванням витрат (т/рік);

D_m – обсяг товарної продукції, т/рік;

A_i – якість вугілля, що видобувається (зольність, %);

Для потоку R (породи):

V_i – обсяг породи, що видається на поверхню, т;

V_n – обсяг породи, що переробляється, т.

Для потоку G (газ):

Q_i – прогнозний (можливий) обсяг виходу метану, м³/рік;

Q_n – обсяг метану, що переробляється, м³/рік.

Для потоку W (вода):

Q_{i*} – прогнозний (можливий) обсяг відкачуваної води, м³/рік;

Q_n^* – обсяг води, яка опріснюється, м³/рік.

Цільовою функцією такої системи буде максимізація вихідних параметрів (відносин перетворень) з оптимальним їх розподілом усередині системи (відносин зв'язків).

Умова оптимальності для відношення перетворень

$$K_{OP} = \max \{D, A, V, Q\} \quad (3)$$

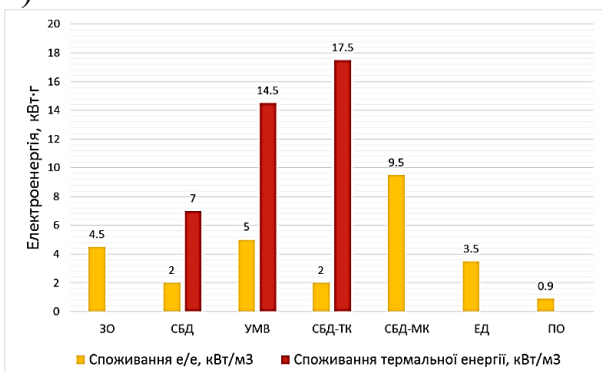
Крім того, як указувалося вище для дослідження відносин зв'язку слід виконувати їх оптимізацію, що в окремому випадку є задачею пошуку оптимального розподілу потоків вугілля між шахтами і збагачувальними фабриками [6, 7].

З урахуванням викладених вище умов можна сформулювати основну вимогу до моделі, що формалізується: рішення моделі повинне дозволяти виробляти порівняння результативності роботи всіх шахт регіону.

Таким чином в роботі вперше вода розглядається, як продуктивний потік у структурі продуктивних потоків вугільних шахт. Обґрунтування параметрів технології очистки шахтних вод дозволить підвищити ефективність вугільного підприємства.

Результати дослідження. Нами було проведено порівняльний аналіз основних методів опріснення, що використовуються у світі. Основні методи було розглянуто відносно регіону Західного Донбасу та реалізації очисного комплексу на території однієї із шахт або їх комплексу. У таблиці 1 наведені типовий розмір основних із методів опріснення: *СБД* – система багатоступінчатої дистиляції, *ПД-ТК* – парокompресійна дистиляція – термальна компресія пари, *ПД-МК* – парокompресійна дистиляція – механічна компресія пари, *УМВ* – установки миттєвого випаровування, *ЗО* – зворотній осмос та *ЕД* – електродіаліз. Результати представлено у таблиці 1 та на рисунку 1.

а)



б)

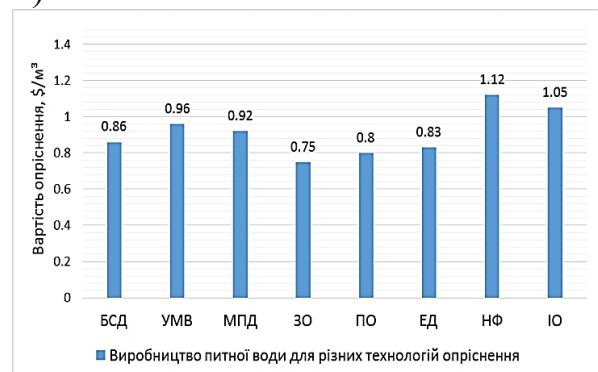


Рисунок 1 – Порівняльний аналіз технологій опріснення вод: а) графік використання термо- та електроенергії на виробництво 1 м³ опрісненої води; б) графік вартості виробництва 1 м³ прісної води

Таблиця 1 – Порівняння технологій опріснення

Найменування	СБД	ПД-ТК	УМВ	ПД-МК	ЗО	ЕД
Типовий розмір одиниці, м ³ /д	5.000 - 15.000	10.000 - 35.000	50.000 - 70.000	100 -2500	24.000	<100-20000
Споживання електроенергії, кВт·г/м ³	1.5–2.5	1.5–2.5	4–6	7–12	3–5.5	6,73
Споживання термальної енергії, кДж/кг	230 (КОВ=10) – 390 (КОВ=6)	145 (КОВ=16) – 390 (КОВ=6)	190 (КОВ=12) – 390 (КОВ=6)	Відсутнє	Відсутнє	Відсутнє
Еквівалент електричної енергії, кВт·г/м ³	5–8,5	9,5–25,5	9,5–19,5	Відсутнє	Відсутнє	Відсутнє
Загальне споживання енергії, кВт·г/м ³	6,5–11	11–28	13,5–25,5	7–12	3–3.5 (До 7 з очисткою Бором)	6,73 (збільшується із концентрацією солі)

У роботі пропонується розглянути практичний приклад скидання водних ресурсів на шахті ім. Сташкова, адже шахта є найбільш обводненою у Західному Донбасі. Водоприплив шахти досягає 1600 м³/год у певні проміжки часу, загалом водоприплив шахти коливається в межах 1200 м³/год, що є колосальним об'ємом стічних вод з лише одного видобувного підприємства. Скидні шахтні води були перевірені санітарно-профілактичною лабораторією і наведені у таблиці 2 [8].

Таблиця 2 – Результати аналітичного контролю шахтної води за 07.03.2019

№ п/п	Найменування контрольованої речовини	Шахтна вода до відстійників	Шахтна вода після відстійників	Нормативи для питної води
1	Алюміній, мг/л	-	<0,02	≤0,2
2	БПК ₅ , мгО ₂ /л	-	5,8	5,2
3	Водневий показний, рН	8,15	8,05	6,5-8,5
4	Жорсткість, мг-екв/л	28,25	27,44	≤7,0
5	Забарвленість, град	10,79	10,35	≤20
6	Залізо загальне, мг/л	0,64	0,63	≤0,2
7	Зважені речовини, мг/л	99,8	41,4	≤0,001
8	Кальцій, мг/л	287,10	279,01	Не визначається
9	Кобальт, мг/л	-	<0,02	<0,1
10	Магній, мг/л	169,30	164,39	Не визначається
11	Марганець, мг/л	-	0,11	Не визначається
12	Мідь, мг/л	-	< 0,002	≤1,0
13	Нафтопродукти, мг/л	0,64	0,62	≤0,1
14	Нітрати, мг/л	<0,5	<0,5	<50,0
15	Поліфосфати, мг/л	-	0,07	≤3,5
16	Сульфати, мг/л	385,58	378,99	≤250
17	Сухий залишок, мг/л	6410,00	6272,67	≤1000
18	Температура, t°С	13,3	13,0	Не визначається
19	Хлор вільний	-	-	≤0,5
20	Хлориди, мг/л	3384,08	3313,79	≤250
21	Цинк, мг/л	-	<0,005	≤1,0

На основі вищезазначених умов було обрано зворотній осмос, як комплексну опріснювальну систему, яка відповідає необхідним параметрам та є універсальною технологією, з великим світовим досвідом використання (60% всього світового опріснюючого обладнання використовує зворотній осмос і лише 6% – технологію електродіалізу) у різноманітних умовах, особливо в умовах, схожих на такі у Західному Донбасі.

Висновки. В роботі проведено порівняльну характеристику основних методів опріснення, що використовуються у світі. Основні методи було розглянуто відносно регіону Західного Донбасу та реалізації очисного комплексу на території однієї із шахт або їх комплексу.

Для практичного застосування у роботі пропонується обрати шахту ім. Сташкова, як предмет дослідження до використання опріснювального комплексу через великі об'єми забруднених скидних вод (1200 м³/год) та планове закриття вугільного видобутку на шахті з можливою подальшою мокрою або сухою консервацією. Для повноцінного та ефективного використання зворотного осмосу було розглянуто та обрано комплекс робіт із попередньої очистки, екранування, коагуляції та флокуляції, пом'якшення та седиментації (відстоювання) води. Мембрани зворотного осмосу найбільш вразливі до каламутності, хлоридів (та інших важких металів), органічних сполук та дуже жорсткої води.

Застосування наведеного підходу, який підвищує ефективність очистки шахтних вод дозволяє оцінювати шахтні води, як дієву складову продуктивних потоків вугільних шахт.

Список літератури

1. Hrinov V. & Khorolskyi A. (2018). *Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment*. In E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering. (Vol. 60. p. 00017). EDP Sciences. doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017
2. Хорольський А. О., & Гріньов В. Г. (2020). *Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин*. Фізико-технічні проблеми горного виробництва, (22), 118-140. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>
3. Khorolskyi A., Hrinov V., & Mamaikin O. (2019). *Models and methods to make decisions while mining production scheduling*. Mining of Mineral Deposits, 13(4), 53-62. <https://doi.org/10.33271/mining13.04.053>
4. Fomychov, V., Mamaikin, O., Demchenko, Y., Prykhorchuk, O., & Jarosz, J. (2018). *Analysis of the efficiency of geomechanical model of mine working based on computational and field studies*. Mining of Mineral Deposits, 12(4), 46–55. <https://doi.org/10.15407/mining12.04.046>
5. Salli, S., Pochepov, V., & Mamaykin, O. (2014). *Theoretical aspects of the potential technological schemes evaluation and their susceptibility to innovations*. In Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining (pp. 491-496)
6. Гріньов, В. Г., Хорольський, А. О., & Мамайкін, О. Р. (2019). *Декомпозиційний підхід при побудові систем генерації енергії у вуглепромислових регіонах*. Вісті Донецького гірничого інституту, 44, 116-126. <https://doi.org/10.31474/1999-981x-2019-1-116-126>
7. Гріньов, В.Г., & Хорольський, А.О. (2019). *Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України*. Фізико-технічні проблеми горного виробництва. Фізико-технічні проблеми горного виробництва, (21), 128-145. <https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.008>
8. Про затвердження Державних санітарних норм та правил "Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною" (ДСанПіН 2.2.4-171-10)МОЗ України; Наказ, Норми, Правила від 12.05.2010 № 400.