

УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

ЗАСТОСУВАННЯ АНР МЕТОДУ ДЛЯ ВИБОРУ РАЦІОНАЛЬНОГО ОЧИСНОГО КОМБАЙНУ

А.О. Хорольський¹

¹в.о. завідувача лабораторії проблем розробки родовищ, e-mail: andreykh918@gmail.com

¹Відділення фізики гірничих процесів Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова Національної академії наук України, Дніпро, Україна

Анотація. В роботі наведено результати дослідження із обґрунтування параметрів механізованого видобутку вугілля. Проведено аналіз альтернатив та визначено пріоритетні керуючі фактори при виборі очисного комбайну.

Ключові слова: АНР метод, критерій, альтернатива, вибір, технологія.

APPLICATION OF THE AHP METHOD FOR CHOOSING A RATIONAL SHEARER

Andrii Khorolskyi¹

¹Head of the Department of Field Development Problems, Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine, e-mail: andreykh918@gmail.com

Abstract. The paper presents the results of research on the substantiation of the parameters of mechanized coal mining. An analysis of alternatives was carried out and priority control factors were determined when choosing a shearer.

Keywords: AHP method, criterion, alternative, choice, technology.

Вступ. Станом на початок 2023 р. основним інструментом підвищення навантаження на очисний вибій є заміна обладнання іноземними аналогами або вітчизняним обладнанням зі значно більшою вартістю, однак на практиці відбувається несуттєве збільшення продуктивності при суттєвому зростанні собівартості [1, 2]. Існує ряд підходів до вибору обладнання, які умовно можна розділити на три групи:

1) На основі аналізу та послідууючої раціоналізації конструктивних або технологічних параметрів [3, 4, 5]. У якості основного критерію виступають конструктивні (наприклад: потужність приводу електродвигуна; система переміщення; питомі енерговитрати на процес руйнування гірського масиву, тощо) або технологічні параметри (коефіцієнт готовності обладнання, коефіцієнт машинного часу, тощо). Порівнюючи обладнання за цими параметрами обирають найбільш раціональний тип очисного обладнання.

Але існує ряд обмежень у цій групі підходів: слід аналізувати також взаємозв'язок з геомеханічними параметрами масиву, рівень організації робіт, та і взагалі, вибір і раціоналізація параметрів очисного комбайну в структурі технологічного ланцюжку «кріплення-комбайн-конвеєр» не призводить до підвищення ефективності роботи очисного вибою [6].

2) На основі аналізу та обґрунтування геомеханічних параметрів. Це досить широка група підходів [7, 8, 9], коли можуть аналізуватись геомеханічні параметри масиву гірських порід (зсув, тріщинуватість, обвалення порід покрівлі, фільтрація, водонасичення, тощо) в залежності від типу обладнання, швидкості посування лінії очисного вибою. Основна задача полягає у виборі такого засобу механізації, який дозволить забезпечити раціональні параметри технології механізованого видобутку при заданих гірничо-геологічних та гірничо-технічних умовах. Але, не завжди прийняте рішення буде оптимальним. Критерієм оптимальності може виступати: собівартість видобутку, часові витрати, комплексність використання надр, мінімізація негативного впливу на довкілля, тощо.

3) На основі економетричних підходів, що передбачає застосування статистичних та математичних моделей та задач [10, 11]. На практиці, це побудова кореляційних моделей [12], обґрунтування вибору обладнання з позиції забезпечення раціонального обсягу вилучення корисної копалини [13], врахування невизначеності для мінімізації ризиків [14], застосування стохастичних моделей для прогнозування показників роботи очисного вибою [15]. Це досить дієві інструменти, проте отримане значення є найбільш оптимальним (за заданим параметром: собівартість, часові витрати, продуктивність, тощо), проте не завжди якісним.

Із проведеного аналізу праць [3–15] можна виділити проблему обґрунтування параметрів (гірничо-геологічні умови, обладнання, собівартість сировини, тощо) механізованого видобутку на основі оцінки рівня взаємозв'язку в складі механізовано комплексу.

Застосування АНР методу (МАІ – методу аналізу ієрархій) [16] дозволяє оцінити ступінь впливу параметрів та загальну ефективність технології та обрати найбільш раціональну. Ідея полягає у застосуванні декомпозиційного підходу, коли на кожному рівні обирається один пріоритетний керуючий фактор [17]. Раціоналізація цього параметру сприяє підвищенню ефективності усього процесу.

Мета роботи полягає в аналізі параметрів вибору очисних комбайнів та обґрунтуванні засобів механізації очисного вибою. Для досягнення поставленої мети слід провести попарне порівняння альтернатив, визначити пріоритетні керуючі фактори та глобальні пріоритети. В результаті буде запропоновано засіб механізації очисного вибою для заданих гірничо-

геологічних умов. На основі розробленого автором методу [18] та програмного забезпечення [19] буде запропоновано оптимальну структуру технологічного ланцюжку механізованого комплексу для умов Західного Донбасу.

Матеріал і результат досліджень. У якості об'єкту дослідження було обрано параметри очисного вибою пласта С₆ шахти «Степова» ПрАТ ДТЕК «Павлоградвугілля». Задача полягала у виборі очисного комбайну для виймання вугілля. У відповідності до методики [16] процедура обґрунтування полягала у наступному: спочатку необхідно було порівняти попарно параметри між собою (це дозволить визначити пріоритетний керуючий параметр); після цього порівняти кожну альтернативу попарно за кожним із параметрів; після цього можна визначити раціональну альтернативу обладнання для визначеного набору параметрів.

В якості характеристик, які порівнюються між собою для типів очисних комбайнів прийнято: вартість обладнання, вартість технічного обслуговування (на основі даних [20]), витрати пов'язані з експлуатацією обладнання (люди, часові витрати – на основі даних [21]), потужність приводу – досить важлива характеристика, так як визначає ефективність процесу виймання вугілля (на основі даних [22]), комплектація – визначає ергономічні показники, а також сервісне обслуговування. У якості обладнання за кожною з характеристик порівнювались між собою очисні комбайни різних технологічних рівнів МВ-410Е, КДК500, УКД400, 1К101, КА80. Альтернатива обладнання з найбільшим глобальним вектором пріоритетів виявиться найбільш раціональною для вказаного набору параметрів.

Обладнання за кожною з характеристик порівнювалось між собою. В табл. 1 наведено вихідні дані до вибору обладнання.

Таблиця 1 – Вихідні дані до вибору очисного комбайну

Мета:	Вибір комбайну			
Критерії:			Шкала відносної важливості:	
1	ціна очисного комбайну		Інтенсивність відносної важливості	Визначення
2	вартість тех. обслуговування			
3	витрата			
4	потужність			
5	комплектація			
			1	рівна важливість

альтернативи			3	помірна перевага одного над іншим
1	MB-410E		5	істотна перевага
2	ҚДК500			
3	УҚД400		7	значна перевага
4	1K101			
5	KA80		9	дуже сильне перевага
			2, 4, 6, 8	проміжне рішення між двома сусідніми судженнями
Розмір матриці		5		
Випадкова узгодженість		1,12		

Спочатку було розраховано узгодженість між критеріями (Рис. 1).

Критерій	Вартість	Вартість ГО	Витрати	Потужність	Комплектація		Нормалізовані оцінки вектору пріоритетів			
Вартість	1	3	5	3	5	2,954177	0,45287		0,935931	
Вартість ГО	1/3	1	5	3	3	1,718772	0,263485		1-2/7	
Витрати	1/5	1/5	1	1/3	1	0,421685	0,064643		1	
Потужність	1/3	1/3	3	1	2	0,922108	0,141357		1-1/9	
Комплектація	1/5	1/3	1	1/2	1	0,506496	0,077645		1	
Сума	2,066667	4-6/7	15	7-5/6	12	6,523237			5,226912	max
									IC=	0,056728
Величина ВС повинна бути близько 10% або менше, щоб бути прийнятною. У деяких випадках допускається ВС до 20%, але не більше, інакше треба перевірити свої судження.										
Відношення согласованості (ВС) =		5,06%								

Рис. 1. – Результати визначення узгодженості між критеріями

Із рис. 1 видно, що узгодженість між критеріями становить 5% це прийнятне значення. При значенні узгодженості менше 10% вважається, що запропоновані критерії не містять суб'єктивних оцінок.

Після цього було проведено порівняння кожної альтернативи обладнання за кожним параметром (Рис. 2).

В результаті попарного порівняння альтернатив обладнання за усіма п'ятьма параметрами було визначено оптимальний тип очисного комбайну (табл. 2).

№	МВ-410Е	КДК500	УКД400	1К101	КА80	№	Нормалізовані оцінки вектору пріоритетів	№	№	№
МВ-410Е	1	3	2	3	2	2,047673	0,365544	0,974784		
КДК500	1/3	1	2	1	3	1,148698	0,205062	1-1/5		
УКД400	1/2	1/2	1	2	3	1,084472	0,193596	1-1/8		
1К101	1/3	1	1/2	1	3	0,870551	0,155408	1-1/7		
КА80	1/2	1/3	1/3	1/3	1	0,45032	0,08039	1		
Сума	2,666667	5-5/6	5-5/6	7-1/3	12	5,601713		5,404626	max	yo
								IC=	0,101156	
Величина ВС повинна бути близько 10% або менше, щоб бути прийнятною. У деяких випадках допускається ВС до 20%, але не більше, інакше треба перевірити свої судження.										
Відношення согласованості (ВС)=			9,03%							

Рис. 2. – Приклад порівняння альтернатив очисного комбайну за параметром «вартість технічного обслуговування»

Таблиця 2 – Результати з обґрунтування параметрів механізованого видобутку вугілля (вибір очисного комбайну)

Комбайн	Критерії					Глобальні пріоритети
	1	2	3	4	5	
	чисельне значення вектору					
	0,452	0,263	0,064	0,141	0,077	
МВ410Е	0,224	0,049	0,063	0,063	0,253	0,148
КДК500	0,237	0,095	0,178	0,178	0,253	0,189
УКД400	0,251	0,161	0,507	0,507	0,192	0,276
1К101	0,183	0,164	0,121	0,122	0,192	0,166
КА80	0,102	0,529	0,129	0,129	0,110	0,221

1 – вартість обладнання, 2 – вартість технічного обслуговування, 3 – часові витрати, 4 – потужність на руйнування, 5 – комплектація (ергономіка)

Альтернатива обладнання з найбільшим глобальним вектором пріоритетів виявиться найбільш раціональною для вказаного набору параметрів.

Із проведеного аналізу слідує, що оптимальною буде структура, яка складається із комбайну УКД400.

Для вибору обладнання необхідно скористатись «Програмою вибору оптимальних комплектацій очисного обладнання», що розроблена автоматом вказаної роботи (рис. 3).

Механізоване кріплення:

Технічні характеристики			
потужність, м	0,85-1,20	кут за пад., град.	10
крок перес., м	1,35	кут пр., град.	35
висота, м	0,56-1,20	крок установки, м	0,63; 0,80
		опір, кН/м	500
		наса, т	5,2

Скребок:

Технічні характеристики			
нахил довжина, м	200	пікова продуктивність, т/год.	516
швидкість ланцюгу, м/сек.	1,00	потужність приводу, кВт	320
кут за падінням, град.	10	кут за простіранням, град.	35

Кріплення механізоване КД80 - призначене для механізації процесів підтримки та управління покрівлю в привибійному просторі лави при відпрацюванні пластів потужністю 0,85 - 1,2 м. Кріплення складається з одностійкових чотиристійкових секцій підтримуючо-огорожувального типу, основні несучі елементи яких (основа, перекриття, траверси) пов'язані силовиими елементами. Кожна секція кріплення має шарнірний зв'язок з забійним конвеєром. Конструкція секції передбачає можливість пересування секції при активному контакті з

Скребок - потужний пересувний шахтний конвеєр. Призначений для роботи в складі гірничодобувних комплексів для доставки вугілля, горючого сланцю, калійних руд з очисних вибоїв, які відпрацьовуються по простяганню при потужності пластів не менше 0,80 м і кутах падіння до 35 ° при доставці вниз, а також відпрацьовуються за востанням або падінням з кутами залягання пластів до 10 ° в шахтах будь-якої категорії небезпеки за газом та пилом. Працює в вибоєх обладнаних механізованими комплексами ІМКД80, ІМКД90, 2МКД90, 2МКД90Т, ІМКДД, МДМ з очисними комбайнами типу КА80, КА200, ІК101У, ІК101УД, ІК103М.

Рис. 3. – Робоче вікно програми вибору оптимальних комплектацій очисного обладнання («CountsCEM.v1.p2.6_c25»)

Необхідно зазначити, що залежно від виймальної потужності пласта можуть бути запропоновані різні комплектації очисного обладнання. Попередньо обираємо виймальний комплекс МДМ, адже у нього найбільші показники продуктивності для заданих значень параметрів: потужності пласта, довжини очисного вибою (рис. 4).

Вказаний комплекс включає механізоване кріплення ДМ, а також може бути укомплектований різними типами комбайнів і конвеєрів. До основних вимог віднесені: наявність запропонованого обладнання на підприємстві; наявність ремонтного фонду гірничошахтного обладнання та досвіду його експлуатації; низька зольність вугілля; наявність серійного виробництва; шнековий тип виконавчого органу; взаємодія з конвеєром. Пошук оптимальної комплектації зручно проводити на основі порівняння компле-

ктацій, тобто необхідно визначити значення оптимізаційного параметру для кожної комплектації, а потім представити альтернативи у вигляді мережевої моделі [19].

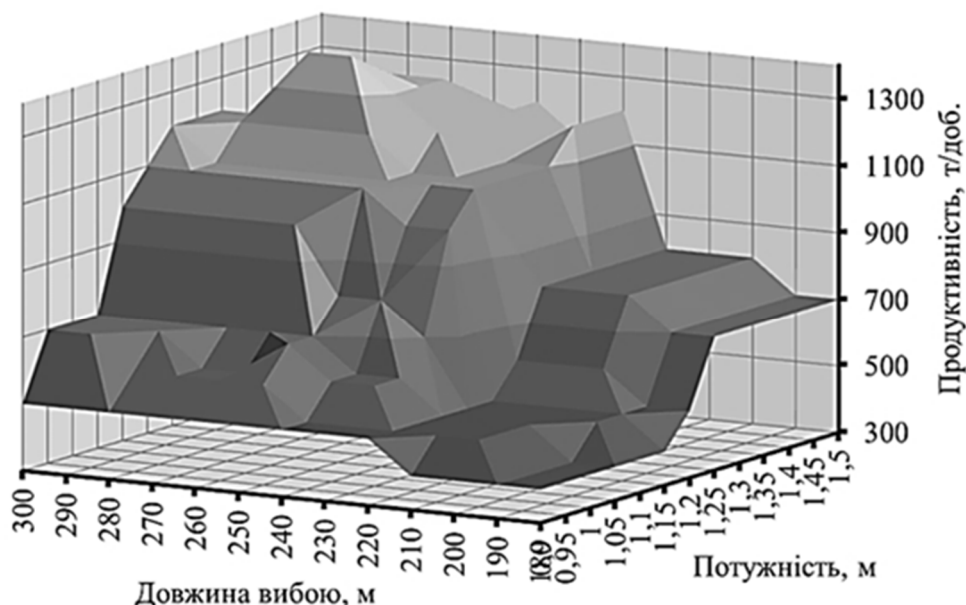


Рис. 4. – Залежність продуктивності механізованого комплексу МДМ від потужності та довжини очисного вибою

За допомогою алгоритмів оптимізації на мережах і графах [23, 24] можна знайти найкоротший маршрут, що відповідає оптимальному рішенняю [25].

На основі проведеного аналізу, для вказаних технологічних схем, було обрано наступну комплектацію механізованого комплексу «механізоване кріплення МДМ – очисний комбайн УКД400 – скребковий конвеєр СП326». Вказаний технологічний ланцюг відповідає усім вимогам, а також є найбільш оптимальним з точки зору питомої собівартості видобутку, окрім цього, може застосовуватись за умов довжини очисного вибою понад 300 м, що значно мінімізує вірогідність виникнення раптового викиду вугілля та газу.

На основі аналізу альтернатив було визначено, що в існуючих реаліях господарської діяльності на перше місце вийшов параметр «вартість обладнання» - це пояснюється тим, що для умов Західного Донбасу набір гірничо-геологічних параметрів порівняно невеликий (потужність пласта 0,8-1,2 м, категорія порід покрівлі за обваленням: легко та середньообвалювані; гірничо-геологічні умови по узагальненому показнику: легкі та середньої складності), тому на перше місце виходять фактори пов'язані із економічними показниками. Зважаючи на істотну різницю у вартості придбання іно-

земних та вітчизняних аналогів, а також враховуючи вірогідність виникнення «виробничої аритмії» (у закордонних аналогів вона складає 140-150 днів, у вітчизняних – 30-40 днів) – явища, коли обладнання виходить із ладу та неможливо його відремонтувати і постає необхідність комплектації [26], визначена альтернатива є раціональною.

Висновки. В наведеній роботі, вперше запропоновано обґрунтувати структуру видобувного комплексу на основі методу аналізу ієрархій та подальшою оптимізацією на основі застосування графів та мережевих моделей, що дозволяє обрати і визначити область механізованої видобутку вугілля з заданими параметрами.

ЛІТЕРАТУРА

1. Хорольський А. О., Гриньов В. Г. Оцінка і вибір параметрів при розробці родовищ корисних копалин. Физико-технические проблемы горного производства. - 2020. - №22. - С. 118-140. <https://doi.org/10.37101/ftpgp22.01.009>
2. Хорольський А. О., Гриньов В. Г. Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ. Вісник ЖДТУ. Серія "Технічні науки". 2017. – Вип. 1(2 (80)). – С. 225-233. [https://doi.org/10.26642/tn-2017-2\(80\)-225-233](https://doi.org/10.26642/tn-2017-2(80)-225-233).
3. Chobotko I.I., Tynyna S.V. Results of the study of suspensions with the use of sodium group mixtures in the treatment of coal mining waste // 5th International scientific and technical conference «Innovative development of resource-saving technologies and sustainable use of natural resources». – 2022. – pp. 64-66.
4. Gospodarczyk P. Modeling and simulation of coal loading by cutting drum in flat seams //Archives of Mining Sciences. – 2016. – Т. 61. – №. 2. – С. 365-379.
5. Si L. et al. Identification of shearer cutting patterns using vibration signals based on a least squares support vector machine with an improved fruit fly optimization algorithm //Sensors. – 2016. – Т. 16. – №. 1. – С. 90.
6. Хорольський А. А., Гринев В. Г. Исследование структуры горно-шахтного оборудования с применением графов и сетевых моделей //Современные инновационные технологии подготовки инженерных кадров для горной промышленности и транспорта. – 2017. – №. 4. – С. 72-81.
7. Malashkevych D. et al. Integrated evaluation of the worked-out area partial backfill effect of stress-strain state of coal-bearing rock mass //Solid State Phenomena. – Trans Tech Publications Ltd, 2018. – Т. 277. – С. 213-220.
8. Wang D. et al. Experimental Study of Multiple Physical Properties of Tectonic Coal near a Minor Fault: Implications for Coal and Gas Outburst //Energy & Fuels. – 2023.
9. Василенко Т. А. и др. Динамика трещиновато-пористой структуры угля и ее влияние на кинетику массопереноса метана в углепородном массиве //Збірник наукових праць УкрДГРІ. – 2016. – №. 1. – С. 81-89.
10. Гринев В. Г., Череповский П. В., Деуленко А. И. Инновационные перспективы эксплуатации угольных пластов крутого падения //Днепропетровск: видавництво «Пороги». – 2015. – 180 с.

11. Грінюв В. Г., Хорольський А. О. Дослідження основ технології оптимального проектування раціонального користування родовищами цінних копалин // Мінеральні ресурси України. 2020. – Вип. 2. С. – 19-24. <https://doi.org/10.31996/mru.2020.2.19-24>.
12. Гринев В. Г. Графы и сети для выбора горно-шахтного оборудования //Дніпро: Пороги. – 2016. – 246 с.
13. Грінюв В. Г., Хорольський А. О. Визначення раціонального обсягу вилучення корисних копалин із надр: маржинальний підхід // Економіка промисловості. – 2020. – Вип. 3(91). – С. 82-95.
14. Гринев В. Г., Череповский П. В., Николаев П. П. Обоснование рациональных параметров добычи угля на шахтах с крутым падением пластов //Физико-технические проблемы горного производства. – 2010. – Вип. №13. – С. 142 – 149.
15. Ma Y.K., Nie B.S., He X.Q., Li X.C., Meng J.Q., Song D.Z. Mechanism investigation on coal and gas outburst: an overview. International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials. – 2020. – Vol. 27(7). – pp. 872–887.
16. Saaty, T., Shang, J. An innovative orders – of-magnitude approach to AHP-based Mutli-criteria decision making: Prioritizing divergent intangible humane acts. European Journal of Operational Research, 2011, 214(3), 703–715.
17. Ataei, M.; Jamshidi, M.; Sereshki, F., & Jalali I. S.M.E. Mining method selection by AHP approach. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 2008, 108(12), 741–749.
18. Hrinov V., Khorolskyi A. Improving the process of coal extraction based on the parameter optimization of mining equipment //E3S Web of Conferences. – EDP Sciences, 2018. – Т. 60. – С. 00017.
19. Грінюв В. Г., Хорольський А. О. Визначення доцільності відпрацювання родовищ на стадії передпроектних досліджень раціональної стратегії їх освоєння //Мінеральні ресурси України. – 2022. – №. 2. – С. 12-17.
20. Brazil M., Thomas D.A., Weng J.F., Lee D.H. and Rubinstein J.H Cost optimization for underground mining networks. Optimizat Eng, 2005, 6, 241–256.
21. Bascetin A., Oztas O., Kanli A. EQS: a computer software using fuzzy logic for equipment selection in mining engineering. The Journal of The South African Institute of Mining and Metallurgy. 2006, 106, 63–70.
22. Nazimko, V., Illiashov, M., Youshkov, E. Computer-aided multy-object distribution system for prompt project management. Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining, 2014, 53.
23. Грінюв В.Г., Хорольський А.О. Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України // Физико-технические проблемы горного производства. Физико-технические проблемы горного производства. – 2019. – №21. – С. 128–145.
24. Broumi S., Bakal A., Talea M., Smarandache F., Vladareanu L. Applying Dijkstra algorithm for solving neutrosophic shortest path problem. In 2016 International conference on advanced mechatronic systems (ICAMechS). – 2016. – pp. 412–416.
25. Jin C., Liu Q., Miryoosefi S. Bellman eluder dimension: New rich classes of rl problems, and sample-efficient algorithms. Advances in neural information processing systems. – 2021. – Vol. 34. – pp. 13406–13418.
26. Khorolskyi A. et al. Development and implementation of technical and economic model of the potential of operation schedules of coal mines //ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021. – Т. 16. – №. 18. – С. 1890-1899.