



УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ВИЙМАННЯ ТОНКИХ ПЛАСТІВ, НА ОСНОВІ ЗАСТОСУВАННЯ PROMETHEE МЕТОДУ

О.Р. Мамайкін¹, К.Р. Данилюк²

¹к.т.н., доцент кафедри гірничої інженерії та освіти, e-mail: mamaykin@yahoo.com

² студент групи 014-22-1 ІП, e-mail: dkyr@ukr.net

^{1,2}Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

Анотація. У роботі описано процес вибору очисного обладнання на основі дослідження і обґрунтування параметрів виймання тонких пластів, на основі застосування PROMETHEE методу.

Ключові слова: система підтримки прийняття рішень, технологічні параметри, метод ранжування альтернатив.

SUBSTANTIATING PARAMETERS FOR EXTRACTION OF MIMING ROCKS THIN LAYERS, BASED ON THE USE OF THE PROMETHEE METHOD

Oleksandr Mamaykin¹, Kyrylo Danyliuk²

¹Ph.D., Associate Professor of the Mining Engineering and Education Department, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: mailto:mamaykin@yahoo.com

²Student of group 014-22-1 IP, Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine, e-mail: dkyr@ukr.net

Abstract. The work describes the process of selecting cleaning equipment based on the research and substantiation of the parameters for extracting thin layers, based on the application of the PROMETHEE method.

Keywords: decision support system, technological parameters, alternative ranking method.

Вступ. Родовища галузі, і насамперед, Українського Донбасу, характеризуються складними гірничо-геологічними умовами розробки: малою потужністю вугільних пластів, великою глибиною розробки, високою газоносністю, схильністю багатьох пластів до газодинамічних проявів раптових викидів вугілля і газу, гірничих ударів. Промислові запаси вугілля складають 6,8 млрд. тон, в тому числі 3 млрд. тон (45.7%) – коксівного [1].

Середньодинамічна потужність пластів вугілля, що розробляються, більш ніж у півтора рази нижча аналогічного показника у вугільних басейнах країн СНД і основних західно-європейських вуглевидобувних країн.

Аналіз сучасного стану шахтного фонду показує, що протягом 6-ти останніх років він перетерпів значних змін і вони відбулися не на краще [2].





Україна має шахтний фонд, який за будь-яких критеріїв є найгіршим серед усіх відомих вуглевидобувних країн, насамперед, він є одним із найстаріших, а його прискорене старіння призвело до формування негативного балансу виробничих потужностей, обсяг яких постійно знижується [3].

В загальному парку діючого вибійного обладнання питома вага очисних механізованих комплексів і прохідницьких комбайнів нового технічного рівня становить всього 2%, а нових навантажувальних машин і стрічкових конвеєрів менше 0,5%. На шахтах, які розробляють круті вугільні пласти, біля 70% видобутку вугілля ще й досі забезпечується відбійними молотками [4, 5].

В умовах недостатніх обсягів капітальних вкладень за рахунок бюджету для підтримки в працездатному стані шахт і розрізів на капітальні вкладення використовуються обігові кошти видобувних підприємств [6, 7, 8].

Таким чином, резервом збільшення продуктивності є обґрунтування технологічних параметрів виймання тонких пластів за допомогою врахування співвідношень переваг між варіантами [9, 10, 11].

Мета роботи полягає в обґрунтуванні технологічних параметрів виймання тонких пластів за допомогою встановлення співвідношень переваг між варіантами (PROMETHEE метод).

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовані наступні завдання дослідження:

- виконати аналіз стану питання щодо впливу умов застосування, параметрів експлуатації гірничого обладнання на продуктивність комплексних механізованих вибоїв;
- розробити кількісну оцінку ефективності застосування очисного обладнання в складі механізованого комплексу, яка б співвідношення переваг між варіантами.
- дослідити ефективність застосування обладнання в складі механізованих комплексів в умовах Західного Донбасу;
- виконати дослідження відповідності показників роботи очисного обладнання зі встановленим граничним об'ємом виробництва на основі врахування співвідношення переваг між варіантами (PROMETHEE метод).

Матеріал і результат досліджень. З метою надання ясності процес підготовки прийняття рішення на всіх етапах супроводжується кількісним виразом таких категорій як «перевагу», «важливість», «бажаність» та ін. PROMETHEE є різновидом методу ієрархій, тому, спочатку наведемо основні принципи базового АНР методу [12, 13, 14].

Метод полягає в послідовній декомпозиції проблеми на все більш прості складові частини, доки ми досягнемо альтернативних рішень [15, 16]. Альтернативи порівнюються попарно поміж собою відносно до кожного з

чинників, а результати заносять у матриці порівнянь. Надалі проводять певні обчислення, результатом яких є ступінь (інтенсивність) взаємодії елементів в ієрархії. Судження та ваги факторів особи, яка приймає рішення природним чином враховуються при проведенні парних порівнянь та складанні матриць. Метод аналізу ієрархій дозволяє вибрати альтернативне рішення, спрямоване на досягнення цілі, яка відповідає структурі переваг ОПР в найбільшій ступені [17, 18].

Інтуїція і суб'єктивні оцінки є основним вихідним матеріалом, на підставі якого індивідуум одержує ясне уявлення про проблему. Тому судження про перевагу одного елемента над іншим і інтенсивність цих суджень можна використовувати для вираження внутрішніх почуттів і схильностей. Такий підхід до рішення проблеми вибору виходить із природної спроможності людей думати логічно і творчо, визначати події і встановлювати взаємозв'язки між ними. Відомо, що людині властиві дві характерних ознаки аналітичного мислення: одна - вміння спостерігати й аналізувати спостереження; друга – спроможність установлювати взаємозв'язки між спостереженнями, оцінюючи інтенсивність взаємозв'язків, а потім синтезувати ці відношення в загальне сприйняття, об'єкту, що спостерігається.

При використанні МАІ кількісні і якісні оцінки розглядаються в сукупності. Проблема присутності суб'єктивних суджень вирішується завдяки використанню попарних порівнянь чинників і визначенню їхніх ваг, на основі спеціальної шкали. У сукупності це дозволяє робити більш обґрунтовані рішення [19].

Розглянемо докладно етапи методу аналізу ієрархій.

Етап 1. Окреслити проблему і визначити, що необхідно вирішити. Тобто, визначити чого ми прагнемо досягти (ціль), як ми будемо виміряти ступень досягнення цілі (критерії), та які альтернативні рішення ми маємо порівняти.

Етап 2. Структурувати проблему прийняття рішень і побудувати ієрархію, починаючи з вершини (цілі), через проміжні рівні (критерії, від яких залежать наступні рівні) до самого нижнього рівня (котрий за звичай є переліком альтернатив). У деякі ієрархії може бути включений рівень діючих сил (акторів), що розташований нижче рівня загальних критеріїв (іноді цей рівень загальних критеріїв може бути цілком відсутнім). Рівень визначає, який з акторів найбільшим чином впливає на результат. За цим рівнем для кожного актора може знаходитися рівень цілей акторів, за яким, у свою чергу, – рівень політик акторів і далі наприкінці рівень альтернативних рішень. Приклад проблеми прийняття рішень, що зображено у вигляді ієрархії наведено на рис.1.

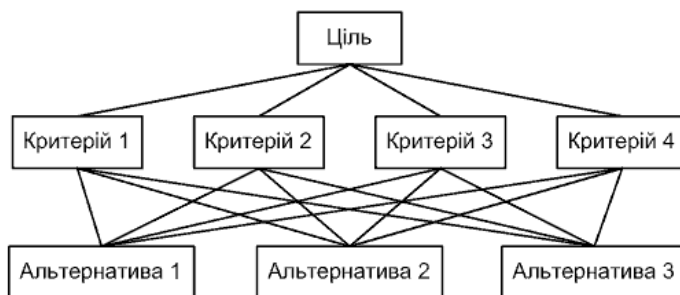


Рис. 1. – Ієрархічний вигляд типової проблеми прийняття рішень [20]

Це типова проста проблема прийняття рішень. Наприклад, ми маємо обрати обладнання для виробничої лінії, яке можливо купити у трьох постачальників. Обираючи тип обладнання (альтернативи 1-3) ми враховуємо кілька факторів (критерії 1-4): ціна, експлуатаційні витрати, виробнича потужність, та репутація постачальника.

Етап 3. Побудувати матриці попарних порівнянь. Елементами матриць є числа, що виражають важливість (або відносний вплив) кожних двох складових проблеми відносно елемента, що примикає з верхнього рівню. Для наведеного приклада ми маємо порівняти кожен з альтернатив відносно обраних критеріїв (це дасть чотири матриці розміром 3x3), а також порівняти важливість цих критеріїв для досягнення цілі - обрання обладнання (це дасть одну матрицю розміром 4x4). Для проведення суб'єктивних парних порівнянь елементів розроблена спеціальна шкала, яка наведена в таблиці 1.

Таблиця 1. – Шкала відносної важливості

Інтенсивність відносної важливості	Визначення
1	Рівна важливість
2	Легка перевага одного над іншим
3	Слабка перевага одного над іншим
4	Помірна перевага одного над іншим
5	Значна перевага
6	Істотна перевага
7	Сильна перевага одного над іншим
8	Дуже сильна перевага
9	Безумовна перевага
Зворотні величини наведених вище чисел: (1; 1/2; 1/3; 1/4; 1/5; 1/6; 1/7; 1/8; 1/9)	Якщо при порівнянні однієї альтернативи з іншою отримано одне з вищевказаних чисел (наприклад 3), то при порівнянні другої альтернативи з першою одержимо зворотну величину (тобто 1/3)



Задаючи питання, який із двох критеріїв більш важливий для досягнення цілі, (або яка з двох альтернатив щонайкраще відповідає необхідному критерію) можна визначити елементи матриці попарних порівнянь. У строках та у стовпцях цих матриць записують назви компонентів, що маємо порівняти. Наприклад, матриця для порівняння альтернатив відносно якогось з критеріїв має вигляд:

Критерій № i	A ₁	A ₂	A ₃
A ₁	1	m ₁₂	m ₁₃
A ₂	m ₂₁	1	m ₂₃
A ₃	m ₃₁	m ₃₂	1

При заповненні матриці варто починати з лівого елемента і ставити запитання: на скільки він важливіше, ніж елемент вгорі? При порівнянні елемента із самим собою відношення дорівнює одиниці. Якщо перший елемент важливіше, чим другий, то використовується ціле число зі шкали, у протилежному випадку використовується зворотній розмір. У будь-якому випадку зворотні один одному відношення заносяться в симетричні позиції матриці. Отже, $m_{ij} = 1 / m_{ji}$. Тому ми завжди маємо справу з позитивними зворотно-симетричними матрицями, і необхідно зробити тільки $n(n - 1)/2$ суджень, де n - загальне число порівнюваних елементів. В наведеному прикладі ми маємо заповнити п'ять матриць попарних порівнянь.

У деяких випадках, коли елементи вимірюються кількісно, то елементи матриці попарних порівнянь складаються як відношення величин. Наприклад, нехай ціна на обладнання дорівнює 10, 12 та 15 одиниць відповідно номерам альтернатив. Тоді елементами матриці порівнянь по критерію "Ціна" $m_{12} = 10 / 12$; $m_{13} = 10 / 15$; $m_{23} = 12 / 15$.

Якщо елементи вимірюються за допомогою якісних оцінок, наприклад "репутація постачальника" то матриця порівнянь легко заповнюється за допомогою наведеної шкали [20].

Етап 4. Формування наборів векторів *локальних* пріоритетів, що виражають відносний вплив множини елементів на елемент рівня, що примикає зверху. Вектор пріоритетів, що може відбивати відносну силу (розмір, цінність, бажаність або ймовірність) впливу кожного окремого елемента знаходять через "рішення" матриць, кожна з яких має зворотносиметричні властивості. Для цього потрібно обчислити множину *власних чисел* - λ_i і *векторів* - v_i для кожної матриці, а потім, обравши *головний власний вектор*, що відповідає *максимальному власному числу* λ_{max} , виконати його нормування, одержуючи тим самим вектор локальних пріоритетів.





Проблема власних чисел і власних векторів є зв'язною в галузі чисельних методів. Існує велика кількість різних алгоритмів для пошуку власних значень і власних векторів квадратної матриці. Відповідні функції мають у багатьох програмах, наприклад MathCAD, Matlab, Matematika.

Етап 5. Ієрархічний синтез для зважування локальних пріоритетів вагами критеріїв. Щоб виявити *глобальні* пріоритети альтернатив необхідно скласти ще одну матрицю $||G||$ елементами якої є вектори локальних пріоритетів кожної з альтернатив, розташовані відповідно до послідовності критеріїв. До кожного стовпця векторів цієї матриці вгорі дописується пріоритет відповідного критерію:

Критерії	K_1	K_2	K_3	K_4	Вектор глобальних пріоритетів
Альтернативи	(Horizontal bar)				
A_1	(Vertical bar)	(Vertical bar)	(Vertical bar)	(Vertical bar)	G_1
A_2	(Vertical bar)	(Vertical bar)	(Vertical bar)	(Vertical bar)	G_2
A_3	(Vertical bar)	(Vertical bar)	(Vertical bar)	(Vertical bar)	G_3

Пріоритети синтезуються, починаючи з рівня альтернатив. Локальні пріоритети перемножуються на пріоритет відповідного критерію на вищестоящому рівні і додаються по кожному елементу (рядку). Коротко кажучи, елементами вектора глобальних пріоритетів є добутки першої строки матриці $||G||$ з кожною з нижче лежачих стрічок. Цю процедуру повторюють, доки не буде досягнуто рівня цілі. Наприкінці одержують складовий, або глобальний вектор пріоритетів альтернатив відносно цілі.

Етап 6. Вибрати альтернативу, що одержала найбільший глобальний пріоритет [20].

Розглянемо різновид базового методу. Метод отримав свою назву через аббревіатури повної назви: Preference Ranking Organisation METHod for Enrichment Evaluations. В даному методі встановлюється відношення переваги між варіантами.

Суть методу полягає у порівнянні пар елементів за функцією уподобання.

Порівняння пар об'єктів i і l за кожним критерієм відбувається з використанням функцій переваги $H_j(d)$, де d – різниця значень критеріїв двох об'єктів.

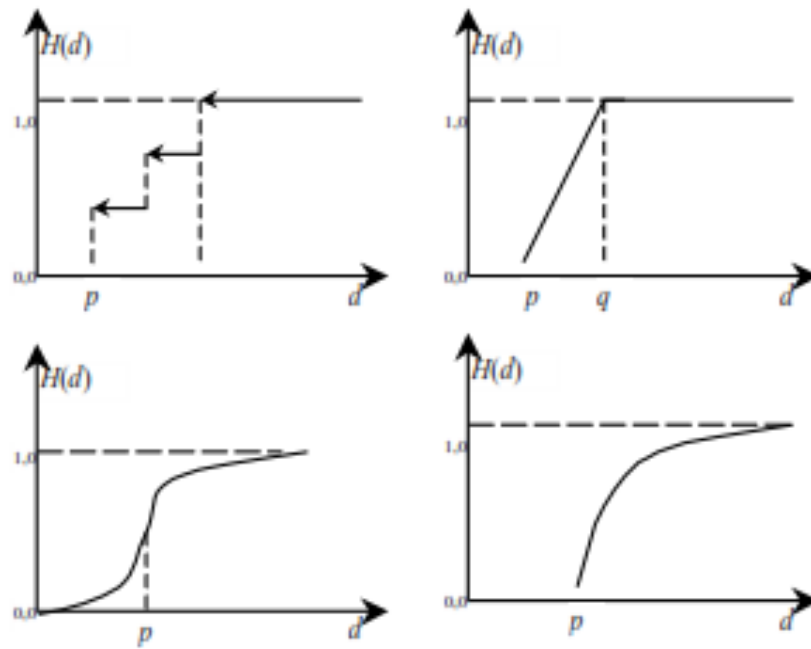


Рис. 2. – Типові функції переваг уподобань [21]

Після цього на основі коефіцієнтів ваг розраховуємо значення переваг та формуємо матрицю. Після цього на основі бінарних порівнянь між парами визначаємо найбільш прийнятну альтернативу. У запропонованій роботі застосована модифікація / даного методу.

Для раціонального вибору і встановлення типів взаємозв'язку очисного обладнання був застосований PROMETHEE. Було проаналізовано 5 типів очисного обладнання (комбайнів) та 3 характеристик, які є визначальними на стадії вибору.

В якості характеристик, які порівнюються між собою для типів очисних комбайнів прийнято: розрахункову продуктивність, ресурс обладнання (на основі даних [22]), витрати пов'язані з експлуатацією обладнання (люди, часові витрати – на основі даних [23, 24, 25]).

Обладнання за кожною з характеристик порівнювалось між собою.

На першому етапі створюється функція переваги. Порівнюються об'єкти i та l з використанням функції переваги $H_i(d)$, де d – різниця критеріїв двох об'єктів.

Для наведених вище (рис. 2) функцій уподобань переваг встановлюємо відношення переваг. Як правило, вони мають два параметри: p – поріг бай-

дужості, який демонструє той факт, що, якщо різниця $|k_j^i - k_j^l| \leq p_j$ несуттєва, то об'єкти за критерієм j еквівалентні. При перевищенні різниці значення p_j – між об'єктами встановлюється відношення переваг.

Таблиця 2 – Вихідні дані до вибору очисного комбайну

Тип комбайну	Розрахункова продуктивність, т/доб.	Ресурс обладнання, тис т	Витрати на обслуговування, млн грн
КА80	1050	600	5
К103	900	500	9
УКД300	1200	800	7
МВ412Е	1200	700	4
1К101	950	600	8

При перевищенні різниці $d_{i,l}^j = |k_j^i - k_j^l|$ порогу q функція переваги $H_j(d_{i,l}^j) = 1$, що відповідає сильній перевазі варіанту i над l за критерієм j .

При різниці $d_{i,l}^j = |k_j^i - k_j^l|$ в інтервалі від p до q функція переваги $H_j(d_{i,l}^j) < 1$, що відповідає слабкій перевазі варіанту i над l за критерієм j .

Таким чином, необхідно для кожного критерію задати функцію переваги $H_i(d)$.

Безліч встановлених бінарних відношень демонструє частковий порядок об'єктів. В таблиці 3 наведено результати порівнянь альтернатив.

Таблиця 3. – Результати порівняння альтернатив

	КА80	К103	УКД300	МВ412Е	1К101
КА80	*	N	>	>	>
К103	N	*	>	>	>
УКД300	<	<	*	>	N
МВ412Е	<	<	<	*	<
1К101	<	<	N	>	*

Із табл. 3 слідує, що найбільш переважним є комбайн УКД300.

Із проведеного аналізу слідує, що оптимальною буде структура, яка складається із комбайну УКД300. Також запропоновано застосувати визначений комбайн у структурі комплексу МДМ з конвеєром СП251.

Висновки. В наведеній роботі вперше запропоновано обґрунтовувати структуру видобувного комплексу на основі методу аналізу ієрархій, оцінка ефективності фактичної взаємозв'язку типів очисного обладнання з застосуванням встановлення співвідношень переваг між варіантами (PROMETHEE



метод) дозволяє обрати і визначити область механізованої видобутку вугілля з максимальним добовим навантаженням. В роботі дається обґрунтування доцільності застосування PROMETHEE методу для пошуку найбільш раціональних технологічних ланцюжків з позиції максимізації видобутку та мінімізації собівартості. Ідея полягає в тому, що оцінка механізованого комплексу виражається безрозмірною функцією, яку можна побудувати перетворенням вимірних значень в безрозмірну шкалу. Шкала влаштована так, що найбільш кращим значенням відповідає більш висока оцінка. Отримане значення є характеристикою об'єкта, тобто відповідністю отриманого значення до необхідного (бажаного).

ЛІТЕРАТУРА

1. Delehan S. et al. A comparative assessment of the capabilities and success of the wood construction industry in Slovakia and Ukraine based on Life Cycle Assessment certification standards //Frontiers in Sustainability. – Т. 5. – С. 1319823.
2. Хорольський, А. О., Грінюв, В. Г., & Мамайкін, О. Р. (2019). Оптимізація стійкості функціонування підсистем очисного вибою. *Сучасні ресурсоенергозберігаючі технології гірничого виробництва*, (1), 85-103.
3. Хорольський А. О. Результати досліджень із розробки системи підтримки прийняття рішень для проектування процесів освоєння родовищ корисних копалин //Вісті Донецького гірничого інституту. – 2022. – Т. 2. – №. 51. – С. 122-135.
4. Petlovanyi, M., Sai, K., Malashkevych, D., Popovych, V., & Khorolskyi, A. (2023, April). Influence of waste rock dump placement on the geomechanical state of underground mine workings. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1156, No. 1, p. 012007). IOP Publishing.
5. Хорольський А.О. Модель дослідження зміни стану запасів для оптимізації багатопараметричних процесів гірничого виробництва / А.О. Хорольський // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва: Зб. наук. пр. — 2023. — Вип. 25. — С. 153-175
6. Ащеулова О.М., Хорольський А.О., Фомичова Л.Я., Почепов В.М., Мамайкін О.Р. (2022) Моделі та методи дослідження внутрішніх резервів вугледобувних підприємств. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», 239 с.
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. Хорольський А. О., Грінюв 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>
9. Delehan S., Melehanych H., Khorolskyi A. The Traditions and Technologies of Ecological Construction in Portugal //Engineering Proceedings. – 2023. – Т. 57. – №. 1. – С. 23.
10. Хорольський А.О. Наукові основи обґрунтування меж області раціонального проектування при відпрацюванні родовищ корисних копалин // Физико-технические проблемы горного производства: Сб. научн. тр. — 2021. — Вип. 23. — С. 149-173.
11. Bazaluk O. et al. Innovative activities in the sphere of mining process management //Frontiers in Environmental Science. – 2022. – Т. 10. – С. 878977.



12. Хорольський А. О. Застосування АНР методу для вибору раціонального очисного комбайну / А. О. Хорольський // Інноваційні технології підготовки кадрів для промисловості та транспорту 2023, м. Дніпро, 28-29 квітня : зб. наук. пр. міжнар. конф. – Дніпро : НТУ «ДП», 2023. – С.18-26.

13. 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.

14. Обоснование возможности применения классической теории графов для выбора комплексов горного оборудования /А.А. Хорольский, В.Г. Гринев, В.Г. Сынков // Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2016: Матеріали міжнародної конференції, 26–27 травня 2016 р. – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2016. – С. 57–64.

15. Исследование структуры горно-шахтного оборудования с применением графов и сетевых моделей / А.А. Хорольский, В.Г. Гринев // Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту 2017: Матеріали міжнародної конференції, 17–18 квітня 2017 р. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. – С. 72–82.

16. 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.

17. Хорольський А. О., Грінюв 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).

18. 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>.

19. 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.

20. 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.

21. Гончаров І.В. Ризик та прийняття управлінських рішень: Навч. посібник – Харків: НТУ “ХПІ”, 2002. - 160с.

22. 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.

23. 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.

24. Khorolskyi, A., Mamaikin, O., Fomychova, L., Pochepov, V., & Lapko, V. (2022). Developing and implementation a new model optimizing the parameters of coal mines under diversification. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 17(16), 1544-1553.

25. Грінюв, В. & Хорольський, А. (2021). Нові підходи і результати досліджень по раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин Физико-технические проблемы горного производства. (23), 178-203. <https://doi.org/10.37101/ftpgp23.01.012>