

13. **Об утверждении методики оценки качества городской среды обитания:** приказ Министерства регионального развития Российской Федерации № 371 от 09.09.2013 [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/ документ / 499077345>

14. **The World's Cities in 2016.** Data Booklet of Department of Economic and Social Affairs, UN [Электронный ресурс]. - Режим доступа: [http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the\\_worlds\\_cities\\_in\\_2016\\_data\\_booklet.pdf](http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf)

15. **Планування і забудова територій: DBN В.2.2-12: 2018.** [Электронный ресурс] Режим доступа: [http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/b\\_2\\_2\\_12/1-1-0-1802](http://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/b_2_2_12/1-1-0-1802)

Рукопись поступила в редакцию 20.03.2019

УДК 622.2+658.5:519.1.51-3

В. Г. ГРІНЬОВ\*, д-р техн. наук, проф., А. О. ХОРОЛЬСЬКИЙ, канд. техн. наук,  
Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України  
О. Р. МАМАЙКІН, канд. техн. наук, НТУ «Дніпровська політехніка»

## ОЦІНКА СТАНУ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СХЕМ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

**Мета.** Розробити інструмент оцінки стану технологічних схем вугільних шахт, який базується на дослідженні реального стану технологічної мережі з урахуванням ієрархічних зв'язків між елементами системи.

**Методи досліджень.** Був використаний комплексний метод досліджень, який включає статистичний аналіз для встановлення залежності між показником технічного потенціалу та низкою незалежних показників виробничо-господарської діяльності шахти, багатокритеріальний метод Парето щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття вугільної шахти до інновацій. Використано методи дискретної математики на мережевих моделях для оптимізації параметрів експлуатації та впорядкування структури виробничих зв'язків.

**Наукова новизна.** Встановлено закономірності формування виробничо-господарської діяльності вугільних шахт, які враховують рівень концентрації гірничих робіт, продуктивність праці, темпи посування лінії очисного вибою, собівартість готової продукції. Було розроблено математичні моделі, що описують показник «технічний потенціал», який базується на дослідженні залежностей між даним показником і гірничо-геологічними і технологічними показниками шахти. Доведено, що відтворення оптимальних значень параметрів технологічної схеми означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня, оскільки відповідність цьому рівню робить технологічну схему шахти сприйнятливою до інновацій.

**Практична значимість.** Запропоновано модель для дослідження ефективності технологічних схем вугільних шахт щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття до інновацій. Подальше представлення структури виробничих зв'язків у вигляді мережевої моделі дозволяє знизити собівартість видобутку, підвищити продуктивність праці.

**Результати.** Наведений підхід може бути застосований при оперативному та довгостроковому плануванні діяльності підприємств вугільної та суміжної галузей виробництва, також для визначення максимально досяжної величини економічної доданої вартості. Для реалізації описаних методик було розроблено відповідне програмне забезпечення.

**Ключові слова:** технологічна схема, потенціал, статистичний аналіз, параметри, оптимізація, мережа, програмне забезпечення.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-31-37

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Сьогодні для вугільних шахт практично відсутня система кількісної оцінки стану технологічних схем, а існуючим (розрізненим) характеристикам схем властиві принципові помилки, а саме перевага віддається екстенсивному відтворенню рівня виробництва, а це, в свою чергу, йде на шкоду інноваційним перевагам [1]. Внутрішній потенціал технологічних мереж – один з найважливіших параметрів оцінки стану вугільних шахт. Його формування – результат впливу комплексу факторів, що визначають ефективність підземного видобутку, перш за все, для вугільної шахти це розвиток робіт у просторі. Ця властивість має об'єктивний характер, та пояснюється тим, що темп розвитку визначається діяльністю людини і залежить від багатьох факторів, зокрема, рівня науково-технічного прогресу, при цьому необхідність розвитку задана природою і не може бути виключена, навіть якщо буде змінена технологія виробничого процесу. Слід зазначити, що оцінка потенціалу необхідна для: визначення рівня «чутливості до інновацій», тобто відповідності впроваджених заходів із підвищення техніко-економічних показ-

ників з реальним їх приростом; прогнозування подальших тенденцій розвитку гірничих робіт, що дозволить на державному рівні приймати рішення щодо доцільності фінансування зазначеного підприємства. Таким чином розробка підходів щодо оцінки потенціалу та оптимізації параметрів технологічних схем вугільних шахт (а також родовищ корисних копалин) є актуальною науковою задачею.

**Аналіз досліджень і публікацій.** Умовно методи оцінки можна розділити на три групи: до першої групи відносять підходи, які базуються на застосуванні критеріїв, зокрема «трудомісткість» робіт [1], «гнучкість» технологічної схеми [2], енергетичні витрати [3], витрати на видобуток тони вугілля [4] та ін. Характерною особливістю підходів першої групи є те, що вони не враховують розвиток робіт у просторі, можливий потенціал технологічної схеми, тобто прийняте рішення є не оптимальним, а прийнятним лише для вказаних умов експлуатації. До другої групи відносять методи, які передбачають порівняння параметрів технологічної схеми з еталонними значеннями [5, 6] (трудомісткість, витрати матеріалів, коефіцієнт готовності та ін.), проте існує ряд недоліків до яких можна віднести трудомісткість розрахунків, неможливість отримання достовірних даних, так як, враховують кінцевий результат, а не стадії отримання продукту, окрім цього, відсутні інструменти оптимізації. До третьої групи відносять методи аналізу ієрархій (МАІ) серед них базовий метод АНР [7] та його модифікації fuzzy-АНР [8], Grey-АНР [9], TODIM [10], методи багатокритеріальної оптимізації: PROMETHEE [11], ELECTRE [12], VICOR [13]. Застосування даних підходів передбачає порівняння критеріїв між собою, визначення найбільш «впливових» та подальша оптимізація. Однак, існує ряд недоліків, які не дозволяють застосувати наведені підходи: значення критеріїв ефективності між собою можуть бути не спів розмірними, тобто, із умови беззбитковості вугільної шахти [14] продуктивність вибою повинна складати 1000 т/доб., для більшості вибоїв ця умова виконується, так як продуктивність не перевищує 1600 т/доб., однак існують очисні вибої з продуктивністю 3200 т/доб. [15], отже рівню значної переваги  $H_d = 0.5$  буде відповідати продуктивність  $Q = 1000$  т/доб., а максимальної переваги  $H_d = 1.0$  буде відповідати продуктивність  $Q = 3200$  т/доб., фактично 66% очисних вибоїв будуть «переважними». Також невідомо як враховувати між собою зв'язки на «нижчих» ієрархічних рівнях: в очисному вибою, у циклі з видобутку, транспортування вугілля та ін. Окрім цього, існує «область раціонального проектування» [16], тобто сукупність технологічних, економічних, експлуатаційних параметрів які відповідають циклу з видобутку вугілля. Оцінка потенціалу та оптимізація параметрів експлуатації передбачає комплекс заходів не тільки з порівняння можливих варіантів між собою та вибору прийнятного але і подальшу оптимізацію та впорядкування виробничого циклу.

**Постановка задачі.** Таким чином, аналіз робіт [1–16] свідчить про те, що для підвищення ефективності функціонування технологічних схем необхідно розробити інструмент оцінки реального потенціалу з урахуванням зв'язків між елементами системи. Для цього необхідно:

запропонувати показники оцінки рівня концентрації гірничих робіт та техніко-економічної стійкості технологічної мережі шахти;

визначити фактори, які впливають на ефективність технологічної схеми;

розробити універсальний підхід щодо оптимізації та впорядкування технологічної схеми;

запропонувати систему підтримки прийняття рішень.

Для цього необхідно провести комплексний метод досліджень, який включає статистичний аналіз для встановлення залежності між показником технічного потенціалу та низкою незалежних показників виробничо-господарської діяльності шахти, багатокритеріальний метод Парето щодо оцінки рівня потенціалу та сприйняття вугільної шахти до інновацій. Застосувати методи дискретної математики на мережевих моделях для оптимізації параметрів експлуатації та впорядкування структури виробничих зв'язків.

**Викладення матеріалу та результати.** У якості вихідних факторів з метою дослідження формування параметра «технічний потенціал» були прийняті наступні показники з різних груп, які характеризують виробничу діяльність, гірничо-геологічні та технологічні умови шахт Донбасу: рівень концентрації гірничих робіт  $L$ , продуктивність праці робітника з видобутку  $P$ , місячне посування лав  $V$ , собівартість видобутку 1т вугілля  $S$ .

Для визначення внутрішнього потенціалу були розглянуті основні факторні ознаки, які можуть визначати формування технічного потенціалу топологічної мережі шахти, як інтегральної оцінки шахти в частині інновацій. Що стосується продуктивності праці робітника з видобутку, місячного посування лав і собівартості видобутку 1 т вугілля, то їх значення були прийняті за фактичними даними про діяльність антрацитових шахт, що входять до складу ДП «Свердловантрацит», «Ровенькиантрацит» і «Донбасантрацит» за 2010–2012 рр. Даний часовий проміжок обрано не випадково, адже в розглянутий період підприємства працювали у плановому режимі, до початку військових дій.

Для побудови рівняння множинної регресії, що описує показник «технічний потенціал», використаний покроковий метод включення змінних. Таким чином, визначення максимально досяжної величини економічної доданої вартості, створюваної шахтою, є одним із різновидів багатокритеріальної задачі з чотирма критеріями, яку необхідно звести до однокритеріального з функцією цілі (1)

$$k_k = -\alpha + \beta P - \mu S \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $k_k$  – зведений показник внутрішнього потенціалу мережі виробок;  $P$  – продуктивність праці робітника з видобутку;  $S$  – собівартість видобутку 1 т вугілля;  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\mu$  – показники якості гірничої маси визначаються топологією мережі виробок та відповідністю виїмкової техніки умовам залягання пластів, для вугільного виробництва це найчастіше зольність, вологість, зміст шкідливих компонентів (тоді критерій  $\alpha \rightarrow \min$ ).

Досягнення максимальної величини залежить, насамперед, від співвідношення величин  $L, P, V, S$ . Крім того, слід враховувати той факт, що максимізація показника «технічний потенціал» досягається в умовах обмеженості потужності по чиннику вентиляція і щільності продуктивних потоків відповідно. Отже, завдання максимізації параметру  $k_k$ , зводиться до пошуку компромісу між величинами чотирьох основних факторів (1).

При такій інтерпретації економіко-математична модель записується таким чином: визначити оптимальні значення функцій цілі за наступними критеріями [17]:

$$\begin{aligned} L(X, Y) &\rightarrow \min; \\ P_i(X, Y, Z) &\rightarrow \max; \\ V_i(X, Y, Z) &\rightarrow \max; \\ S_i(X, Y, Z) &\rightarrow \min, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\{X\}, \{Y\}, \{Z\}$  – точки, що характеризують можливі рішення у просторі множин Парето, тобто кожне рішення можна представити у вигляді векторів  $(\overline{O}, \overline{X}); (\overline{O}, \overline{Y}); (\overline{O}, \overline{Z})$ , що виходять із точки початку координат  $O$  та закінчуються у відповідних точках множин  $\{X\}, \{Y\}, \{Z\}$ . Кожній множині  $\{X\}, \{Y\}, \{Z\} \Rightarrow \{X_1, X_2, \dots, X_n\}, \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}, \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  – відповідають обмежувальні фактори за продуктивністю, собівартістю, якістю та ін. Визначення найбільш оптимального поєднання параметрів  $\{X_1, X_2, \dots, X_n\}, \{Y_1, Y_2, \dots, Y_n\}, \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  і є відтворення технологічного потенціалу шахти. Найбільш прийнятним способом розв'язку даної задачі є багатокритеріальний метод Парето [18, 19].

Відтворення оптимальних значень параметрів технологічної схеми означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня, оскільки досягнення саме цього рівня робить технологічну схему шахти сприйнятливою до інновацій.

У найбільш загальному вигляді будь-яке виробництво розглядається таким чином [20, 21]: деяке число людей  $M$  за допомогою  $N$  машин впродовж часу  $T$  виконують роботу з видобутку вугілля в обсязі  $A$  з визначеною якістю  $\alpha$ . Для виробництва необхідні ресурси в об'ємі  $K$ . На утримання людей і машин, а також на видобуток вугілля витрачаються певні кошти  $S$ . Як для людей, так і для машин необхідні сприятливі умови роботи (кількісно це можна виразити співвідношенням роботоспроможністю людей  $\sum R$  і машин  $\sum q$  відповідно).

Будь-яка з названих величин залежить від умов і мети розв'язку задачі може слугувати характеристикою ефективності даної технологічної схеми шахти, тобто може бути прийнята за критерій оптимальності. При цьому останні характеристики або приймаються постійними, або допускається їх коливання в деяких межах (табл. 1).

Характеристика ефективності процесу видобутку вугілля

Показники	Форма критерію	Форма обмежень
Чисельність робітників, люд.	$M \rightarrow \min$ (1.1)	$0 \leq M \leq M_{max}$
Кількість гірничої техніки	$N \rightarrow \min$ (1.2)	$1 \leq N \leq N_{max}$
Об'єм матеріальних ресурсів, грн.	$A \rightarrow \min$ (1.3)	$A_{min} \leq A \leq A_{max}$
Час роботи, год	$T \rightarrow \min$ (1.4)	$0 \leq T \leq T_{max}$
	$T/T_{nl} \rightarrow 1$ (1.5)	
Об'єм видобутого вугілля, т	$Q_m \rightarrow \min$ (1.6)	$Q_{min} \leq Q_m \leq Q_{max}$
	$Q_m/Q_{nl} \rightarrow 1$ (1.7)	
Зольність рядового вугілля, %	$\alpha \rightarrow \min$ (1.8a)	$\alpha_{min} \leq \alpha \leq \alpha_{max}$
	$\alpha_s \rightarrow \min$ (1.8б)	
Витрати на 1т, грн.	$S \rightarrow \min$ (1.9)	$S_{min} \leq S \leq S_{max}$
Безпека праці і зручність роботи людей	$\Sigma R_m / \Sigma R_0 \rightarrow 1$ (1.10)	$M_m / M_0 = 1$
		$\Sigma R_m / \Sigma R_0 \geq k_{min}$
Технічна надійність вибійного обладнання	$\Sigma q_m / \Sigma q_0 \rightarrow 1$ (1.11)	$\Sigma q_m / \Sigma q_0 \geq k'_{min}$

Проте для конкретних організаційних завдань існують досить важкі умови вживання окремих критеріїв:

1. Чотири величини з названих ( $M, N, A, T$ ) характеризують вихідні компоненти видобутку вугілля: виробничі ресурси, техніка та технологія і витрати праці ( $M$  і  $T$ ). Вочевидь, що як критерій оптимальності вони мають бути мінімізовані (вирази (1.1)–(1.4) в табл. 1), але при обов'язкових вимогах заданого обсягу вугілля:  $Q_m \geq Q_{nl}$ , інакше завдання втрачає сенс. Такий варіант постановки задачі доцільний, якщо фізично можлива економія ресурсів, що витрачаються на видобуток.

2. Показники  $\Sigma R$  та  $\Sigma q$  теоретично можуть бути критеріями і навіть застосовуватися в окремих короткочасних ситуаціях. Проте по своїй суті вирази (1.10), (1.11) мають протиріччя сенсу активної діяльності.

3. Показники  $Q_m$ ,  $\alpha$ ,  $S$  характеризують результати виробництва, але вони різні по своїй суті, тому розглянемо кожен з них окремо: максимізація об'ємів видобутку  $Q_m$  найбільшою мірою відповідає меті виробництва за умови дотримання всіх необхідних обмежень, пов'язаних з ресурсами, умовами роботи і якістю рядового вугілля. Даний критерій не може бути застосованим лише при обмеженні потужності суміжних ланок. Тоді доцільніше скористатися виразом (1.7), де  $Q_{nl}$  – заданий обсяг видобутку.

У ряді випадків продуктивність системи ( $q$ ) може бути прийнята постійною для дискретних систем відповідного рівня. Тоді  $Q_m = qT$ , і в цих випадках з метою спрощення формулювання і вирішення задачі замість величини  $Q_m$  як критерій можна застосувати коефіцієнт використання устаткування  $k_u = T/T_{nl}$ . Для шахти це найдоцільніше в короткочасних, оперативних організаційних завданнях, де без великої похибки можна прийняти  $q = \text{const}$ .

Показники якості при цьому грають роль обмежень в задачах, для яких не може бути прийнято  $\alpha = \text{const}$ , до них відносяться, насамперед, задачі планування видобутку складних по складу ділянок шахтного поля (некондиційні за якістю запаси).

Витрати  $S$  на виробництво деякого об'єму видобутку є похідним показником

$$S = f(N, M, T, A, Q_m).$$

Як узагальнений економічний показник, ця величина може слугувати критерієм оптимальності за умови фіксованого обсягу виробництва  $Q = \text{const}$ . Досить точний розрахунок витрат може бути виконаний лише за відносно великий термін часу (декада, місяць), тому при вирішенні оперативних завдань цей критерій застосовувати недоцільно через його малу чутливість. Крім того, на практиці лише за витратами важко оцінити дійсну ефективність виробництва, оскільки при різних організаційних альтернативах  $Q_m \neq \text{const}$ . Тому частіше використовують економічні критерії, похідні від  $S$ . Зокрема, в завданнях поточного (місячного) планування і управління як критерій широко використовуються питомі витрати (собівартість). Після побудови моделі оцінки технологічного потенціалу слід перейти до визначення факторів, які сприяють відтворенню заданого рівня. Лише після цього можна перейти до їх оптимізації та впорядкування технологічного циклу.

Таким чином оцінка потенціалу вугільної шахти включає аналіз техніко-економічних показників роботи, рівень механізації, топологію гірничих виробок, структуру виробничого циклу.

При цьому ефективність технологічної схеми має детермінований характер, тобто загальна ефективність системи залежить від ефективності на кожному з етапів виробництва, тому без оптимізації та впорядкування зв'язків на нижчих за ієрархією рівнях: «очисний вибій», «система транспорту» та ін. неможливо вирішити задачу підвищення ефективності виробництва.

В роботах [22–24] наведено методологію, область застосування та отримані результати. Суть наведеного підходу [22] полягає у наступному:

технологічну схему або структуру виробничих зв'язків можна представити у вигляді впорядкованої структури – мережевої моделі, при цьому можна розглядати як усю технологічну схему, цикл так і «локальну» підсистему – технологічний ланцюжок очисного обладнання, витрати на обслуговування та ремонт та ін.;

в якості вершин мережевої моделі слід прийняти об'єкти які впливають на ефективність, тобто типи обладнання, проміжні етапи технологічного циклу та ін., при цьому об'єктам одного призначення (наприклад, очисні комбайни, механізовані кріплення) відповідає один рівень в мережевій моделі;

після цього слід з'єднати вершини, в якості відстаней (ребер) приймають значення оптимізаційного параметру, який формується на вказаному етапі; обов'язковою умовою є включення усіх етапів для кожної альтернативи;

тоді задача пошуку оптимальної альтернативи технологічної схеми за величиною оптимізаційного параметру може бути сформована як знаходження найкоротшого маршруту в мережевій моделі з поміж запропонованих, а задача впорядкування полягає в пошуку найкоротшого маршруту з поміж можливих.

Задача пошуку найкоротшого маршруту може бути вирішена методами лінійного програмування, ручним перебором, але кількість альтернатив які слід перебрати складає  $2^N$  де  $N$  – кількість типів обладнання, тобто, для 5–6 альтернатив, які включають 10 типів обладнання необхідно проаналізувати  $2^{10}$  маршрутів, що фізично неможливо. Тому, в Інституті фізики гірничих процесів НАН України було розроблено та зареєстровано програмне забезпечення [25], яке дозволяє автоматизувати процес пошуку оптимальних технологічних схем та впорядкування технологічного процесу. Область застосування не обмежується гірничим виробництвом, а може застосовуватись і у суміжних галузях виробництва [26, 27, 28].

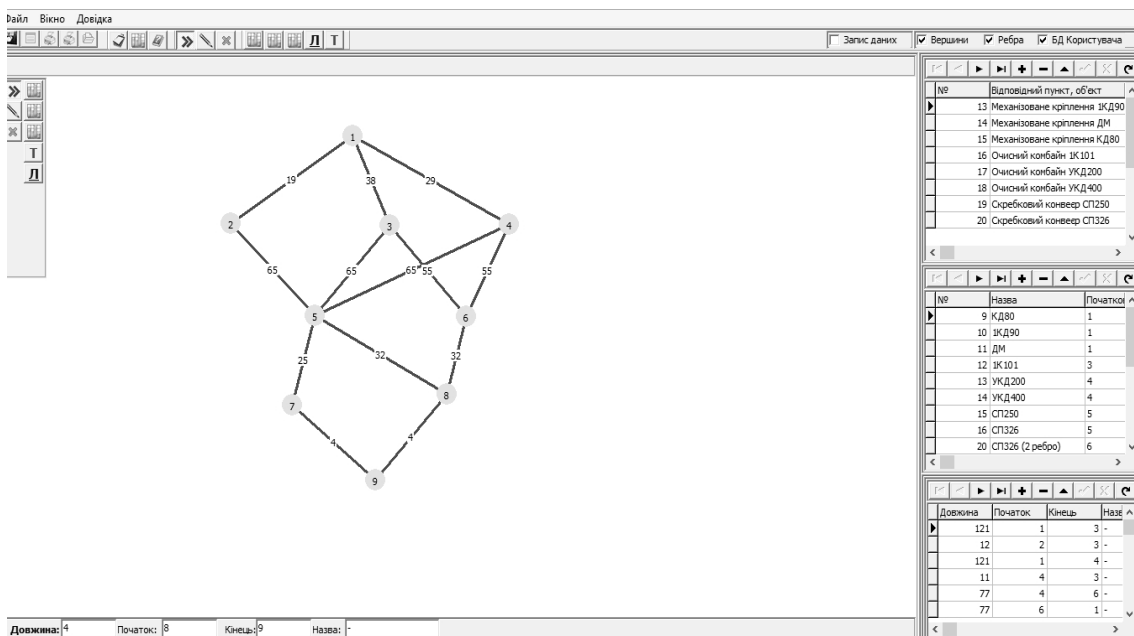


Рис. 1. Інтерфейс програми пошуку оптимальних маршрутів у мережевій моделі

Окрім цього програма має можливість формування «банку даних» проектних рішень [29, 30], тобто проектувальник може створити технологічну схему підприємства, циклу, ділянки та постійно аналізувати її на предмет зазначених у роботі параметрів. Більш того, наявні бази даних дозволяють зберігати інформацію та формувати комплексні звіти. Застосування наведеної системи підтримки прийняття рішень дозволяє не тільки оптимізувати параметри експлуатації,

але і впорядкувати структуру виробничих зв'язків, тобто знайти умови функціонування при яких оптимізаційний параметр буде найменшим з поміж можливих.

**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Технічний потенціал технологічної схеми – комплексна оцінка, яка враховує відповідність рівня концентрації гірничих робіт, розвитку підприємства у просторі, структуру виробничих зв'язків, цикл з виробництва продукції до рівня максимальної ефективності підприємства. Для сприйняття інновацій слід знайти оптимальні значення параметрів технологічної схеми, що означає повну реалізацію економічного потенціалу шахти, тобто гранично досяжного (еталонного) рівня. Процес пошуку ускладнений різноманітністю параметрів та природою їх виникнення але застосування мережевих моделей та алгоритмів оптимізації на мережах дозволили розробити систему підтримки прийняття рішень, яка дозволяє запровадити наведений у роботі підхід у виробництво.

Подальші дослідження слід направити на розробку підходів щодо відтворення заданого рівня ефективності при обмежених ресурсах та розробити методи відносно прийняття рішень в умовах невизначеності.

### Список літератури

1. **Миндубаева Е.Н.** Обоснование рациональной технологической схемы угольной шахты на основе оптимизации ее функциональных подсистем. М.: ГИАБ, 2005. №5 С. 34–37.
2. **Kazakidis V.N.** Planning for flexibility in underground mine production systems. Technical papers. Advances in Futures and Options Research. 2010. Vol. 4. pp. 153–164.
3. **Hoseinie S.H.** Modeling and Simulation of Drum Shearers Reliability at Mechanized Longwall Mines – case study: PhD Thesis. Shahrood, Iran, 2011. 200 p.
4. **Myszkowski M., Paschedag U.** Longwall mining in seams of medium thickness comparison of plow and shearer performance under comparable conditions. Caterpillar Inc., 2013. 50p.
5. **Brazil M., Thomas D.A., Weng J.F., Lee D.H., Rubinstein J.H.** Cost optimization for underground mining networks. Optimizat Eng. 2005. Vol.6. pp. 241–256.
6. **Krauze K.** Selection of shearer cutter loader parameters for unidirectional and bidirectional longwall mining systems. Mine Planning and Equipment Selection. 2004. Vol. 1. 439–443 pp.
7. **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.
8. **Mikaeil, R., Naghadehi, M., Ataei, M., & Khalokakaie, R.** A decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) and TOPSIS approaches for selection of the optimum underground mining method. Archives of Mining Sciences, 2009, 54(2), 349-368.
9. **Dehghani, H., Siami, A., & Haghi, P.** A new model for mining method selection based on grey and TODIM methods. Journal of Mining & Environment. 2017, 8(1), 49-60.
10. **Tzeng, G., & Huang, J.** Multiple attribute decision making: Methods and applications. 2011, Boca Raton, FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.
11. **Grujic, M., & Tomasevic, A.** Choice of outside transportation system in underground coal mines by multiple criteria analysis. Underground Mining Engineering, 1996, 4(1), 62-70.
12. **Zhang, J. & Wang, Zh.** The selection of coal strategic suppliers to the electric power enterprises based on cooperative game. China Coal, 2012, 3(4), 230-240.
13. **Opricovic, S., & Tzeng, G.-H.** Extended VIKOR method in comparison with outranking methods. European Journal of Operational Research, 2007, 178(2), 514-529.
14. **Яценко Ю.П.** Достижение экономических пропорций расширенного воспроизводства на действующих шахтах Донбасса. Уголь Украины. 2011. № 9. С. 6–11.
15. **Пилюгин В.И.** Влияние технических и технологических инноваций на перспективу развития шахты. Уголь Украины. 2010. № 2. С. 13–16.
16. **Гринев В.Г., Николаев П.П., Деуленко А.И., Череповский П.В.** Технологические аспекты физики горных процесов. Наукові праці УкрНДМІ НАН України. 2013. № 13. С. 197–208.
17. **Саллі С.В., Бондаренко Я.П., Терещенко М.К.** Управління техніко-економічними параметрами вугільних шахт (НГУ). –Д.: Герда, 2009. – 150 с.
18. **Бойченко Н.В.** К вопросу экономической устойчивости угольных шахт в депрессивных районах Донбасса // Економіка: проблеми теорії та практики. Зб. наук. праць Дніпропетровського національного університету. Випуск 159. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2002. - С. 157-164.
19. **Mamaikin, O.** Coal industry in the context of Ukraine economic security / **O. Mamaikin, J. Kicki, S. Salli, V. Horbatova** // Mining of Mineral Deposits / National Mining University. – Dnepr, 2017. – Vol. 11. – pp. 17-22.
20. **Воспроизводство шахтного фонда и инвестиционные процессы в угольной промышленности Украины / Г.Г. Пивняк, А.И. Амоша, Ю.П. Яценко и др.** – К.: Наук. думка, 2004. – 331 с.
21. **Оцінка економічної ефективності вугледобувних підприємств у сучасних умовах / С.В. Салі, О.Р. Мамайкін, В.М. Почепов** // Школа підземної розробки – 2017: Матеріали міжнародної конференції, 4-8 вересня 2017 р. – Дніпро: Національний гірничий університет, 2017. – С. 75–76.
22. **Гринев В.Г.** Графы и сети для выбора горно-шахтного оборудования. Днепропетровск, 2016. 247 с.
23. **Hrinov V.G. and Khorolskyi A.A.** Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering, 2018, 60, 00017.

24. **Хорольський А.О., Грінюв В.Г.** Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ. Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: «Технічні науки», 2017, 80(2), 199–207.
25. **Гринев В.Г., Хорольський А.А.** Обоснование параметров выбора комплектаций очистного оборудования с учетом области рациональной эксплуатации. Вести Донецкого горного института, 2017, 1(40), 139–144.
26. **Хорольський А.О., Грінюв В.Г.** Закономірності формування технологічних схем для ефективної експлуатації вугільних родовищ. // Форум гірників–2018: матеріали міжнародної науково-практичної конференції. – Дніпро, 2018. – С. 43–51.
27. **Vladyko, O., Kononenko, M., & Khomenko, O.** Imitating modeling stability of mine workings. Geomechanical processes during underground mining, 2012, 147-150.
28. **Zhanchiv, B., Rudakov, D.V., Khomenko, O.Ye., & Tsendzhav, L.** Substantiation of mining parameters of Mongolia uranium deposits. Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu, 2013, (4), 10-18.
29. **Balusa, B.C., Singam, J.** Underground mining method selection using WPM and PROMETHEE. Journal of the Institution of Engineers (India): Series D, 2017, 99(1), 165–171.
30. **Shariati S., Abdolreza Y.-C., Behrang P.B.** Mining method selection by using an integrated model. Int. Res. J. Appl. Basic Sci. 2013. 6(2), 199–214.

Рукопис подано до редакції 22.03.2019

УДК 614.8:331.45:331.421:331.582.2

К.В. ДАНОВА, канд. техн. наук, доц.

Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова

## ВИКОРИСТАННЯ МЕТОДУ АНАЛІЗУВАННЯ ВИДІВ І НАСЛІДКІВ ВІДМОВ У ДОСЛІДЖЕННІ РИЗИКІВ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ ПРАЦІВНИКА ІЗ ІНВАЛІДНІСТЮ

**Мета.** Дослідження інформаційних можливостей методу аналізування видів і наслідків відмов у оцінці ризиків на робочому місці працівника із інвалідністю з метою розробки заходів щодо попередження виникнення небезпечних ситуацій, пов'язаних із травмуванням працівника чи створенням аварійної ситуації на об'єкті. Особливу увагу приділено аналізу невідповідностей, що виникають при роботі працівника за наявності стійких вад у стані здоров'я, які обумовлюють особливу вразливість цієї категорії працівників із погляду виробничої безпеки.

**Методика дослідження.** Методика ґрунтується на використанні принципів системного аналізу на базі вивчення інформації про технологічний процес, що розглядається, особливості виробничого обладнання, а також вплив стану здоров'я працівника на безпеку праці. Метод аналізування видів і наслідків відмов (Failure Mode Effect Analysis) є загально визнаним у світовому фаховому співтоваристві методом управління ризиками, зокрема у сфері охорони праці, використання якого дозволяє сформувати перелік невідповідностей, які призводять до виникнення небезпек, та дає інформацію, необхідну для розуміння факторів, що впливають на роботу системи «обладнання – працівник із інвалідністю» в аспекті безпеки праці.

**Наукова новизна.** Полягає у формуванні переліку невідповідностей на робочому місці працівника та визначенні пріоритетного числа ризику, що може бути використано для прийняття управлінських рішень для подальшої розробки заходів із попередження виробничого травматизму та підвищення загального рівня безпеки на підприємстві.

**Практичне значення.** Полягає у вивченні можливості використання даного підходу до удосконалення системи управління охороною праці на підприємстві із урахуванням безпеки працівників із інвалідністю, що сприятиме зростанню чисельності осіб із стійкими вадами здоров'я, яких буде працевлаштовано на виробництві.

У результаті використання методу аналізування видів і наслідків відмов на прикладі робочого місця працівника, який виконує виробничі операції на металообробному верстаті, отримано кількісні показники ризику із урахуванням важкості наслідків та можливостей своєчасної ідентифікації невідповідностей. Це дає можливість визначити пріоритетні шляхи щодо вдосконалення стану охорони праці на робочому місці.

**Ключові слова:** ризик, працівник, інвалідність, безпека, відмова, травматизм.

doi: 10.31721/2306-5451-2019-1-48-37-41

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Забезпечення сталого розвитку промисловості неможливе без впровадження ефективних рішень по забезпеченню безпеки працівників на робочих місцях. Організація технологічного процесу та виробничого середовища із урахуванням вимог охорони праці дозволяє підвищити ефективність трудової діяльності, знизити рівень травматизму та професійної захворюваності, попередити плинність кадрів, що позитивно відіб'ється на рентабельності, конкурентоспроможності та інвестиційній привабливості підприємства.