

© А.О. Хорольський<sup>1</sup>, Л.Я. Фомичова<sup>2</sup>, В.М. Почепов<sup>2</sup>, О.Р. Мамайкін<sup>2</sup>, В.В. Лапко<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ІННОВАЦІЙНОГО ПОТЕНЦІАЛУ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ В УМОВАХ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ

© A. Khorolskyi<sup>1</sup>, L. Fomychova<sup>2</sup>, V. Pochepov<sup>2</sup>, O. Mamaikin<sup>2</sup>, V. Lapko<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Branch for Physics of Mining Processes of the M.S. Poliakov Institute of Geotechnical Mechanics the National Academy Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

<sup>2</sup> Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

## RESULTS OF RESEARCH OF INNOVATIVE POTENTIAL OF COAL MINES IN CONDITIONS OF DIVERSIFICATION

**Мета.** Запропонувати новий методичний підхід щодо комплексної оцінки вугледобувних підприємств на основі оцінки технологічних схем з точки зору їх сприйняття до інновацій в умовах диверсифікації.

**Методика.** Для вирішення поставлених задач використано комплексний метод, який полягає у геометричній інтерпретації задачі визначення граничних параметрів технологічних схем, застосовуванні критеріальних оцінок для встановлення рівня ефективності виробництва та застосовуванні комплексного показника економічної надійності.

**Результати.** Вперше запропоновано критерії оптимальності управління інноваціями у вугільній галузі, які враховують рівень організації інноваціями, організацію інноваційної виробничої системи, організацію інноваційного виробничого процесу. Розроблено комплексний показник «внутрішній потенціал технологічних мереж» – один з найважливіших параметрів оцінки стану вугільних шахт. Встановлено, що його формування – результат впливу комплексу факторів, що визначають ефективність підземного видобутку і, перш за все, властивість вугільної шахти – розвиток в просторі. Згідно з наведеною концепцією, політика оптимального управління підтримання потужності діючих шахт будується на оцінці запасів, що залишилися, обґрунтованому плануванні відтворення очисної лінії та відповідності виїмкової техніки умовам експлуатації. Підвищення концентрації виробництва досягається за рахунок перерозподілу запасів, що залишилися, і об'єднання шахт гірничими роботами, що дає можливість концентрувати ресурси на тих частинах шахтного поля, де ефект буде найбільшим. Основу моделювання таких задач становить система обмежень, позбавлена обов'язкових у минулому вимог забезпечення планових навантажень на шахту.

**Наукова новизна.** Аналіз показників ефективності технологічних схем вуглевидобутку і облік фактичної системи показників, що склалася, дозволили розробити рекомендації по використанню критеріїв оптимальності в організаційних завданнях оцінки потенціалу технологічної схеми шахти. В результаті виконання дослідження запропоновано нову систему, щодо управління інноваціями у гірничовидобувному комплексі.

**Практична значимість.** Запропоновані підходи можуть бути застосовані для комплексної оцінки вугільних шахт, що дозволить визначити рівень підтримки з боку держави, а також прогнозувати рівень розвитку та концентрації гірничих робіт у просторі. Все це дозволить

здійснювати ефективне управління основними виробничими ресурсами для підвищення потенціалу технологічних схем вуглевидобутку та зниження рівня збитковості державних вугільних шахт.

**Ключові слова:** *інновації, мінімальні витрати, обсяг виробництва, інвестиції, економічна надійність, ефективність, простір.*

**Вступ.** На сьогодні в паливно-енергетичному комплексі України виникли кризові явища: зросла собівартість, зношені основні фонди, незадовільний стан інфраструктури – ці негативні явища призвели до неконтрольованого згортання виробничих потужностей. Більшість підприємств відпрацювали свої строки експлуатації. Окрім цього, наявні незадовільні технологічні умови, адже в 90-х роках ХХ сторіччя не відбулось розкриття нових горизонтів, і як наслідок мережа виробок досить протяжна у просторі, що впливає на час доставки корисної копалини та собівартість видобутку. Наразі існує практика, коли в межах одного об'єднання налічується одна ефективна та три-чотири глибоко збиткові шахти. За рахунок діяльності «ефективної» шахти підтримується життєдіяльність «неефективних».

На основі аналізу негативних тенденцій, які виникли у паливно-енергетичному комплексі країни [1] робимо висновок про те, що наразі відсутня система щодо комплексної оцінки вугільних шахт. Тенденції, що виникли в країні свідчать про те, що відбувається перехід до стимулювання найбільш ефективних підприємств, адже коштів на підтримання застарілого фонду не вистачає, саме тому необхідно розробити комплексну методику щодо оцінки стану вугільних шахт [2, 3]. Запорукою вирішення цих проблем, що дозволить подолати кризові явища, є управління інноваційною діяльністю підприємств.

**Основна частина.** Виходячи із актуальності дослідження слід проаналізувати основні наукові праці, щодо інноваційної діяльності у сфері управління гірничим виробництвом. Слід зазначити, що ми розглядаємо управління інноваційною діяльністю як інструмент підвищення ефективності розподілу інвестицій, оптимізації технологічних процесів, підвищення надійності виробництва, що неможливо здійснити без комплексної оцінки підприємств. Кінцевим результатом управління інноваційною діяльністю стане комплексне залучення наявних у підприємства ресурсів, а також підвищення ефективності виробництва від залучених інвестицій.

В таблиці 1 наведено комплексний аналіз публікацій присвячених управлінню інноваційною діяльністю у гірничому виробництві. Слід зазначити, що на основі аналізу цих праць було визначено основні чинники, критерії, які слід оптимізувати.

Таблиця 1

Аналіз праць присвячених інноваційній діяльності та впливу інновацій на ефективність гірничого виробництва

Дослідники	Рік	Наукова новизна
Klippel A.F., Petter C.O., Antunes Jr,J.A.V.[4]	2008	Виділено основні аспекти інноваційної діяльності у гірничому виробництві та ресурси, якими слід управляти для досягнення поставленої мети
Bryant P. [5]	2015	Виділено ключові сили та тенденції, які формують загальну ефективність гірничого виробництва, що дозволило визначити основні показники, які в подальшому слід оптимізувати
Gruenhagen J.H., Parker R. [6]	2020	Проаналізовано відносини між суб'єктами та об'єктами інноваційного процесу, а також виділено основні напрямки інноваційної діяльності
Aznar-Sánchez J.A., et. al. [7]	2019	Визначено вплив інновацій на гірниче виробництво, а також основні причини неефективного впровадження їх у діяльність
Endl A., Tost M., et. al. [8]	2019	Розглянуто вплив інновацій не тільки на гірництво, але і на ситуацію в регіоні де ведеться видобуток
Gruenhagen, J.H [9]	2016	Виділено фізичні компоненти у виробництві, які сприяють ефективному відтворенню інновацій
Milanez B., de Oliveira J.A.P. [10]	2013	Розглянуто в комплексі вплив інноваційної діяльності на підприємствах, що дозволило зробити висновок, що саме групування підприємств за їх ознаками є найбільш правильним інструментом для впровадження інновацій

Аналіз праць [4 – 10] дозволяє сформулювати основні методологічні підходи, щодо вирішення проблеми ефективного відтворення інноваційної діяльності у гірничому виробництві:

- необхідно визначити основні «рушійні сили» та чинники, які визначають ефективність гірничого виробництва;
- необхідно дослідити основні обмеження, які впливають на загальну ефективність виробництва;
- при дослідженні впливу інновацій на кінцеву ефективність виробництва слід розглядати всі чинники в комплексі;
- необхідно враховувати ступінь залучення підприємств в економіку регіону, а також зв'язок між підприємствами, які ведуть видобуток аналогічного виду сировини;

– необхідно запропонувати комплексний метод, щодо оцінки стану вугільного підприємства.

Зрозуміло, що основною запорукою ефективного впровадження інновацій є комплексна, а саме головне, реальна оцінка діючих підприємств. Проаналізуємо основні підходи щодо оцінки вугільних підприємств (табл. 2). Це дозволить нам сформулювати основні вимоги до розробки власної оцінки.

Таблиця 2

## Основні підходи щодо оцінки вугледобувних підприємств

Дослідники	Рік	Наукова новизна
Zhang L., Wang J., Feng Y. [11]	2018	Запропоновано оцінювати ефективність за системою транспорту, за збагаченням та за впливом на екологію
Betrie G.D., et. al. [12]	2013	Застосовано MCDA метод оцінки
Bakhtavar E., et.al. [13]	2012	Застосовано цілочисельне програмування
Sabour S.A., Dimitrakopoulos R. [14]	2011	Застосовано стохастичні підходи щодо планування
Hrinov V.H., Khorolskyi A.A. [15]	2018	Застосовано мережеві моделі для оцінки та підвищення надійності
Krzak M. [16]	2013	Застосовано критерії прийняття рішень для оцінки шахт
Iphar M. [17]	2006	Застосовано метод нечітких множин для оцінки
Gonen A., et. al. [18]	2012	Застосовано динамічне моделювання для оцінки системи

Отже, із аналізу праць [11–18] можна сформулювати основні вимоги до інструментів прийняття рішень:

– по-перше, вказані інструменти повинні враховувати параметри мережі гірничих виробок, умови експлуатації, а також наявні обмеження;

– по-друге, вказаний інструмент повинен бути комплексним та безрозмірним, що дозволить його застосувати для групи підприємств;

– по-третє, основним критерієм, який відповідає за ефективність відтворення інновацій є надійність виробництва, тобто здатність вугледобувного підприємства забезпечувати вказаний рівень виробництва за заданих обмеженнях [19];

– по-четверте, необхідно моделювати відтворення показників роботи у відповідності до залученого рівня інвестицій [20].

Все це формує наукову та практичну цінність роботи.

Для вирішення поставленої задачі необхідно:

1) Визначити характеристики ефективності виробництва. Аналіз показників ефективності технологічних схем вуглевидобутку й облік фактичної системи показників, що склалася, дозволяють розробити рекомендації, щодо використання

критеріїв оптимальності в організаційних завданнях оцінки потенціалу технологічної схеми шахти.

2) Запропонувати комплексний показник, який оцінює загальний рівень концентрації робіт підприємства в просторі. На основі цього будуть встановлені оптимальні параметри, спільний вплив яких дозволяє встановити межу, до якої можливе погіршення техніко-економічних показників шахт.

3) Розробити комплексний показник, щодо оцінки рівня залучення інвестицій, що дозволить визначити найбільш перспективні підприємства в рамках однієї юридичної особи.

Вихідними параметрами, які формують «технічний потенціал» є: рівень концентрації гірничих робіт ( $L$ ), що характеризує ступінь зосередження видобутку вказаної корисної копалини; продуктивність праці робітника з видобутку корисної копалини ( $P$ ), місячне посування очисного вибою (лави) ( $V$ ), собівартість видобутку 1 т корисної копалини (в нашому випадку, вугілля) ( $S$ ).

Категорія «потенціал технологічної схеми» найбільшою мірою застосована при розгляді окремих регіонів. Збільшення видобутку та поліпшення техніко-економічних показників можуть бути досягнуті різними шляхами: будівництвом других черг шахт, реконструкцією або навіть закриттям діючих шахт. Для регіону поняття «потенціал технологічних схем» набуває нового змісту, і в цьому випадку доречно говорити про розвиток, одним з елементів якого є модернізація окремих шахт та тісно пов'язана нею концентрація й інтенсифікація виробництва.

Як відомо, головна властивість вугільної шахти, що визначає всі елементи її діяльності – розвиток в просторі. Ця властивість має об'єктивний характер, оскільки вона обумовлена фундаментальною властивістю вугілля – його не відтворюваністю. Темп розвитку визначається діяльністю людини і залежить від багатьох факторів, зокрема рівня науково-технічного прогресу, але необхідність розвитку задана природою і не може бути виключена або чимось замінена, навіть якщо буде змінена технологія виробничого процесу.

Продуктивність праці працівника, місячне посування лінії очисного вибою, собівартість 1 т видобутої сировини визначалась на основі отриманих даних, що надходять із антрацитових шахт Публічного акціонерного товариства «ДТЕК Ровенькиантрацит», «ДТЕК Свердловантрацит», державного підприємства «Донбасантрацит». Часові рамки дослідження від 2010 і до початку військових дій на сході країни.

Технічний потенціал вугільної шахти можна описати рівнянням множинної регресії (1). Для побудови рівняння використано метод покрокового включення змінних:

$$k_k = -aL + bP - cS \rightarrow \max, \quad (1)$$

де  $k_k$  – сукупний інтегральний показник внутрішнього потенціалу мережі гірничих виробок;  $L$  – протяжність гірничих виробок і довжина очисної лінії, м;  $P$  – продуктивність праці одного працівника з видобутку вугілля, тис. т/працівника;  $S$  – собівартість видобутку 1 т корисної копалини, у.о./т.;  $a, b, c$  – коефіцієнти множинної регресії.

Очевидно, що 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 за показниками вентиляція та щільність продуктивних потоків відповідно. Отже, завдання максимізації параметру  $k_k$ , зводиться до пошуку компромісу між величинами чотирьох основних факторів (1).

Фізичний сенс запропонованої економіко-математичної моделі зводиться до наступного – оптимальне значення цільової функції можливе за умови мінімальної концентрації гірничих робіт та мінімальної собівартості видобутку, при цьому продуктивність та посування очисного вибою повинні бути максимальними. Інакше кажучи, необхідно знайти баланс між співвідношенням величин  $L, P, V, S$  при виконанні умови [17]:

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

Для вирішення задачі (2) слід застосувати симуляційні системи, що можуть бути визначені методом Парето [21]. Особливістю цих систем є те, що для них неможливо визначити екстремум, але при цьому можна знайти «оптимум за Парето», який характеризує поліпшуваність ситуації [22].

Для встановлення пріоритету впливу на параметри виробничо-економічної діяльності шахти необхідно порівняти отримані (фактичні) значення показників з оптимальними значеннями, які були отримані при вирішенні системи рівнянь (1, 2). Тоді, сенс реалізації економічного потенціалу шахти полягає в відтворенні визначених оптимальних технологічних параметрів вугільних шахт. Інакше кажучи, технологічна схема шахти стає сприйнятливою до інновацій при досягненні граничних (еталонних) значень оптимізаційних параметрів, що характеризує повну реалізацію економічного потенціалу.

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.

Після цього можна перейти до визначення виробництва.

У загальному випадку виробництво розглядається у вигляді деякого числа людей  $M$ , які за допомогою машин  $N$ , впродовж визначеного часу  $T$  задіяні у видобутку вугілля в обсязі  $A$ , з заданною якістю (в нашому випадку це зольність)  $\alpha$  [2], при залучених ресурсах в обсязі  $K$ , коштах на оплату праці робітникам, експлуатацію машин  $S$ . При цьому для відтворення параметрів необхідні сприятливі умови праці, які виражаються співвідношенням загальної працездатності персоналу  $\sum R$  до загальної працездатності машин  $\sum q$ .

У разі, якщо параметр залежить від умов експлуатації, а також від мети задачі і при цьому може бути оптимізованим, то його можна прийняти у якості характеристики ефективності процесу видобутку вугілля (табл. 3). Варто зазначити, що

характеристики можуть бути або постійними або змінними. У разі коли коливання характеристик відбувається у деякому проміжку часу вони є змінними.

Таблиця 3

## Характеристика ефективності процесу видобутку вугілля

Показники	Од. вим.	Форма критерію	Форма обмежень
чисельність робітників	люд.	$M \rightarrow \min$	$0 \leq M \leq M_{max}$
кількість гірничої техніки	од.	$N \rightarrow \min$	$1 \leq N \leq N_{max}$
обсяг матеріальних ресурсів	у.о.	$A \rightarrow \min$	$A_{min} \leq A \leq A_{max}$
час роботи	год.	$T \rightarrow \min$ $T/T_{nl} \rightarrow 1$	$0 \leq T \leq T_{max}$
обсяг видобутого вугілля	Т	$Q_m \rightarrow \min$ $Q_m/Q_{nl} \rightarrow 1$	$Q_{min} \leq Q_m \leq Q_{max}$
зольність рядового вугілля	%	$\alpha \rightarrow \min$ $\alpha_s \rightarrow \min$	$\alpha_{min} \leq M \leq \alpha_{max}$
витрати на 1т	у.о.	$S \rightarrow \min$	$S_{min} \leq S \leq S_{max}$
безпека праці та зручність роботи працівників	–	$\Sigma R_m / \Sigma R_0 \rightarrow 1$	$M_m / M_0 = 1$ $\Sigma R_m / \Sigma R_0 \geq k_{min}$
технічна надійність вибійного обладнання	–	$\Sigma q_m / \Sigma q_0 \rightarrow 1$	$\Sigma q_m / \Sigma q_0 \geq k'_{min}$

Проте, варто зазначити ряд уточнень при постановці задачі:

1. Чисельність робітників, кількість гірничої техніки, обсяг матеріальних ресурсів, час роботи ( $M$ ,  $N$ ,  $A$ ,  $T$ ) – критерії, які повинні бути мінімізовані, але необхідно виконання умови  $Q_m \geq Q_n$ , тобто обсяг видобутого вугілля є більшим за запланований. Для досягнення цього необхідно економити ресурси, які витрачаються на видобуток. На практиці ця ситуація можлива при передачі запасів іншому підприємству або при об'єднанні шахт гірничими роботами.

2. Показники  $\Sigma R$  та  $\Sigma q$  можуть бути застосовані у якості критеріїв, проте не мають сенсу при активній діяльності з видобутку вугілля.

3. Показники  $Q_m$ ,  $\alpha$ ,  $S$  можуть бути застосовані у якості характеристик виробництва, проте вони кардинально різні за своєю сутністю. Показник обсягів видобутку  $Q_m$  може бути максимізованим лише при отриманні необхідних обмежень із ресурсами, зольністю вугілля, показниками виробничого циклу (технологічна надійність, коефіцієнт експлуатації, безпека праці). Саме тому, при плануванні виробництва краще орієнтуватись на показник планового (заданого) обсягу видобутку вугілля  $Q_{nl}$ . Також варто зазначити, що коефіцієнти використання обладнання та технічну надійність обладнання в короткостроковому періоді краще приймати постійними величинами.

Якість вугілля характеризується зольністю, вологістю, кількістю шкідливих компонентів ( $\alpha \rightarrow \min$ ). Якість вугілля визначається топологією гірничих виробок, відповідністю виймальної техніки, умовам залягання пластів. Однак, на практиці у якості показників вугілля може прийматись обсяг товарного вугілля у вигляді концентрату після надходження зі збагачувальної фабрики. Таким чином, не завжди показники якості можуть бути застосовані, адже можуть відпрацьовуватись некондиційні запаси.

Рівень витрат на виробництво визначеного обсягу вугілля  $S$  є похідним від кількості працівників, техніки, обсягів матеріальних ресурсів, часу роботи та обсягу видобутого вугілля

$$S = f(N, M, T, A, Q_m) \quad (4)$$

Якщо задати фіксований обсяг видобутку  $Q = \text{const}$ , то ця величина (4) може бути застосована у якості критерію оптимальності. Однак варто відзначити, що цей показник є малочутливим, тому його варто застосовувати лише для тривалих періодів часу (декада, місяць), а задля вирішення оперативних завдань краще використати похідні витрати, наприклад собівартість  $c$ , тоді  $Q_m \neq \text{const}$

$$c = S/Q_m \quad (5)$$

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 вибір», «система транспорту» та ін., неможливо вирішити задачу підвищення ефективності виробництва.

Аналіз показників ефективності технологічних схем вуглевидобутку і облік фактичної системи показників, що склалася, дозволяють розробити рекомендації щодо використання критеріїв оптимальності в організаційних завданнях оцінки потенціалу технологічної схеми шахти (табл. 4). Для взаємоув'язки критеріїв, діючих на різних тимчасових рівнях, слід використовувати відповідні обмеження.

Запропоновані критерії не завжди дозволяють враховувати деякі положення в стратегічному управлінні, наприклад, таких як зменшення інвестиційних витрат за кожним з обраних інноваційних проєктів і не відповідають на питання про те, яким найефективнішим способом можна наблизити досягнення поставлених цілей розвитку, не враховують найбільш вірогідних ризиків, поява яких пояснюється самим фактом залучення нових технологій в умовах зміни структури залягання пластів у шахтному полі.

Аналіз джерела [24] показав, що найбільш важливими чинниками, що перешкоджають ефективному управлінню інноваційною діяльністю, є: небезпека запізнення виведення на ринок інновацій, відсутність підрядників – виконавців проєкту, проблема знаходження стратегічних партнерів з реалізації проєкту, обмеження інвестиційних коштів.



Таблиця 4

Критерії оптимальності управління інноваціями для організаційних задач

Рівень організації управління інноваціями	Організація інноваційної виробничої системи	Організація інноваційного виробничого процесу
Оперативна організація управління інноваціями	Максимальний обсяг виробництва $Q_m \rightarrow \max$	Максимальне використання устаткування після впровадження інновацій $T/T_{пл} \rightarrow 1$
Поточна організація інноваційних заходів	Мінімальні питомі витрати $c \rightarrow \min$	Виконання планових завдань $Q_m/Q_{пл} \rightarrow 1$ Мінімальні витрати $S \rightarrow \min$ Максимальна продуктивність праці $P \rightarrow \max$
Довгострокова організація інноваційних заходів	Мінімальні витрати $S \rightarrow \min$	Максимальний прибуток $D \rightarrow \max$ Максимальна продуктивність праці $P \rightarrow \max$

Нами запропоновано у якості системи кількісної оцінки технологічної мережі вугільних шахт застосувати показник «внутрішній потенціал технологічних схем» [25]. Запропонований показник має характерну особливість, він дозволяє при виборі рішень аналізувати їх з точки зору інноваційних переваг, а не екстенсивного відтворення. Цей показник ґрунтується на розвитку у просторі топологічної мережі вугільної шахти.

В залежності від потужності підприємства (шахти) змінюються і витрати на вдосконалення технологічних ланок по всьому підприємству. Тоді, для вирішення задачі розподілу коштів між підприємствами з виробництва одного виду продукції, в нашому випадку – з видобутку вугілля, слід застосувати наступну функцію  $\phi_i(X) = 1, n - 1$ . Ця функція визначає максимальний приріст потужності шахт при відповідному розподілі інвестицій у обсязі  $X$  між визначеною кількістю шахт  $i$ . Для кожної шахти слід знайти  $\phi_n(X)$ .

Функція  $\phi_n(X)$  може бути знайдена за допомогою динамічного програмування. Нами було побудовано залежність зміни продуктивності від кількості залучених інвестицій. При цьому обсяг інвестицій змінювався між трьома шахтами. Змінювались не тільки обсяги, але і співвідношення. Результати моделювання представлено на рисунку.

На основі цього нами запропоновано наступний підхід, щодо визначення обсягу інвестицій, які можуть бути виділені для визначеної кількості підприємств:

– для збільшення обсягів видобутку необхідно залучити інвестиції у кількості  $S$ ;

– для максимально ефективного розподілу інвестицій слід визначити скільки  $i$ -м підприємством використовується  $x_i$  інвестицій із вказаних коштів для забезпечення приросту видобутку, що визначається значенням нелінійної функції  $f_i(X_i)$ .

Все це дозволяє застосувати результати моделювання для розподілу коштів, у разі державної підтримки між підприємствами, які займаються виготовленням одного виду продукції. Але, як видно із рис. 1 приріст продуктивності для різних підприємств різний, тому необхідно визначити обсяг інвестицій.

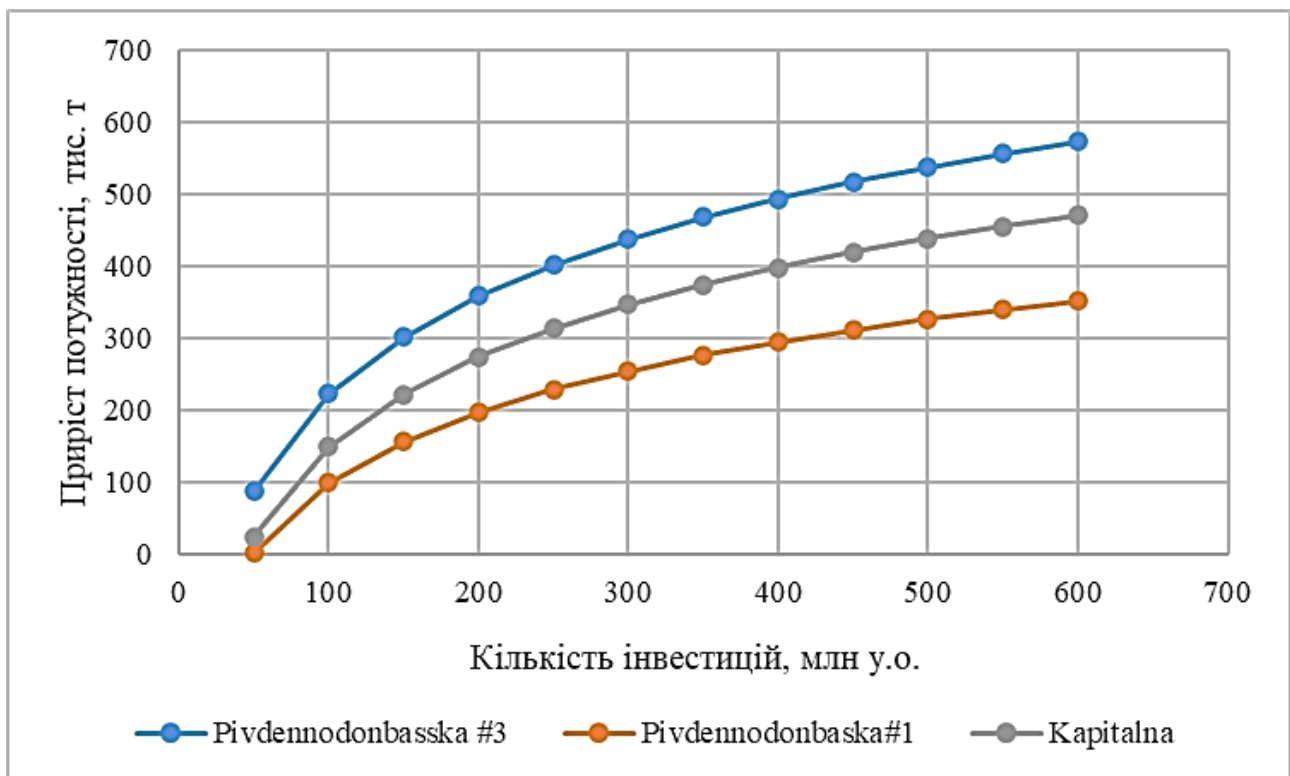


Рис. Залежність зміни потужності шахт від обсягу інвестицій на прикладі трьох шахт ДП «Державна вугільна компанія»

У якості вихідних даних задано: обсяг інвестицій в розмірі 600 млн у.о., три шахти «Капітальна», «Південнодонбаська №1», «Південнодонбаська №3». Необхідно визначити величину капітальних вкладень в гірничі роботи, що залежать від обсягу виробництва шахт. Скористаємось методами динамічного програмування, вирішимо задачу зворотнього порядку. Для цього пошук оптимального рішення починається з визначення оптимального рішення для окремої шахти на останньому році розрахункового періоду. При динамічному програмуванні застосовано принцип «оптимуму Р. Белмана», коли кожен наступний крок є оптимальним, тобто, без визначення оптимального рішення на попередньому кроці неможливо перейти до наступного.

Розрахункова схема наступна: на першому кроці розглядаємо доцільність інвестування коштів у шахту «Південнодонбаська №1», а потім у «Південнодобаська №3» та «Капітальну». Для цього дані попередніх розрахунків визначаються за формулою:

$$\phi_3(X) = \max\{f_3(X_3) + \phi_2(X - X_3)\} \quad (6)$$

У відповідності до результатів моделювання максимальний приріст видобутку для заданих трьох шахт становить 692,2 тис. т при рівномірному розподілі по кожній шахті впродовж шести років реконструкції. Для шахти «Капітальна» розраховано умовно-оптимальний обсяг інвестицій (табл. 5).

Таблиця 5

Умовно-оптимальний обсяг інвестицій, для шахти «Капітальна»

Обсяг інвестицій $X_i$ , (млн у.о.)	Максимальний приріст $\phi_2(X)$ потужності, тис. т	Умовно-оптимальний обсяг інвестицій, для шахти «Капітальна», млн у.о.
100	222.6	0
200	358.5	0
300	457.8	100
400	555.5	200
500	635.0	200
600	692.2	300

Наведені розрахунки свідчать про потенційні можливості шахт «Державної вугільної компанії». Це припущення сформовано на основі високих показників економічної надійності підприємств, а також даних динамічного моделювання.

**Висновки.** Для вирішення проблеми ефективного розподілу коштів між групами підприємств в рамках однієї юридичної особи слід застосувати комплексну оцінку за параметром «економічна надійність», що враховує якість освоєння запасів та рівень концентрації робіт. Встановлено, що найефективніший варіант трансформації шахт вуглепромислового регіону – це компенсації можливого зниження обсягів видобутку, необхідний їх приріст за рахунок додаткового навантаження найефективніших діючих шахт і, як правило, з меншими капітальними витратами.

Нами отримані наступні результати:

– показником ефективності діяльності вугільних шахт є рівень концентрації робіт та розвиток промислово-просторових зв'язків;

– відтворення продуктивності підприємства обумовлюється кількістю залучених інвестицій, проте ефективність використаних коштів визначається економічною надійністю шахти, яка включає в себе ступінь підготовки запасів до вилучення, протяжність гірничих виробок, рівень організації робіт на підприємстві, ступінь механізації робіт.

**Перелік посилань**

1. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O. & Demchenko, Yu. (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>
2. Khorolskyi, A., Mamaikin, O., Medianyuk, V., Lapko, V., & Sushkova, V. (2021). Development and implementation of technical and economic model of the potential of operation schedules of coal mines. *ARN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 16(18), 1890-1899.
3. Грінюв, В. Г., & Хорольський, А. О. (2019). Оптимальне проектування параметрів гірничозбагачувальних підприємств для раціонального освоєння цінних родовищ України. *Фізико-технічні проблеми горного виробництва*, (21), 128-145. <https://doi.org/10.37101/ftpgp21.01.008>
4. Klippel, A.F., Petter, C. O., & Antunes Jr, J. A. V. (2008). Management Innovation, a way for mining companies to survive in a globalized world. *Utilities Policy*, 16(4), 332-333.
5. Bryant, P. (2015). The case for innovation in the mining industry. Clareo. Chicago, EUA, 14.
6. Gruenhagen, J.H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources Policy*, 65, 101540.
7. Aznar-Sánchez, J.A., Velasco-Muñoz, J.F., Belmonte-Ureña, L.J., & Manzano-Agugliaro, F. (2019). Innovation and technology for sustainable mining activity: A worldwide research assessment. *Journal of Cleaner Production*, 221, 38-54.
8. Endl, A., Tost, M., Hitch, M., Moser, P., & Feiel, S. (2019). Europe's mining innovation trends and their contribution to the sustainable development goals: Blind spots and strong points. *Resources Policy*, 101440.
9. Gruenhagen, J. H., & Parker, R. (2020). Factors driving or impeding the diffusion and adoption of innovation in mining: A systematic review of the literature. *Resources policy*, 65, 101540. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101540>
10. Milanez, B., & de Oliveira, J.A.P. (2013). Innovation for sustainable development in artisanal mining: Advances in a cluster of opal mining in Brazil. *Resources Policy*, 38(4), 427-434.
11. Zhang, L., Wang, J., & Feng, Y. (2018). Life cycle assessment of opencast coal mine production: a case study in Yimin mining area in China. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(9), 8475-8486.
12. Betrie, G.D., Sadiq, R., Morin, K.A., & Tesfamariam, S. (2013). Selection of remedial alternatives for mine sites: A multicriteria decision analysis approach. *Journal of environmental management*, 119, 36-46.
13. Bakhtavar, E., Shahriar, K., & Mirhassani, A. (2012). Optimization of the transition from open pit to underground operation in combined mining using (0-1) integer programming. *Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy*. 112(12), 1059-1064.
14. Sabour, S.A., & Dimitrakopoulos, R. (2011). Incorporating geological and market uncertainties and operational flexibility into open pit mine design. *Journal of Mining Science*, 47(2), 191-201.
15. Hrinov, V.G., & Khorolskyi, A.A. (2018). Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. *E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering*, 60, 1-10.
16. Krzak, M. (2013). The Evaluation Of An Ore Deposit Development Prospect Through Application Of «The Games Against Nature» Approach. *Asia-Pacific Journal of Operational Research*, 30(6), 1350029.
17. Iphar, M. E. L. İ. H., & Goktan, R. M. (2006). An application of fuzzy sets to the diggability index rating method for surface mine equipment selection. *International journal of rock mechanics and mining sciences*, 43(2), 253-266.

18. Gonen, A., Malli, T., & Kose, H. (2012). Selection of ore transport system for a metalliferous underground mine. *Archives of Mining Sciences*, 57(3), 779-785.
19. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. In *E3S Web of Conferences (Vol. 201, p. 01030)*. EDP Sciences.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030>
20. Bazaluk O, Ashcheulova O, Mamaikin O, Khorolskyi A, Lozynskyi V and Saik P (2022) Innovative Activities in the Sphere of Mining Process Management. *Front. Environ. Sci.* 10:878977  
<https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.878977>
21. 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)
22. Adamchuk, A., Shustov, O., Panchenko, V., & Slyvenko, M. (2019). Substantiation of the method of determination the open-cast mine final contours taking into account the transport parameters. *Collection of Research Papers of the National Mining University*, 59, 21–32.  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/59.021>
23. Pavlychenko, A., Adamchuk, A., Shustov, O., & Anisimov, O. (2020). Justification of dump parameters in conditions of high water saturation of soils. *Technology Audit and Production Reserves*, 6(3(56)), 22–26.  
<https://doi.org/10.15587/2706-5448.2020.218139>
24. Хорольський А.О., Почепов В.М., Лапко В.В., Салі В.С., Мамайкін О.Р. (2021). Розробка моделі оптимізації параметрів вугільних шахт в умовах диверсифікації. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (64), 99-111.  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/64.099>
25. Хорольський А.О., Френцель Е.В., Мамайкін О.Р. (2021). Розробка моделі відтворення внутрішніх резервів вугільних шахт. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (65), 77-87.  
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/65.077>

### ABSTRACT

**Purpose** is to propose a new methodological approach to complex assessment of coal-mining enterprises basing on the evaluation of technological schemes from the viewpoint of their susceptibility to innovations.

**Methodology.** To solve the specified problems, a complex method has been used. The method involves geometrical interpretation of a task of determining boundary parameters of technological schemes, application of criteria-based estimations for determining a level of production efficiency, and use of complex index of economic reliability.

**Findings.** For the first time, optimality criteria for innovation management in coal industry have been proposed; they take into consideration a level of organization of innovations, organization of innovative production system, and organization of innovative production process. A complex index “internal potential of technological networks” has been developed, being one of the essential parameters for evaluating coal mine conditions. It has been identified that its formation is the result of the influence of certain factors determining the underground mining efficiency and, first of all, the coal mine property – spatial development. According to the represented concept, a policy of optimal control for maintaining the operating mine capacities is based on the evaluation of remained reserves, substantiated planning of a stoping line, and correspondence of extraction equipment to the operating conditions. It is possible to increase the concentration of production by redistributing the remained reserves and integration of mines by mining operations; that makes it possible to concentrate resources within

those parts of a mine field where the effect will show its maximum. Modelling of such problems is based on a system of constraints without any requirements for providing the planned mine loading, obligatory in the past.

**Originality.** Analysis of the indices of efficiency of coal-mining technological schemes and accounting of the developed factual system of indices have helped elaborate recommendations concerning the use of optimality criteria in the organizational tasks of assessment of the potential of technological scheme of mines. Consequently, the carried out research has resulted in a new system as for innovation management in a mining complex.

**Practical implications.** The proposed approaches can be used for complex assessment of coal mines that will help determine a level of state support as well as predict a level of development and concentration of mining operations in space. All that will allow effective managing for the main production resources to increase the potential of technological mining schemes and reduce a level of unprofitability of state coal mines.

**Keywords:** *innovations, minimal costs, production volume, investment, economic reliability, efficiency, space.*