

А.О. Хорольський, к.т.н.**В.Г. Грінюв, д.т.н., проф.***Інститут фізики гірничих процесів НАН України***О.Р. Мамайкін, к.т.н.***НТУ «Дніпровська політехніка»*

Інноваційні перспективи підземної експлуатації вугільних родовищ

Запропоновано новий підхід щодо оцінки інноваційних перспектив експлуатації вугільних родовищ. Для вирішення завдання застосовано комплексний підхід, який базується на впровадженні неокласичної виробничої функції у вигляді моделі Солоу щодо аналізу стану у вугледобувній галузі, а також критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності для розробки рекомендацій щодо підвищення техніко-економічних показників. Встановлено, що ефективність функціонування підприємства можна оцінити співвідношенням потоків вхідних (капітал) та вихідних (рівень виробництва) ресурсів, при цьому суттєве значення має інноваційна складова. Аналіз співвідношень між потоками ресурсів дозволяють обрати оптимальні сценарії розвитку виробництва та сформулювати принципи щодо проектування виробництва на певному етапі розвитку. Наукова новизна роботи полягає у встановленні закономірностей формування рівня ефективності підприємства з видобутку вугілля та розробці підходів щодо проектування виробництва з урахуванням області раціональної експлуатації. Виявлено, що кінцевий об'єм виробництва залежить не тільки від засобів механізації, гірничо-геологічних умов, витрат на придбання та обслуговування засобів механізації, але і від вірогідності виникнення того чи іншого сценарію виробництва, тому для опису гірничого виробництва обґрунтовано доцільність застосування стохастичних моделей. Оцінка поточного стану виробництва та прогнозування сценаріїв розвитку дозволяють сформулювати «поведінкову модель» оперативного управління підприємством. Розроблено систему підтримки прийняття рішень, яка дозволяє оптимізувати параметри експлуатації, вибрати структуру технологічного циклу з заданим рівнем продуктивності, знизити собівартість видобутку. Особливу увагу приділено розробці програмного забезпечення для впровадження описаних підходів у виробництво.

Ключові слова: стохастична модель; сценарій виробництва; критерій прийняття рішень; раціональний рівень виробництва; оптимізація; прийняття рішень; програмне забезпечення.

Актуальність теми. Сталый розвиток країни неможливий без розвитку виробництва, в той самий час на рівень виробництва впливає не тільки наявність сировинної бази, капіталовкладення, але й більшою мірою інновації. У широкому значенні під інноваціями розуміють кінцевий продукт інноваційної діяльності у вигляді нового продукту або удосконаленого технологічного процесу, а під інноваційною діяльністю – процес впровадження нових підходів, засобів, зміну організації виробництва або матеріально-технічного забезпечення. Варто зазначити, що вугільна галузь України перебуває в кризовому стані, і в першу чергу, це пов'язано із відсутністю підходів до оцінки існуючого стану, а також обґрунтування раціональної області експлуатації. Відомо, що стан фондів виробництва незадовільний, відбувається скорочення темпів вводу нових очисних вибоїв, при цьому зростає собівартість видобутку. Зрозуміло, що для стабілізації стану галузі необхідно впровадити нові засоби механізації, що буде сприяти підвищенню техніко-економічних показників, проте за умови обмеженого фінансування виділення коштів на технічне переоснащення двох-трьох очисних вибоїв сучасними аналогами лише погіршить ситуацію. Тому, для стабілізації стану галузі необхідно відповісти на декілька питань: «Чи є потреба в інноваціях, і якщо є, то з чого почати?», «В чому полягає сутність інновацій в галузі, і як вони будуть розподілені у часі?», «Як сформулювати раціональний рівень виробництва в поточних умовах?» – саме вирішенню цих питань присвячено дослідження. Ідея полягає в наступному – життєвий цикл виробництва можна зобразити у вигляді впорядкованої структури (графу), при цьому відомо, що кінцевий видобуток залежить не тільки від технологій, але і від умов експлуатації, попиту та пропозиції на корисні копалини – дане співвідношення це не що інше, як сценарій виробництва. Тоді стає зрозумілим, що в разі відсутності попиту на корисні копалини або за несприятливих гірничо-геологічних умов максимізація рівня виробництва та виділення додаткових коштів на придбання більш дорогих аналогів техніки буде лише погіршувати загальну ситуацію на підприємстві. У той самий час якщо гірничо-геологічні умови сприятливі та існує стійкий попит на корисні копалини відтермінування інновацій призведе до втрати «очікуваного прибутку», що зіграє негативну роль у подальшому. Отже, керівнику необхідно оперативно на кожному етапі життєдіяльності підприємства приймати рішення

щодо організації виробництва – застосування критеріїв в прийнятті рішень в умовах невизначеності дозволяє отримати однозначне рішення щодо раціонального рівня виробництва та стратегії технічного переоснащення. Таким чином, встановлення закономірностей формування рівня ефективності підприємства з видобутку вугілля та розробка наукових підходів щодо проектування виробництва з урахуванням області раціональної експлуатації є актуальним науково-практичним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій, на які спираються автори. Для вирішення наведених у роботі завдань необхідно не тільки оцінити інноваційні перспективи, але і запропонувати систему підтримки прийняття рішень. Інноваційним аспектам економіки України та зокрема паливно-енергетичного комплексу присвячені роботи О.І. Амоші [1], В.Г. Гріньова [2], Д.Ю. Череватського [3], П.В. Череповського [4]. При цьому [2, 4] було розроблено практичні рекомендації щодо обґрунтування раціонального рівня виробництва для збиткових шахт Центрального району Донбасу, а також визначено ступінь інтенсивності використання фіксованих потужностей. Окрім цього, наведені підходи дозволяють не тільки розробляти рекомендації, але і робити довгострокові прогнози. Тому для стабілізації стану галузі необхідно провести аналіз балансу між трудовими ресурсами, залученим капіталом та кінцевим рівнем видобутку – застосування існуючих загальноприйнятих у світовій економіці критеріїв дозволяють вирішувати проблеми ефективного освоєння родовищ корисних копалин. Логіка цих припущень пояснюється наявністю області раціонального проектування [5], тобто незалежно від гірничо-геологічних умов родовища та існуючих техніко-економічних показників існує завжди набір параметрів, які дозволяють вийти на беззбитковий рівень, тобто обрати раціональний формат життєдіяльності. При цьому інновації залежно від існуючого стану виробництва мають зовсім різний ефект. Наприклад, при 50–60 % механізації робіт в очисному вибої навіть запровадження видобувної техніки другого-третього технічного рівня (80–90 рр. ХХ ст.) буде сприяти істотному підвищенню добового видобутку, в той же час, якщо підприємство відпрацьовує вугільні пласти потужністю понад 2,0 м за сприятливих гірничо-геологічних умов застосування цих аналогів техніки буде стримувати розвиток. Тому необхідно на кожному етапі робити оцінку запроваджених інновацій. Інша сторона питання полягає у виборі засобів прийняття рішень. Сьогодні існує декілька груп підходів, які базуються на застосуванні критеріїв [6–8], аналізі ієрархій [9–11], методах лінійного [12–13], квадратичного [14], динамічного програмування. У роботі [17] проаналізовано існуючі у світовій практиці підходи щодо проектування гірничого виробництва. Незважаючи на усі переваги [6–16] існуючих підходів, є декілька питань, які недостатньо вивчені:

- по-перше, запропонований підхід має давати однозначне рішення в заданих умовах;
- по-друге, необхідно, щоб запропонована система підтримки прийняття рішень була «чутливою» до зміни сценаріїв виробництва;
- по-третє, необхідно передбачити можливість інтерпретації результатів.

Усім цим вимогам відповідають критерії прийняття рішень в умовах невизначеності [18–20]. Ідея полягає у тому, що: процес гірничого виробництва має стохастичний характер, тобто існує невизначеність станів природи. Під «станом природи» розуміють сукупність факторів, які визначають вірогідність виникнення того чи іншого сценарію виробництва. При цьому для забезпечення вказаного рівня виробництва необхідно оцінити можливість виникнення цього стану та обрати стратегію виробництва для вказаних умов.

Метою статті є дослідження інноваційних перспектив підземного освоєння вугільних родовищ та розробка підходів щодо визначення раціонального рівня виробництва.

Викладення основного матеріалу. Інноваційні аспекти виробництва можна описати моделлю Солоу [21]. По відношенню до гірничого виробництва ця модель має ряд переваг:

- по-перше, базується на застосуванні одного виду товару Y , адже в умовах України шахти розглядаються, як підприємства з видобутку вугілля, а не як складова у системі генерації енергії, металу та ін.;
- по-друге, враховує співвідношення між капіталом, працею та рівнем кваліфікації працівників, тобто вписується в основні техніко-економічні показники, які визначають ефективність підприємства;
- по-третє, впровадження нових інновацій A тісно пов'язане з об'ємом трудових ресурсів L , а це визначальний чинник у процесі проектування виробництва.

У загальному вигляді модель Солоу розглядає неокласичну виробничу функцію виду:

$$Y = f(K, L, A), \quad (1)$$

де K – рівень залученого капіталу;

L – об'єм трудових ресурсів;

A – ефективність праці одного працівника, яка залежить від рівня кваліфікації та знань.

При цьому змінна A відображає технічний прогрес та інновації у виробництві та пов'язана з об'ємом трудових ресурсів. Враховуючи постійну віддачу від вкладень, виробничу функцію можна записати в питомих змінних, які відображають ефективність на одиницю праці:

$$\frac{Y}{LA} = f\left(\frac{K}{KA}\right) \Rightarrow y = f(k), \quad (2)$$

де: y – продуктивність, k – капіталовкладення з постійною ефективністю.

Наведена модель демонструє зміну граничного продукту, тобто додатковий обсяг продукції від застосування додаткової одиниці ресурсу. Інакше кажучи, запропонована функція показує ефективність запровадження інновацій.

Наведена модель (рис. 1) може описати можливі сценарії розвитку паливно-енергетичного комплексу України, необхідні інвестиції та подальші напрямки розвитку подій.



Рис. 1. Модель інноваційного розвитку гірничого виробництва

Зробимо таке припущення, що для покращення техніко-економічних показників необхідно збільшувати видобуток вугілля хоча б до рівня беззбитковості (1000 т/доб. для одного очисного вибою). Для цього необхідно очисні вибої обладнати механізованими комплексами. Звісно, що технічний рівень обладнання різний, проте впровадження механізації на початковому етапі дасть істотний приріст продуктивності. Тобто, величина добового видобутку залежить від засобів механізації, гірничо-геологічних умов, технологічних операцій в очисному вибої та рівня витрат на придбання та обслуговування обладнання. Для підвищення ефективності виробництва необхідно збалансувати потоки вхідних та вихідних ресурсів залежно від сценарію виробництва. Розглянемо кожний із сценаріїв окремо:

- «Сценарій I» – перехід від кризи до стабільності, описує існуючий стан вугільної галузі України, коли темпи впровадження засобів механізації низькі, при цьому вони випереджають темпи скорочення чисельності працівників підприємств. По відношенню до моделі Солоу можна це сформулювати так: капіталу мало, а трудових ресурсів багато. Така ситуація лише погіршує стан. При цьому для вугільних шахт ситуація ускладнена тим, що виробничий цикл підпорядковується дільничній системі організації праці, тому скорочення групи працівників, які задіяні у видобутку вугілля або проведенні підготовчих вибоїв, призведе не до економії, а до неконтрольованого згорання усього виробничого циклу. Для стабілізації необхідно впроваджувати засоби механізації, при цьому перевагу варто віддавати вітчизняним аналогам. Тому будь-які інновації із покращення технологічного процесу сприятимуть відновленню потенціалу підприємств. Тобто відбуватиметься перехід від кризового стану до стабільного II.

- «Сценарій II» – стабільний, описує рівень виробництва, коли темпи вибуття фондів стримують ефективність процесу, тому для покращення техніко-економічних показників необхідно або запровадити кардинально нові технології, здійснити прорив або істотно підвищити продуктивність праці. У такому випадку впровадження засобів механізації без обґрунтування раціональної області експлуатації та оптимізації параметрів експлуатації не призведе до покращення ситуації. Цьому сценарію відповідає спроба технічного переоснащення вугільних шахт України у 2005–2009 рр., коли відсутність підходів до разі обладнання в залежності від умов експлуатації не дозволили підвищити величину середньодобового видобутку. Більш того, відсутність раціонального рішення в короткотерміновому проміжку часу формує кумулятивний ефект на послідовні п'ять–десять років. Тому інновації полягають у запровадженні техніки зі значно більшими показниками продуктивності або удосконаленні технологічного процесу, який пов'язаний з оптимізацією параметрів експлуатації. При цьому варто

оцінювати не тільки показники продуктивності, але й рівень питомої собівартості видобутку. Успішне впровадження інновацій дозволяє забезпечити стабільність та підтримання виробничих потужностей.

- «Сценарій III» – перехід від стабільності до кризи, описує рівень виробництва, коли інновації не сприяють покращенню ефективності виробництва, у підприємства накопичилося багато фондів, які не дозволяють підвищити продуктивність. Така ситуація може виникнути в Україні, коли показники середнього добового видобутку в очисних вибоях зростуть до 3200 т/доб. (станом на 2012 р. – 847 т/доб., зараз нижчі) і виникне потреба у закордонних аналогах техніки, в разі, якщо вони не забезпечать продуктивність на рівні понад 8000 т/доб. [22] відбудеться перехід від стабільності до кризи. Тому для гірничо-геологічних умов Донбасу інновації будуть полягати або у запровадженні нових технологій, які значно підвищать продуктивність, або в подальшій оптимізації технологічного процесу.

Для виходу із кризового стану необхідно постійно запроваджувати кардинально нові засоби механізації, для підтримання стабільності необхідно оптимізувати технологічні схеми та параметри експлуатації, відсутність оптимізації спричиняє кризу. Варто зазначити, що при запровадженні нових технологій на перше місце виходить рівень очікуваного прибутку, тобто слід перевагу віддати більш перспективній технології, навіть якщо існують ризики. У разі, якщо завдання полягає у стабілізації стану, то перевагу варто віддати технології, яка в разі невдачі мінімізує збитки. Незалежно від сценарію виробництва необхідно вирішити задачу вибору раціонального об'єму виробництва, для цього варто скористатися критеріями прийняття рішень в умовах невизначеності.

Отже вибір раціонального об'єму виробництва для заданої технологічної схеми являє собою «гру з природою», коли невідома вірогідність вдалого та невдалого сценарію. З одного боку існують варіанти для вибору, а з другого боку невизначеність. Зменшення невизначеності дозволяє мінімізувати ризики. Нам необхідно обрати такий рівень виробництва, при якому в разі невдалого сценарію мінімізуються збитки, а в разі вдалого розвитку подій – максимізується прибуток.

Введемо такі терміни.

Альтернативою X – будемо називати технологічну схему, яка включає обладнання або варіанти технологій.

Станом природи M – будемо називати сукупність подій, при яких буде досягнуто відповідний результат. Тобто сукупність вдалих, невдалих та проміжних вірогідностей досягнення результату визначають стан природи. У нашому дослідженні розглядаються варіанти повністю несприятливих умов, коли вірогідність програшу максимальна; повністю сприятливих – коли вірогідність виграшу максимальна; проміжні результати – коли вірогідність виграшу ζ від 0.1 до 0.9.

Виграш – величина прибутку R або збитку S , який отримуємо при застосуванні альтернативи X в момент стану природи M .

Песиміст – особа, що приймає рішення (ОПР), яка виходить із того, що вірогідність виграшу ζ менша ніж 0.5, тому оптимальною буде альтернатива, яка дозволить мінімізувати збитки.

Оптиміст – ОПР, яка виходить із того, що вірогідність виграшу ζ більша за 0.5, тому оптимальною буде альтернатива, яка дозволить максимізувати прибуток.

У нашому дослідженні розглядаються критерії Вальда, «максімакса», Лапласа, Севіджа, Гурвіца, узагальнений критерій Гурвіца.

Кожен із критеріїв має свою область застосування і базується на відношенні ОПР до ризиків. Якщо мова йде про інноваційне рішення, коли аналізується доцільність впровадження нової технології, то оптимістичний підхід буде більш доцільним адже недоотримання прибутку може негативно вплинути на весь процес у подальшому. Якщо завдання полягає у підтриманні вже існуючих виробничих потужностей, то більш доцільний песимістичний підхід.

Пошук оптимальної технологічної схеми X^* в умовах невизначеності проводиться на основі критеріїв порівняння альтернатив $X_1^*, X_2^*, \dots, X_i^*$, де $i = 1, 2, \dots, N$ – порядковий номер схеми, в умовах невизначеності. Застосування кожного із критеріїв дозволяє сформулювати гіпотезу о «виграші» альтернативи при відомому стані природи M . Тобто, існують альтернативи, які забезпечують видобуток Q_1, Q_2, \dots, Q_i при цьому вартість на придбання та обслуговування, відповідно R_1, R_2, \dots, R_i , а величина виграшу $X_{11}, X_{21}, \dots, X_{ij}$ при різних станах природи $M = 1, 2, \dots, j$.

Тоді зрозуміло, що оптимальною буде альтернатива X_{ij}^* у якої при заданому стані природи M виграш буде максимальним X_{ij} . Кожен із критеріїв дозволяє оцінити різні формати життєдіяльності підприємства. Вірогідності виграшу X_{ij} для різних сценаріїв виробництва $M = 1, 2, \dots, j$ можна зобразити матрицею «гри»

$$\begin{array}{cccc}
 X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1j} \\
 X_{12} & X_{22} & \dots & X_{2j} \\
 \dots & \dots & \dots & \dots \\
 X_{i1} & X_{i2} & \dots & X_{ij}
 \end{array} \quad (3)$$

В умовах, коли виробництво ще не почалося, величина «виграшу» тотожна з витратами на виробництво, тобто $X_{11} = R_{11}; X_{12} = R_{12}; \dots; X_{ij} = R_{ij}$.

Тоді вибір раціонального сценарію виробництва полягає у виборі альтернативи для кожного стану природи. При цьому стан системи може характеризуватися різними сценаріями розвитку: α – об'єктивна вірогідність отримати негативні результати, β – проміжні результати, γ – вірогідність повного успіху. Сукупність усіх вірогідностей $\zeta = \alpha + \beta + \gamma = 1$, або

$$\zeta = \alpha \frac{\sum P}{m} + \beta \frac{\sum I}{n} + \gamma \frac{\sum S}{p}, \quad (4)$$

де:

$\sum P$ – сукупність негативних результатів;

$\sum I$ – сукупність проміжних результатів;

$\sum S$ – сукупність успішних результатів;

m, n, p – кількість негативних, проміжних, успішних результатів відповідно.

Попарне порівняння альтернатив за парними оцінками ($\alpha; \gamma$) дозволяє отримати найбільш прийнятну стратегію на кожному етапі (рис. 2).

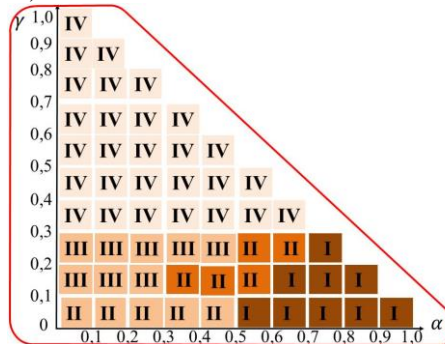


Рис. 2. Розподіл найбільш вдалих рішень

Із рисунку 2 можна зробити припущення, що коли вірогідність досягнення успіху порівняно велика $\gamma \geq 0,3$, а вірогідність негативних результатів не перевищує $\alpha \leq 0,7$, то можна обрати альтернативу з потенціалом до збільшення видобутку $Q \rightarrow \max$ – умовно це IV група, а у випадку, коли висока вірогідність негативних результатів $\alpha \rightarrow 0$, то варто обрати альтернативу з показниками продуктивності $Q \equiv Q_E$ тотожними рівню ефективності Q_E – умовно це I група. Існують також проміжні групи II та III.

Застосування приведених у дослідженні критеріїв дозволяє розрахувати величину «виграшу» X_{ij} .

Для прийняття рішень застосовані відомі критерії прийняття рішень в умовах невизначеності: Вальда, мінімакса, Лапласа, Севіджа, Гурвіца та узагальнений Гурвіца. У дослідженні [23] наведено методику розрахунку критеріїв та область застосування у гірництві.

Незалежно від того, який із критеріїв варто застосувати проблема полягає у складності розрахунків та інтерпретації результатів, тому в Інституті фізики гірничих процесів НАН України було розроблено відповідне програмне забезпечення – програма Kritery.v2_2019 (рис. 3).

Дані до розрахунку:

Кількість альтернатив, R: 4 оптиміст
 Кількість сценаріїв, N: 6 песиміст

Вдалі: Проміжні: Неудалі:

Критерії прийняття рішень:

Лапласа Вальда (накомін) максимум
 Севіджа Гурвіца Узагальнений Гурвіца

Побудувати матрицю >> Очистити

Вихідна матриця:

#Альтернативи	1	2	3	4	5	6
Альтернатива 1	-121	62	245	245	245	245
Альтернатива 2	-168.75	14.25	197.25	380.25	380.25	380.25
Альтернатива 3	-216.5	-33.5	149.5	332.5	515.5	515.5
Альтернатива 4	-264.25	-81.25	101.75	284.75	467.75	650.75

Результати розрахунків:

#Альтернативи	Лаплас	Вальд	максимум	Севідж	Гурвіц	Гурвіц (У)
Альтернатива 1	153.3	-121	245	-405.75	62	309.05
Альтернатива 2	197.4	-168.75	380.25	-270.5	105.75	449.79
Альтернатива 3	210.4	-216.5	515.5	-135.25	149.5	541.12
Альтернатива 4	193.5	-264.25	650.75	-143.25	193.25	566.57

Розрахунок виграшу за критерій Севіджа:

	1	2	3	4	5	6
Smax	-121	62	245	380.25	515.5	650.75
Альтернатива 1	0	0	0	-135.25	-270.5	-405.75
Альтернатива 2	-47.75	-47.75	-47.75	0	-135.25	-270.5
Альтернатива 3	-95.5	-95.5	-95.5	-47.75	0	-135.25

Рис. 3. Робоче вікно програми Kritery.v2_2019

Як видно із рисунку 3 оптимальною буде альтернатива 3, отже застосування програмного забезпечення дозволяє отримати однозначну відповідь.

Програма дозволяє проаналізувати до 100 альтернатив і 100 сценаріїв одночасно та сформувати звіт за результатами аналізу. Окрім цього, користувач отримує вже інтерпретований результат. Застосування наведеного підходу разом із розробленим програмним забезпеченням дозволяє здійснювати оперативне управління виробництвом.

Отже, для визначення раціонального об'єму виробництва запропоновано та обґрунтовано область застосування критеріїв прийняття рішень в умовах невизначеності. Це дозволить мінімізувати збитки та максимізувати очікуваний прибуток. Наприклад, критерій Вальда варто застосовувати при оцінці ситуації з найгіршим сценарієм, допустимо, що необхідно оцінити величину збитків при не введени обладнання в експлуатацію, тобто обладнання придбали, а роботу не змогли забезпечити. В той самий час, критерій «максимум» дозволяє оцінити величину виграшу при найкращому розвитку подій, наприклад гірничо-геологічні умови сприятливі, відсутні обмежуючі продуктивність обладнання фактори, існує потреба у видобутку вугілля. Застосування відповідного програмного забезпечення дозволяє впровадити описані підходи у гірництво.

Як зазначалося раніше, необхідно також оптимізувати технологічні процеси. Незалежно від того, який із підходів застосовується, є універсальна послідовність кроків [24, 25]:

- спочатку необхідно представити технологічну схему, яка включає зв'язки у виробничому циклі у вигляді мережевої моделі; за вершини приймаються типи обладнання, види технології та ін., тобто можливі альтернативи, а за відстань (ребра) між вершинами прийняти значення оптимізаційного параметра;
- для знаходження оптимального рішення необхідно знайти найкоротший маршрут у зазначеній мережевій моделі (рис. 4).

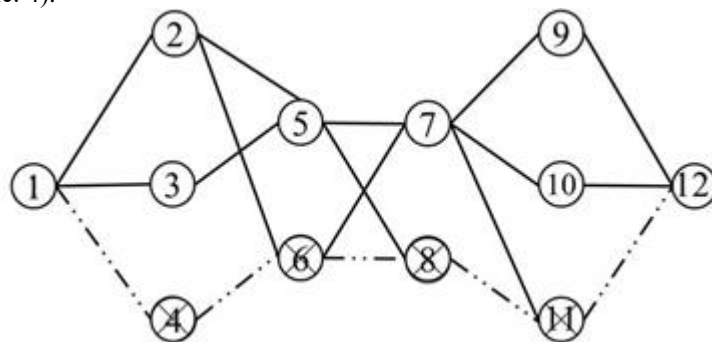


Рис. 4. Оптимізація технологічних процесів гірничого виробництва

Розглянуті в цій роботі ситуації та їх вирішення є інтерпретаціями вже відомих задач динамічного програмування [26–27], проте з розвитком інформаційних технологій вдається отримати нові алгоритми

наближених і точних методів обчислень [28], а також істотно збільшити розмірність задач. Наведена в роботі методологія є універсальною та може бути застосована не тільки при вирішенні завдання стабілізації стану промисловості у регіоні, але і при організації транспортних перевезень між підприємствами, для зниження вартості на ремонт та обслуговування обладнання та оцінки екологічної шкоди від виробництва [29–30]. Однак, при застосуванні ручного перебору або методів лінійного програмування процес пошуку ускладнений великою розмірністю задач відповідно зростають часові витрати, також важко інтерпретувати результат із матричного представлення у зрозумілий для проектувальника вигляд [31–32]. Саме тому в Інституті фізики гірничих процесів було розроблено відповідне програмне забезпечення, яке дозволяє автоматизувати процес пошуку оптимальних зв'язків, підвищити розмірність задач, інтерпретувати результати, створювати звіти [33]. Окрім цього, [34–35] доведено доцільність застосування вітчизняного обладнання, що враховано у наведеному програмному забезпеченні. Характерною особливістю описаних в роботі інструментів є можливість застосування їх в сукупності з MCDA методами на будь-якій стадії дослідження, а також як доповнення до існуючих підходів [36–40].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Сьогодні існує потреба в інноваціях у вугільній промисловості. Зважаючи на кризовий стан галузі будь-які якісні інновації сприятимуть істотному росту продуктивності. Варто зазначити, що практика скорочення фронту очисних робіт та ліквідація цілих виймальних дільниць призводить не до економії ресурсів, а до неконтрольованого згорання виробничих потужностей та істотного підвищення собівартості. Перший крок, який варто зробити – це оздоровлення галузі, тобто ліквідація глибоко збиткових підприємств та стимулювання перспективних шахт. Подальші заходи варто спрямувати на механізацію очисних робіт. На першому етапі запровадження вітчизняних аналогів гірничо-шахтного обладнання дозволить вийти на мінімальний беззбитковий рівень виробництва. Для збереження стабільності варто постійно здійснювати оперативне керівництво виробництвом, сутність якого полягає у мінімізації ризиків та збитків. Для цього необхідно оптимізувати параметри експлуатації технологічних схем. Встановлено, що модель розвитку виробництва має циклічний характер та описується трьома станами, при цьому для виходу із кризи слід запровадити нові технології, тобто інновації мають випереджати кількість залучених ресурсів, для підтримання стабільного стану необхідно підвищувати продуктивність праці, відсутність наведених заходів веде до кризи. Якісний стрибок у галузі можливий лише при впровадженні революційних змін, тому при аналізі нових технологій перевагу слід віддавати варіантам з більшим очікуваним прибутком, в той же час, при виході із кризи перевагу варто віддавати альтернативам з меншими збитками. Для однозначної відповіді про доцільність застосування тієї чи іншої технології, а також для обґрунтування раціонального рівня виробництва можуть бути застосовані критерії прийняття рішень в умовах невизначеності. Розроблене програмне забезпечення дозволяє запровадити наведені підходи у виробництво.

Зважаючи на часову зміну загального рівня ефективності виробництва подальші дослідження варто спрямувати на розробку динамічних моделей, які дозволять обґрунтувати оптимальні технологічні зв'язки не тільки в межах одного підприємства, але і в системі «вугілля–кокс–метал», «вугілля–електроенергія».

Список використаної літератури:

1. Амоша А.И. Инновационное развитие промышленных предприятий в регионах: проблемы и перспективы / А.И. Амоша, Л.Н. Соломатина // Экономика Украины. – 2017. – № 3. – С. 20–34.
2. Вовченко А.Р. Проблемы реформирования угольной промышленности Украины / А.Р. Вовченко, В.Г. Гринев // Экономика Украины. – 2008. – № 5. – С. 19–23.
3. Череватский Д.Ю. Об экстеральной экономике угледобывающих гетерархий / Д.Ю. Череватский // Экономика промышленности. – 2018. – № 4. – С. 72–86.
4. Гринев В.Г. Инновационные перспективы эксплуатации угольных пластов крутого падения / В.Г. Гринев, П.В. Череповский, А.И. Деуленко. – Д. : Пороги, 2015. – 180 с.
5. Гринев В.Г. Оценка перспектив повышения эффективности получения конечной продукции из угля / В.Г. Гринев // Фізико-технічні проблеми гірничого виробництва. – 2008. – № 11. – С. 126–135.
6. Calibration of Mine Ventilation Network Models Using the Non-Linear Optimization Algorithm. Energy / X.Guang, H.Jinxin, N.Baisheng, D.Chalmers, Y.Zhuoming. – 2017. – № 31. – P. 11–19.
7. Logistic evaluation of an underground mine using simulation / M.Fioroni, C.Leticia, L.Franzese, J.Seixas, B.Penna and other // Rem: Revista Escola de Minas. – 2014. – № 67. – P. 447–454.
8. Amankwah H. Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining / H.Amankwah. – Linköping : Linköping University, 2011.
9. Decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP) / R.Mikaeil, M.Naghadehi, M.Ataei, R.A. Khalokakaie. – 2009. – № 54 (2). – P. 349–368.
10. Dehghani H. New model for mining method selection based on grey and TODIM / H.Dehghani, A.Siami, P.A. Haghi // Journal of Mining and Environment. – 2017. – № 8. – P. 49–60.
11. Opricovic S. Extended VIKOR method in comparison with outranking methods / S.Opricovic, G.H. Tzeng // European Journal of Operational Research. – 2007. – № 178. – P. 514–529.

12. *Schniederjans M.J.* Information technology investment: Decision-making methodology / *M.J. Schniederjans, J.L. Hamaker, A.M. Schniederjans.* – Singapore : World Scientific Pub Co Inc., 2010.
13. Multiattributive prediction of terrain stability above underground mining operations / *S.Vujić, I.Miljanović, A.Milutinović, D.Đorđević, N.Gojković* // *Yugoslav Journal of Operations Research.* – 2011. – № 21. – P. 275–291.
14. *Morin M.A.* Underground mine design and planning: complexities and interdependencies. *Mineral Resources.* / *M.A. Morin.* – 2002. – P. 197–215.
15. *Гринеv В.Г.* Решение горных задач на ЭВМ при освоении рудных месторождений / *В.Г. Гринеv, В.Ю. Изаксон, В.П. Зубков.* – Новосибирск : Наука, 1999. – 215 с.
16. *Хорольский А.А.* Использование динамического программирования для проектирования горного производства при ограниченных ресурсах / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринеv* // *Информационные технологии в образовании, науке и производстве.* – 2018 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://rep.bntu.by/handle/data/49907>.
17. *Hrinov V.G.* Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment / *V.G. Hrinov, A.A. Khorolskyi* // *Ukrainian School of Mining Engineering.* – 2018. – № 60. – P. 1–10.
18. *Schniederjans M.J.* Information technology investment: Decision-making methodology / *M.J. Schniederjans, J.L. Hamaker, A.M. Schniederjans.* – Singapore : World Scientific Pub Co Inc., 2010.
19. *Hurwicz L.* What is the Coase Theorem? / *L.Hurwicz* // *Japan and the World Economy.* – 1995. – № 7. – P. 49–74.
20. *Albright S.C.* A Statistical Analysis of Hitting Streaks in Baseball / *S.C. Albright* // *Journal of the American Statistical Association* 88. – 1993. – № 424. – P. 1175–1196.
21. *Acemoglu D.* The Solow Growth Model. Introduction to Modern Economic Growth / *D.Acemoglu.* – Princeton : Princeton University Press, 2009. – P. 26–76.
22. *Писаренко М.В.* Оптимизация основных параметров шахт типа «шахта-лава» / *М.В. Писаренко* // *Горный информационно-аналитический бюллетень.* – 2011. – № 1. – С. 48–51.
23. *Хорольський А.О.* Проектування технологічних схем гірничого виробництва в умовах невизначеності / *А.О. Хорольський, В.Г. Грінюв* // *Фізико-технічні проблеми горного виробництва.* – 2018. – № 20. – С. 114–126.
24. *Сынков В.Г.* Оценка уровня взаимосвязи очистного оборудования в составе механизированного комплекса / *В.Г. Сынков, В.Г. Гринеv, А.А. Хорольский* // *Наукові праці ДНТУ. Інформатика, кібернетика, обчислювальна техніка.* – 2016. – № 22. – С. 124–131.
25. *Хорольський А.О.* Вдосконалення структури технологічних ланцюжків очисного обладнання на основі оптимізації мережевих моделей / *А.О. Хорольський, В.Г. Грінюв, О.П. Каліуценко* // *Матеріали міжнар. конф. – Д. : Дніпро, 2017. – С. 55–62.*
26. *Kellerer H.* Knapsack problems *springer science+business media / H.Kellerer, U.Pferschy, D.Pisinger.* – 2004. – 548 p.
27. *Беллман Р.* Динамическое программирование / *Р.Беллман.* – М. : Иностранная литература, 1960. – 400 с.
28. *Скиена С.* Алгоритмы. Руководство по разработке / *С.Скиена.* – СПб : БХВ-Петербург, 2011. – 720 с.
29. *Karabyn V.* Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites / *V.Karabyn, B.Shtain, V.Popovych* // *News of the National Academy. Geology and Technical sciences.* – Kazakhstan. – 2018. – № 429. – P. 64–74.
30. Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district / *Y.Starodub, V.Karabyn, A.Havrys, I.Shainoga, A.Samberg* // *Remote Sensing.* – Germany. – 2018.
31. *Хорольський А.О.* Системні принципи та оціночний критерій надійності при оптимізації технологічних схем вугільних родовищ / *А.О. Хорольський, В.Г. Грінюв* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* – 2017. – № 2 (80). – С. 199–207.
32. *Хорольський А.О.* Формування структури комплексного механізованого вибою з заданим рівнем видобутку / *А.О. Хорольський, В.Г. Грінюв* // *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту.* – Дніпро : НГУ, 2018. – С. 31–39.
33. *Гринеv В.Г.* Система поддержки принятия решений при разработке месторождений полезных ископаемых / *В.Г. Гринеv, А.А. Хорольский* // *Горно-геологический журнал.* – 2017. – № 51. – С. 18–24.
34. *Хорольский А.А.* Выбор сценария освоения месторождений полезных ископаемых / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринеv* // *Геология и охрана недр.* – 2018. – № 3. – С. 68–75.
35. *Хорольский А.А.* Обоснование возможности применения классической теории графов для выбора комплексов горного оборудования / *А.А. Хорольский, В.Г. Гринеv, В.Г. Сынков* // *Сучасні інноваційні технології підготовки інженерних кадрів для гірничої промисловості і транспорту.* – Дніпро : НГУ, 2016. – С. 57–64.
36. *Khomenko O.* Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining / *O.Khomenko, M.Kononenko, I.Myronova* // *Mining Of Mineral Deposits.* – 2017. – № 11. – P. 59–67.
37. Coal industry in the context of Ukraine economic security / *O.Mamaikin, J.Kicki, S.Salli, V.Horbatova* // *Mining of Mineral Deposits.* – Dnepr : National Mining University, 2017. – № 11. – P. 17–22.
38. *Khomenko O.* Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere / *O.Khomenko, M.Kononenko, I.Myronova* // *Mining of Mineral Deposits.* – 2013. – P. 231–235.
39. *Толкач О.М.* Обґрунтування оптимального методу інтерполяції геологорозвідувальних даних на базі програмного забезпечення SURFER / *О.М. Толкач, Р.В. Соболевський* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* – 2011. – № 1. – С. 135–141.
40. *Толкач О.М.* Побудова регресійної моделі взаємозв'язків основних показників якості пірофілітових сланців / *О.М. Толкач, Р.В. Соболевський, М.П. Стенюк* // *Вісник ЖДТУ. Технічні науки.* – 2012. – № 60. – С. 134–138.

References:

1. Amosha, A.I. and Solomatina, L.N. (2017), «Innovacionnoe razvitie promyshlennyh predpriyatij v regionah: problemy i perspektivy», *Jekonomika Ukrainy*, Vol. 3, pp. 20–34.

2. Vovchenko, A.R and Grinev, V.G. (2008), «Problemy reformirovaniya ugol'noj promyshlennosti Ukrainy», *Ekonomika Ukrainy*, Vol. 5, pp. 19–23.
3. Cherevatskij, D.Ju. (2018), «Ob jeksternal'noj jekonomike ugledobyvajushhih geterarhij», *Jekonomika promyshlennosti*, Vol. 4, pp. 72–86.
4. Grinev, V.G., Cherepovskij, P.V. and Deulenko, A.I. (2015), *Innovacionnye perspektivy jekspluatatsii ugol'nyh plastov krutogo padenija*, Porogi, D., 180 p.
5. Grinev, V.G. (2008), «Ocenka perspektiv povyshenija jeffektivnosti poluchenija konechnoj produkcii iz uglja», *Fiziko-tehnichni problemi gornichogo virobniictva*, Vol. 11, pp. 126–135.
6. Guang, H., Jinxin, N., Baisheng, N., Chalmers, D. and Zhuoming, Y. (2017), *Calibration of Mine Ventilation Network Models Using the Non-Linear Optimization Algorithm*. *Energy*, Vol. 31, pp. 11–19.
7. Fioroni, M., Leticia, C., Franzese, L., Seixas, J., Penna, B. and other (2014), «Logistic evaluation of an underground mine using simulation», *Rem: Revista Escola de Minas*, Vol. 67, pp. 447–454.
8. Amankwah, H. (2011), *Mathematical Optimization Models and Methods for Open-Pit Mining*, Linköping University, Linköping.
9. Mikaeil, R., Naghadehi, M., Ataei, M. and Khalokakaie, R.A. (2009), *Decision support system using fuzzy analytical hierarchy process (FAHP)*, Vol. 54 (2), pp. 349–368.
10. Deghani, H., Siami, A. and Haghi, P.A. (2017), «New model for mining method selection based on grey and TODIM», *Journal of Mining and Environment*, Vol. 8, pp. 49–60.
11. Opricovic, S. and Tzeng, G.H. (2007), «Extended VIKOR method in comparison with outranking methods», *European Journal of Operational Research*, Vol. 178, pp. 514–529.
12. Schniederjans, M.J., Hamaker, J.L. and Schniederjans, A.M. (2010), *Information technology investment: Decision-making methodology*, World Scientific Pub Co Inc., Singapore.
13. Vujić, S., Miljanović, I., Milutinović, A., Đorđević, D. and Gojković, N. (2011), «Multiattributive prediction of terrain stability above underground mining operations», *Yugoslav Journal of Operations Research*, Vol. 21, pp. 275–291.
14. Morin, M.A. (2002), *Underground mine design and planning: complexities and interdependencies*. *Mineral Resources*, pp. 197–215.
15. Grinev, V.G., Izakson, V.Ju. and Zubkov, V.P. (1999), *Reshenie gornyh zadach na JeVM pri osvoenii rudnyh mestorozhdenij*, Nauka, Novosibirsk, 215 p.
16. Horol'skij, A.A. and Grinev, V.G. (2018), «Ispol'zovanie dinamicheskogo programmirovaniya dlja proektirovaniya gornogo proizvodstva pri ogranichennyh resursah», *Informacionnye tehnologii v obrazovanii, nauke i proizvodstve*, [Online], available at: <http://rep.bntu.by/handle/data/49907>
17. Hrinov, V.G. and Khorolskyi, A.A. (2018), «Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment», *Ukrainian School of Mining Engineering*, Vol. 60, pp. 1–10.
18. Schniederjans, M.J., Hamaker, J.L. and Schniederjans, A.M. (2010), *Information technology investment: Decision-making methodology*, World Scientific Pub Co Inc., Singapore.
19. Hurwicz, L. (1995), «What is the Coase Theorem?», *Japan and the World Economy*, Vol. 7, pp. 49–74.
20. Albright, S.C. (1993), «A Statistical Analysis of Hitting Streaks in Baseball», *Journal of the American Statistical Association*, Vol. 424, pp. 1175–1196.
21. Acemoglu, D. (2009), *The Solow Growth Model. Introduction to Modern Economic Growth*, Princeton University Press, Princeton, pp. 26–76.
22. Pisarenko, M.V. (2011), «Optimizacija osnovnyh parametrov shaht tipa shahta-lava», *Gornyj informacionno-analiticheskij bjulleten'*, Vol. 1, pp. 48–51.
23. Khorolskyi, A.O. and Grin'ov, V.G. (2018), «Proektuvannya tehnologichnih shem gornichogo virobniictva v umovah neviznachenosti», *Fiziko-tehnicheskie problemy gornogo proizvodstva*, Vol. 20, pp. 114–126.
24. Synkov, V.G., Grinev, V.G. and Horol'skij, A.A. (2016), «Ocenka urovnja vzaimosvjazi ochistnogo oborudovaniya v sostave mehanizirovannogo kompleksa», *Naukovi praci DNTU. Informatika, kibernetika, obchisljuval'na tehnika*, Vol. 22, pp. 124–131.
25. Horol'skij, A.O., Grin'ov, V.G. and Kaliushhenko, O.P. (2017), «Vdoskonalennja strukturi tehnologichnih lancjuzhkiv ochistnogo obladnannja na osnovi optimizatsii merezhevih modelej», *Forum gornikiv*, Dnipro, D., pp. 55–62.
26. Kellerer, H., Pferschy, U and Pisinger, D. (2004), *Knapsack problems springer science+business media*, 548 p.
27. Bellman, R. (1960), *Dinamicheskoe programmirovanie*, Inostrannaja literatura, M., 400 p.
28. Skiena, S. (2011), *Algoritmy. Rukovodstvo po razrabotke*, BHV-Peterburg, SPb, 720 p.
29. Karabyn, V., Shtain, B. and Popovych, V. (2018), «Thermal regimes of spontaneous firing coal washing waste sites», *News of the National Academy. Geology and Technical sciences*, Vol. 429, Kazakhstan, pp. 64–74.
30. Starodub, Y., Karabyn, V., Havrys, A., Shainoga, I. and Samberg, A. (2018), «Flood risk assessment of Chervonograd mining-industrial district», *Remote Sensing*, Germany.
31. Horol'skyj, A.O. and Grin'ov, V.G. (2017), «Systemni pryncypy ta ocinochnyj kryterij nadijnosti pry optymizatsii tehnologichnyh shem vugil'nyh rodovyshh», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, Vol. 2 (80), pp. 199–207.
32. Horol'skyj, A.O. and Grin'ov, V.G. (2018), «Formuvannya struktury kompleksnogo mehanizovanogo vyboju z zadanyh rivnem vydobutku», *Suchasni innovacijni tehnologii pidgotovky inzhenernyh kadriv dlja girnychoi promyslovosti i transportu*, NGU, Dnipro, pp. 31–39.
33. Grinev, V.G. and Horol'skij, A.A. (2017), «Sistema podderzhki prinjatija reshenij pri razrabotke mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh», *Gorno-geologicheskij zhurnal*, Vol. 51, pp. 18–24.
34. Horol'skij, A.A. and Grinev, V.G. (2018), «Vybor scenarija osvoenija mestorozhdenij poleznyh iskopaemyh», *Geologija i ohrana nedr*, Vol. 3, pp. 68–75.

35. Horol'skyj, A.A., Grynev, V.G. and Sunkov, V.G. (2016), «Obosnovanye vozmozhnosti prymenenija klassycheskoj teoryy grafov dlja vubora kompleksov gornogo oborudovanyja», *Suchasni innovacijni tehnologii' pidgotovky inzhenernyh kadriv dlja girnychoi' promyslovosti i transport*, NGU, Dnipro, pp. 57–64.
36. Khomenko, O., Kononenko, M. and Myronova, I. (2017), «Ecological and technological aspects of iron-ore underground mining», *Mining Of Mineral Deposits*, Vol. 11 (2), pp. 59–67.
37. Mamaikin, O., Kicki, J., Salli, S. and Horbatova, V. (2017), «Coal industry in the context of Ukraine economic security», *Mining of Mineral Deposits*, National Mining University, Vol. 11, Dnepr, pp. 17–22.
38. Khomenko, O., Kononenko, M. and Myronova, I. (2013), «Blasting works technology to decrease an emission of harmful matters into the mine atmosphere», *Mining of Mineral Deposits*, pp. 231–235.
39. Tolkach, O.M. and Sobolevs'kyj, R.V. (2011), «Obg'runtuvannja optimal'nogo metodu interpoljacii' geologorozviduval'nyh danyh na bazi programnogo zabezpechennja SURFER», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, Vol. 1, pp. 135–141.
40. Tolkach, O.M., Sobolevs'kyj, R.V. and Stenjuk, M.P. (2012), «Pobudova regresijnoi' modeli vzajemozv'jazkiv osnovnyh pokaznykiv jakosti pirofilitovyh slanciv», *Visnyk ZhDTU. Tehnichni nauky*, Vol. 60, pp. 134–138.

Хорольський Андрій Олександрович – кандидат технічних наук, науковий співробітник Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України.

Наукові інтереси:

– оптимізація параметрів експлуатації родовищ корисних копалин; розробка наукових підходів для керування процесами зміни стану родовищ; впровадження методів динамічного програмування для управління виробництвом; розробка програмного забезпечення.

orcid.org/0000-0002-4703-7228

Грінюв Володимир Герасимович – доктор технічних наук, професор, завідувач Лабораторії проблем розробки родовищ Інституту фізики гірничих процесів Національної академії наук України,

Наукові інтереси:

– оптимізація параметрів експлуатації родовищ корисних копалин; розробка наукових підходів для керування процесами зміни стану родовищ; впровадження методів динамічного програмування для управління виробництвом.

orcid.org/0000-0003-2942-6518

Мамайкін Олександр Рюрикович – кандидат технічних наук, доцент Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»,

Наукові інтереси:

– оптимізація параметрів експлуатації родовищ корисних копалин; розробка наукових підходів для керування процесами зміни стану родовищ; оцінка інноваційних перспектив родовищ.

orcid.org/0000-0002-2137-0516

Стаття надійшла до редакції 13.05.2019.