

© А.О. Хорольський¹, В.М. Почепов², В.В. Лапко², В.С. Саллі², О.Р. Мамайкін²

¹ Інститут фізики гірничих процесів Національної академії наук України, Дніпро, Україна

² Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

РОЗРОБКА МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРАМЕТРІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ В УМОВАХ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ

© A. Khorolskyi¹, V. Pochepov², V. Lapko², V. Salli², O. Mamaikin²

¹ Institute for Physics of Mining Processes the National Academy Sciences of Ukraine, Dnipro, Ukraine

² Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

DEVELOPING A MODEL PARAMETER OPTIMIZATION OF COAL MINES UNDER DIVERSIFICATION

Мета. Запропонувати новий методологічний підхід щодо оптимізації параметрів функціонування вугільних шахт в умовах диверсифікації.

Методика. Розглянуто продуктивні потоки вугільних шахт, а також виробничі функції. Для вирішення задачі диверсифікації виробництва було співставлено відношення між видами витрачених ресурсів, а також рівнем продукції у вигляді сировини. На основі виробничої функції Кобба-Дугласа побудовано модель життєзабезпечення діяльності вугільної шахти, при цьому враховується можливість диверсифікації діяльності.

Результати. В роботі вперше запропоновано модель оптимізації параметрів гірничого виробництва в умовах диверсифікації, яка демонструє співвідношення виробничих функцій та ресурсів. За допомогою розробленої моделі можна відслідкувати у часі ефективність використання виробничих ресурсів, визначити обсяги виробництва, розрахувати основні параметри функціонування вугільних шахт, дослідити за рахунок, яких ресурсів досягається збільшення продуктивності.

Наукова новизна. Вперше розглянуто можливість диверсифікації діяльності гірничого виробництва за рахунок зміни продуктивних потоків. Наведено методичні рекомендації щодо оцінки виробничої діяльності гірничодобувного комплексу. В роботі вперше для підвищення ефективності функціонування вугільних шахт розглянуто внутрішній потенціал технологічної схеми, а також проаналізовано складові, які його формують. Це дозволило сформулювати управлінські рішення, які полягають у визначенні обсягів виробництва, а також співвідношення між залученими ресурсами, необхідними для забезпечення вказаного обсягу виробництва, постійному моніторингу використання ресурсів, за рахунок встановлення раціонального співвідношення між основними фондами, трудовими, матеріальними ресурсами; а також, встановлення взаємозамінності продуктивних потоків у сукупному балансі.

Практична значимість. Для практичного застосування у роботі пропонується методика визначення раціонального обсягу виробництва з позиції оптимізації виробничої діяльності підприємства, а також співвідношення виробничих ресурсів для досягнення заданого масштабу виробництва. Таким чином відбувається підвищення фондівіддачі при тому ж ступені використання основних фондів, праці, матеріалів. Для повноцінного та ефективного використання технології було розглянуто конкретний приклад із визначення оптимального способу виробництва продукції для вугледобувного підприємства.

Ключові слова: продуктивний потік, виробнича функція, спосіб виробництва, виробнича функція, ефективність, критерій.

Вступ. Сьогодні у вугільній промисловості країни існує системна криза, яка обумовлена рядом причин. Ці причини викликані не тільки старінням основних фондів, незадовільною інфраструктурою, низьким ступенем механізації праці, але і неповним використанням сировини, яка є результатом видобутку. Згідно досліджень [1, 2] продуктивними потоками вугільних шахт є вугілля, метан, порода, вода, проте, наразі у якості основної сировини, яка є результатом виробничо-господарчої діяльності є лише вугілля, а іншим продуктивним потокам, наразі приділяється недостатня увага. Зупинимось на основних проблемах, які супроводжують видобуток вугілля підземним способом, це сформує актуальність, науково-практичне значення роботи:

- по-перше, відсутнє комплексне використання ресурсів, які видобуваються з надр; але, це не саме головне, проблема у тому, що супутні продуктивні потоки при відсутності їх використання негативно впливають на виробництво: при невикористанні метану – створюються небезпечні умови праці у підземному просторі (вірогідність вибуху, викидів метану); при невикористанні води – необхідні площі під відстійники; при невикористанні породи – необхідні додаткові площі під відвали та ін., таким чином невикористані продуктивні потоки створюють техногенне навантаження на довкілля, погіршують умови праці;

- по-друге, постійно збільшується собівартість видобутку, це пояснюється не тільки збільшенням мережі виробок, збільшенням супутніх витрат, але і витратами по мінімізації негативного впливу води, газу, породних відвалів, тому диверсифікація гірничого виробництва є резервом підвищення ефективності виробництва, а також комплексного використання надр;

- по-третє, скорочуються видобуток вугілля, що призводить до погіршення ситуації у регіонах де шахти є місто утворюючими підприємствами, тому неодмінно буде виникати соціальна напруга, а для уникнення цього явища, слід забезпечити людей роботою;

- по-четверте, наразі відсутні методичні підходи щодо оцінки можливості диверсифікації гірничого виробництва, більшість праць засновані на загальних рекомендаціях, щодо використання метану або переробки породних відвалів, а про обсяги виробництва та зв'язок між продуктивними потоками мова не йде, саме тому, в представленій роботі дається комплексний інструмент, щодо проблематики диверсифікації гірничого виробництва;

-- по-п'яте, необхідно розробити модель, яка дозволяє оцінити співвідношення ресурсів необхідних для виробництва, а також розробити комплексні рекомендації;

- по-шосте, існує проблема нераціонального використання виробничих ресурсів, коли завищені обсяги вкладень для видобутку тони вугілля, але при цьому існують можливості щодо збільшення виробництва.

Вирішенню поставлених задач присвячена вказана робота.

Спочатку необхідно розглянути основні підходи та світові тренди щодо проблематики диверсифікації гірничого виробництва (таблиця 1). Це дозволить визначити нам основні напрямки у проведенні досліджень.

Таблиця 1
Основні дослідження присвячені світовому досвіду диверсифікації гірничого виробництва

Науковці	Рік	Наукова новизна
Lyu J., Lian X., Li P. [3]	2018	Висунуто основні напрямки диверсифікації вугільних шахт, зокрема для оцінки діяльності слід розглядати залученість шахт у технологічні ланцюжки з виробництва металу та електроенергії
Li X. [4]	2020	Проаналізовано стан розвитку промисловості у контексті залучення до технологічних ланцюжків з виробництва чорного металу
Jonek-Kowalska I. [5]	2018	Досліджено основні фактори, які визначають загальну ефективність підприємства, а також механізми формування вартості на продукцію
Tabashnikova O. [6]	2017	Виявлено, що основним напрямком диверсифікації є кластерний підхід, коли продукція одного типу використовується для потреб іншого типу, що сприяє утворенню стійких зв'язків у старопромислових регіонах.
Jones S., Müller A. [7]	1992	Розглянуто основні напрямки зміни діяльності підприємств через погіршення якості сировини.
Campbell S., Coenen L. [8]	2017	Виділено основні напрямки диверсифікації в регіонах, які полягають у високій кластеризації підприємств, підвищенні інновацій, знятті бар'єрів міжорганізаційних мереж, встановлення зв'язків між підприємствами у регіонах, перехід від випуску монопродукції до випуску декількох видів продукції з одного підприємства.
Gawlikowska-Fyk A. [9]	2019	Досліджено основні шляхи підвищення конкурентної здатності, надійності, сталого розвитку підприємств паливно-енергетичного комплексу в умовах диверсифікації
Li C., et. al. [10]	2017	Було розглянуто основні напрямки переорієнтації вугільної промисловості на виготовлення інших видів продукції, а також на основі лінійного програмування запропоновано раціональні обсяги виробництва того чи іншого виду виробництва. Основна ідея полягала в розгляді капіталу підприємства, обмежень на введення людських ресурсів і виробничої кооперації (в першу чергу, масштабної кооперації), а також політичного впливу на основі принципу максимізації прибутку для побудови моделі оптимального промислового розміру з використанням методу лінійного програмування.
Li C., et. al. [11]	2017	Встановлено що для диверсифікованого розвитку підприємств необхідна узгодженість масштабів, управлінська взаємодія та ринкове співробітництво між галузями. Одночасно підприємство повинно консультуватися, моделювати та асимілювати вигідні фактори співробітництва інших організацій, щоб проводити вторинні інновації. Примітно, що фактори співпраці повинні постійно коригуватися, щоб бути ефективними для промислового розвитку.
Safarzynska K. [12]	2017	На відміну від інших досліджень увагу приділяється не сукупному випуску продукції, в наслідок диверсифікації, а зростанню номенклатури нових видів продукції, зокрема типів палива, які можуть бути отримані в процесі видобутку.

Із даних таблиці 1 слідує, що основними напрямками диверсифікації є:

- комплексне використання ресурсів, які супроводжують видобуток вугілля, тобто відбувається перехід від визначення шахти, як підприємства з видобутку вугілля, до шахти, як підприємства, яке займається видобутком мінімум чотирьох корисних копалин: вугілля, газу метану, породи (яка містить рідкісні та благородні метали), шахтної води;

- формування управлінських рішень, які полягають у визначенні обсягів виробництва, а також співвідношення між залученими ресурсами, необхідними для забезпечення вказаного обсягу виробництва;

- постійний моніторинг використання ресурсів, а це потребує встановлення раціонального співвідношення між основними фондами, трудовими, матеріальними ресурсами; а також, по можливості, встановлювати взаємозамінність продуктивних потоків у сукупному балансі.

Таким чином, розробка наукових основ, щодо диверсифікації гірничого виробництва на основі дослідження співвідношень між виробничими ресурсами та обсягами виробництва при залученні додаткових продуктивних потоків є актуальною науковою проблемою. Особливістю диверсифікації гірничого виробництва є те, що відбувається збільшення віддачі на одиницю витрачених ресурсів, при цьому зберігається продуктивність праці гірників. Можна впевнено стверджувати, що диверсифікація є запорукою підвищення показників господарської діяльності, а також подолання кризових явищ у паливно-енергетичному комплексі.

Основна частина. Виробничими функціями, в загальному визначенні, називаються відношення між використаними в процесі виробництва матеріальними благами та ресурсами, які в сукупності називаються виробничими ресурсами. У відповідності до поставленої задачі виробничими ресурсами є: K – основні фонди, в нашому випадку це підготовлені до виймання запаси сировини (вугілля, метан, вода, порода), обладнання для вилучення вказаного типу сировини; Q – матеріалів (сировина, напівфабрикати); L – трудових ресурсів (людська праця). Вихідною величиною у цій системі є обсяги видобутої сировини X . Тоді, виробнича функція демонструє відношення між використаними в процесі виробництва ресурсами K, Q, L з обсягами виробництва X . Із вищенаведеного слідує, що виробнича функція необхідна для зв'язку значення вектору продукції \vec{X} з величиною вектору ресурсів Y , тоді

$$F = (\vec{X}, \vec{Y}, \vec{A}) = 0 \quad (1)$$

де $\vec{A} = \{a_1, a_2, \dots, a_p\}$ – вектор параметрів виробничої функції.

Співвідношення (1) є не що інше, як математична модель життєвого забезпечення виробництва. Кожна, із зазначених вхідних та вихідних функцій є векторними змінними, тобто

$$\begin{aligned} \vec{K} &= \{k_1, k_2, \dots, k_p\}; \vec{Q} = \{q_1, q_2, \dots, q_p\}; \\ \vec{L} &= \{l_1, l_2, \dots, l_p\}; \vec{X} = \{x_1, x_2, \dots, x_p\}; \end{aligned} \quad (2)$$

Для вирішення задачі диверсифікації виробництва необхідно співставити відношення між видами витрачених ресурсів, а також рівнем продукції у вигляді сировини. Співвідношення (1)-(2) застосовують, через те, що типи ресурсів різні за своєю формою та типами виміру, а необхідно привести до узагальненого виду. Для цього слід перейти від векторної форми до загальної, тобто при зборі даних застосувати вартісні одиниці. Тоді, про ступінь споживання сировини Q можна судити за споживанням матеріалів та напівфабрикатів за часовими проміжками (місяць, квартал, рік), по основним фондам K – за величиною амортизаційних відрахувань та вартості основних фондів; L – за величиною виплачених коштів на заробітну плату, а обсяг виробництва X – за величиною отриманого прибутку.

Для того, щоб визначити конкретний вид виробничої функції необхідно на основі отриманих даних встановити тенденції зміни X від величини ресурсів K, Q, L . На основі попередніх досліджень [13, 14] встановлено, що функція життєзабезпечення виробництва для умов диверсифікації, на основі (1), (2) має ступеневий вид, тому вона дорівнює добутку відповідних степеневих функцій ресурсів та коефіцієнту a_0

$$X^* = a_0 K^{a_1} Q^{a_2} L^{a_3} \quad (3)$$

де a_0, a_1, a_2, a_3 – параметри (коефіцієнти) виробничої функції.

Співвідношення (3) це не що інше, як загальна функція Кобба-Дугласа. Однак, для застосування на практиці, необхідно відслідкувати динаміку зміни у часі, адже час є також важливим ресурсом $I(t)$. Введення в співвідношення ресурсу «час» дозволяє врахувати тенденцію зміни виробництва, тоді (3) можна записати

$$X(t) = a_0 K^{a_1}(t) Q^{a_2}(t) L^{a_3}(t) e^{\alpha t} \quad (4)$$

де e – основа натуральних логарифмів; α – параметр, який характеризує зміну виробництва; t – час (місяці, квартали, роки).

Тоді, враховуючи динаміку зміни запасів співвідношення (4) у спрощеному вигляді можна записати

$$X = F(K, L) = a_0 K^{a_1} L^{a_3} \quad (5)$$

$$\frac{\partial F(K, L)}{\partial K} > 0 \quad (6)$$

Для дослідження динаміки зміни рівня вилучення одного типу сировини при збільшенні одного типу ресурсу при невідомій величині залучення іншого ресурсу зміна об'єму виробництва дорівнюватиме

$$\frac{\partial F(K, L)}{\partial K} > 0 \quad (6)$$

$$\frac{\partial F(K, L)}{\partial L} > 0 \quad (7)$$

Вираз (6) це гранична продуктивність фондів, а вираз (7) – гранична продуктивність праці. Сенс співвідношень (5)-(7) полягає у наступному: при поступовому зростанні одного типу ресурсів та постійності іншого ресурсу відбувається

поступове скорочення приросту видобутку сировини X . Це досить важливий аспект, при вирішенні задачі диверсифікації гірничого виробництва, адже переорієнтація на вилучення одного типу сировини, наприклад метану або вугілля, а також зміна структури основних фондів призводитиме до постійного скорочення ефективності виробництва, тому необхідно усі види ресурсів розглядати у комплексі. Зважаючи на те, що при диверсифікації відбувається комплексність вилучення запасів, тобто зростає вартість фондів, то виробничу функцію можна записати за допомогою множника $\beta(t)$, який виражає підвищення ефективності використання запасів, тобто

$$X = F[\beta(t)K, L] \quad (8)$$

Вважаємо, що при збільшенні фондівіддачі ($k_0 > k_1$) відбувається ріст продуктивності праці x , а середня та гранична фондівіддача не зміниться, тоді (8) може бути приведена до виду

$$x = f[\beta(t)k] \quad (9)$$

Із виразу (9) слідує важливе спостереження, що при диверсифікації гірничого виробництва при меншому використанні основних фондів зберігається продуктивність праці, але при цьому збільшується середня та максимальна фондівіддача, тобто зростає кількість виробленої продукції на одиницю основних фондів. Тоді, ми можемо розглядати супутні ресурси, які є продуктами видобутку основної корисної копалини у якості додаткових виробничих функцій, тобто виробнича функція для диверсифікованого гірничого виробництва буде мати вид

$$X^* = a_0 K^{a_1} Q^{a_2} L^{a_3} I^{a_4} \quad (10)$$

Сенс виразу (10) полягає у наступному: модель життєзабезпечення диверсифікованого гірничого виробництва X^* орієнтована на максимальне використання супутніх ресурсів $I(t)$ для максимізації виробничо-господарчих результатів при постійному значенні ресурсів K, Q, L , необхідних для видобутку корисної копалини X . Тобто, складовою $I(t)$ описується зростання фондівіддачі при відсутності середньої та граничної продуктивності праці. Наприклад, при наявності заходів з демінералізації шахтних вод та використанні води, як додаткового джерела надходжень коштів від виробничої діяльності шахти [15] відсутнє зростання продуктивності праці робітників шахти за вугіллям, проте підприємство отримує додаткові кошти від реалізації технічної води для потреб населення. Таким чином відбувається підвищення фондівіддачі при тому ж ступені використання основних фондів, праці, матеріалів.

Запропонована модель (10) має досить важливе значення та може бути застосована на практиці.

По-перше, за величиною складових рівняння (10) a_1, a_2, a_3, a_4 можна судити про якісні параметри виробництва, тобто відслідковувати тенденцію його розвитку, що дозволить вчасно вжити заходи. Математичний сенс співвідношень між a_1, a_2, a_3, a_4 демонструє еластичність моделі життєзабезпечення підприємства X за потоками ресурсів, тобто за ними встановлюється усереднене значення використання ресурсів на підприємстві:

$$\varepsilon_K = \frac{dX}{X} / \frac{dK}{K} \quad (11)$$

$$\varepsilon_Q = \frac{dX}{X} / \frac{dQ}{Q} \quad (12)$$

$$\varepsilon_L = \frac{dX}{X} / \frac{dL}{L} \quad (13)$$

$$\varepsilon_I = \frac{dX}{X} / \frac{dI}{I} \quad (14)$$

Для рівняння (10) показники еластичності дорівнюють складовим рівняння

$$\varepsilon_K = a_1; \varepsilon_Q = a_2; \varepsilon_L = a_3; \varepsilon_I = a_4 \quad (15)$$

Кожне із рівнянь (11)-(14) демонструє тенденцію зміни видобутку корисної копалини X в залежності від збільшення на 1% залученого типу ресурсу. Наприклад, при збільшенні витрат матеріалів Q на 1% про збільшення видобутку вугілля X судять, якщо у рівнянні (10) аргумент $\varepsilon_Q = a_2 > 0$ має додатне значення, а якщо аргумент $\varepsilon_Q = a_2 < 0$, то від збільшення кількості додаткових матеріалів вже не відбувається зростання видобутку, тобто необхідно вжити заходи щодо зменшення матеріалоемності виробництва. Таким чином, можна судити про модель забезпечення життєвого циклу шахти, про те на які місця в першу чергу слід звернути увагу для оптимізації параметрів експлуатації.

По-друге, за коефіцієнтами рівняння (10) робиться висновок про ефективність виробництва при одночасному збільшенні використання усіх ресурсів на 1%, тобто, якщо $a_1+a_2+a_3+a_4 > 1$ – ефективність досягається за рахунок збільшення масштабу виробництва, тобто його концентрації. Якщо $a_1+a_2+a_3+a_4 < 1$ – існує тенденція до зменшення ефективності виробництва і слід зменшити масштаб.

По-третє, можна встановити норми заміни одного виду ресурсів іншим, через відношення показників еластичності

$$N_{K/L} = \varepsilon_K / \varepsilon_L = a_1 / a_3 \quad (16)$$

$$N_{Q/L} = \varepsilon_Q / \varepsilon_L = a_2 / a_3 \quad (17)$$

де $N_{K/L}$ норма заміни комплексної механізації ручною працею; $N_{Q/L}$ норма заміни використання матеріалів ручною працею.

Все це дозволяє, на основі виразів (10)-(17) отримати прогноз основних показників, які характеризують життєзабезпечення шахти в умовах диверсифікації (таблиця 2).

Все це дозволило нам отримати модель оптимізації гірничого виробництва в умовах диверсифікації. Задача оптимізації може бути сформована так: необхідно збільшити кількість коштів від реалізації продукції при мінімізації кількості витрачених ресурсів S , цю задачу можна назвати оптимізацією способу виробництва та записати наступним чином

$$X = a_0 K^{a_1} L^{a_3} \rightarrow \max; S = p_1 K + p_3 L \quad (18)$$

Основні показники життєзабезпечення шахт в умовах диверсифікації

Назва показника	Вираз
продуктивність праці	$\Pi = X/L = a_0 K^{a_1} Q^{a_2} L^{a_3-1} I^{a_4}$
фондовіддача	$\Phi = X/K = a_0 K^{1/a_1} Q^{a_2} L^{a_3} I^{a_4}$
темпи зростання видобутку	$T_x = \frac{X_i - X_{i-1}}{X_{i-1}} \cdot 100$
темпи зростання продуктивності праці	$T_\Pi = \frac{\Pi_i - \Pi_{i-1}}{\Pi_{i-1}} \cdot 100$
темпи зростання (зниження) фондовіддачі	$\Phi = \frac{\Phi_i - \Phi_{i-1}}{\Phi_i} \cdot 100$
заходи з підвищення надійності	$I = \frac{I_i - I_{i-1}}{I_i} \cdot 100$

Тоді, якщо для видобутку корисної копалини використано n реурсів, то вихідна задача формується наступним чином:

$$X = a_0 Y_1^{a_1} Y_2^{a_2} \dots Y_n^{a_n} \rightarrow \max; \quad (19)$$

$$S = p_1 Y_1 + p_2 Y_2 + \dots + p_n Y_n \quad (20)$$

Із виразів (19)-(20) можна записати витрати реурсів

$$Y_i = \frac{X^k}{a_0 \prod_{i=2}^n Y_i^{a_i}} \quad (21)$$

$$Y_i = \frac{S}{p_1} - \sum_{i=2}^n \frac{p_i}{p_1} Y_i \quad (22)$$

Знаходження оптимального рішення зводиться до процедури одномірного пошуку об'єму виробництва X . Для цього на початковому етапі задається початкове довільне значення видобутку вугілля $X^{(0)}$ і для нього вирішуємо систему рівнянь (19) відносно змінних Y_i , ($i=1,2,\dots,n$), які вирішуються за рівнянням (21). Визначимо сумарні витрати на реурси, при заданому варіанті рішення

$$S^k = \sum_{i=1}^n p_i Y_i; k = 0,1,2, \dots, m \quad (23)$$

і після цього знаходимо відхилення витрат d

$$d = S - S^k \quad (24)$$

де k – порядковий номер кроку, m – загальна кількість кроків.

Якщо $d > 0$, то маютья додаткові резерви та можна збільшити обсяг виробництва, якщо $d < 0$, то для вказаного обсягу виробництва реурсів недостатньо і варто зменшити обсяг виробництва. При $d = 0$ відбувається комплексне використання реурсів і спосіб виробництва є оптимальним.

Пошук оптимального рішення здійснюється наступним шляхом:

Вхідні дані: n – кількість заданих реурсів виробництва; $a_0, a_1, a_2, \dots, a_n$ – коефіцієнти виробничої функції Кобба-Дугласа; S – допустимі витрати на реурси;

X_0 – початковий обсяг видобутку вугілля; d_g – допустимі відхилення розрахункових сумарних витрат S від заданих; g – початковий крок пошуку; $p_1 \dots p_n$ – коефіцієнти пропорційності ресурсів, якщо ми задаємо усі ресурси у грошовому вимірі, то $p_i=1$.

Додаткові змінні, необхідні для пошуку: F – індикатор пошуку з початковим кроком g ; l – індикатор напрямку крокового виміру, t_1, t_2 – вказівники сенсу d (додатне чи від’ємне).

Факт зміни d свідчить про те, що змінився перерозподіл структури виробництва, тобто або кількість ресурсів недостатня для виробництва (якщо від’ємне значення) або кількість ресурси використовуються не повним чином (додатне значення). Вказівник d дорівнює сумі t_1 та t_2 . Відбувається дихотимічний пошук, до того часу поки d не стане рівним 0. Вказівник напрямку l свідчить про те у якому напрямку слід рухатись (збільшення чи зменшення кроку).

Наприклад, необхідно для шахти розрахувати оптимальний обсяг видобутку $X^{(k)}$ та співвідношення витрат між ресурсами K, Q, L при заданій сумі ресурсів S .

Рішення задачі можна описати системою рівнянь:

$$X = a_0 K^{a_1} Q^{a_2} L^{a_3} \rightarrow \max$$

$$S = p_1 K + p_2 Q + p_3 L$$

X, P, Q, L, S – представимо в умовних одиницях (у.о.), тому коефіцієнт пропорційності $p_1=p_2=p_3=1$.

Вхідними даними є: $S=50000$ у.о. – сумірна вартість трьох видів ресурсів; $X_0=300$ тис. т – початковий обсяг виробництва; $g=50$ тис. т – крок зміни обсягів виробництва; $d_g=5$ тис. т – допустиме відхилення обсягів виробництва від проектних. Згідно даних [16] коефіцієнти виробничої функції Кобба-Дугласа для умов Західного Донбасу становлять $a_0=1,250$; $a_1=0,237$; $a_2=0,151$; $a_3=0,736$.

Результати пошуку оптимального рішення представлено в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати оптимізації способу виробництва

№	$X^{(k)}$	L	Q	K	S^k	S	d
1	300000	247856.6	50853.6	79806.4	378516.6	500000	121483.4
2	350000	284285	58327.6	91543.6	434156.2	500000	65843.8
3	400000	320140	65680	103080	488900	500000	11100
4	450000	35518.4	72943	114476	542937.4	500000	-42937.4
5	425000	337875.4	69326.2	108820.8	516022.4	500000	-16022.4
6	412500	329037.2	67509.6	105946	502492.8	500000	-2492.8
7	406250	324598	66598.8	104516.8	495713.6	500000	4286.4

Із аналізу даних таблиці 3 слідує, що оптимальним буде річний видобуток 406 тис. т, при заданому співвідношенні ресурсів K, Q, L (наведених у 7 рядку таблиці 3). Для підвищення точності рішення слід зменшити крок зміни видобутку.

При усіх значеннях $d < 0$ рішення задачі вважається недоцільним, адже ресурси використовуються неефективно.

Логіка підрахунків досить проста. Ми задаємо значення видобутку вугілля X та для вказаного обсягу виробництва визначаємо необхідну кількість ресурсів K, Q, L . Після цього підраховуємо суму цих ресурсів [17, 18]. На наступному кроці від загальної суми ресурсів S віднімаємо суму трьох ресурсів S^k . Якщо $S - S^k$ більша за нуль, то необхідно збільшити річний видобуток на величину g . Збільшуємо річний обсяг до того моменту поки $S - S^k < 0$. Після цього ведемо пошук рішення до точності d_g . З таблиці 2 видно, що при значеннях видобутку 300-400 тис. т є резерв до збільшення видобутку (рядки 1-3 таблиці). Приймаємо рішення, що слід збільшити видобуток на 50 тис. т до 450 тис. т (рядок 4). Бачимо, що ресурсів недостатньо і слід оптимальне рішення шукати у проміжку 400...450 тис. т. На основі порядкових розрахунків (рядки 5-7) знаходимо оптимальне рішення.

Висновки. В роботі вперше запропоновано модель оптимізації параметрів гірничого виробництва в умовах диверсифікації. Характерною особливістю роботи є те, що розглянуто можливість використання усіх чотирьох продуктивних потоків вугільних шахт, а також їх взаємозамінність в сукупному виробничому балансі шахти. Також наведено практичні рекомендації, щодо застосування моделі, визначення виробничих показників, а також щодо визначення оптимальної структури виробництва.

Перелік посилань

1. Hrinov, V. & Khorolskyi, A. (2018). Improving the Process of Coal Extraction Based on the Parameter Optimization of Mining Equipment. In *E3S Web of Conferences, Ukrainian School of Mining Engineering*. (Vol. 60. p. 00017). EDP Sciences.
doi.org/10.1051/e3sconf/20186000017
2. 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>
3. Lyu, J., Lian, X., & Li, P. (2018). Diversified management of coal enterprises in China: model selection, motivation and effect analysis. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 108, No. 3, p. 032005). IOP Publishing.
4. Li X. (2020) Diversification. In: *The Road Map of China's Steel Industry*. Springer, Singapore.
https://doi.org/10.1007/978-981-15-2074-7_12
5. Jonek-Kowalska, I. (2018). How do turbulent sectoral conditions sector influence the value of coal mining enterprises? Perspectives from the Central-Eastern Europe coal mining industry. *Resources Policy*, 55, 103-112.
<https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2017.11.003>
6. Tabashnikova, O. (2017). Some Diversification Factors of Old Industrial Regions' Economy and Transition to the Innovative Development. In *E3S Web of Conferences* (Vol. 21, p. 04022). EDP Sciences.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/20172104022>
7. Jones S., Müller A. (1992) The Diversification of Mining since 1961. In: *The South African Economy, 1910-90*. Palgrave Macmillan, London.
https://doi.org/10.1007/978-1-349-22031-1_18

8. Campbell, S., & Coenen, L. (2017). Transitioning beyond coal: Lessons from the structural renewal of Europe's old industrial regions. In CCEP Working Papers. Centre for Climate Economics & Policy, Crawford School of Public Policy. The Australian National University.
9. Gawlikowska-Fyk A. (2019) Poland: Coping with the Challenges of Decarbonization and Diversification. In: Godzimirski J. (eds) New Political Economy of Energy in Europe. International Political Economy Series. Palgrave Macmillan, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-93360-3_8
10. Li, C. M., Cui, T., Nie, R., Shan, Y., Wang, J., & Qian, X. (2017). A Decision model to predict the optimal size of the diversified management industry from the view of profit maximization and coordination of industrial scale. *Sustainability*, 9(4), 642.
<https://doi.org/10.3390/su9040642>
11. Li, C. M., Cui, T., Nie, R., & Yan, X. Y. (2017). Measurement of the Industrial Collaboration of the Diversified Coal Industry: China Coal Energy Company as an Example. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017.
<https://doi.org/10.1155/2017/9416279>
12. Safarzynska, K. (2017). The implications of industrial development for diversification of fuels. *Ecological Economics*, 137, 37-46.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.005>
13. Khorolskyi, A., Hrinov, V., Mamaikin, O., & Fomychova, L. (2020). Research into optimization model for balancing the technological flows at mining enterprises. *E3S Web Of Conferences*, 201, 01030.
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202020101030>
14. Хорольський, А. О., Гріньов, В. Г., & Мамайкін, О. Р. (2019). Інноваційні перспективи підземної експлуатації вугільних родовищ. *Вісник Житомирського державного технологічного університету*. Серія: Технічні науки, (1 (83)), 289-298.
[https://doi.org/10.26642/tn-2019-1\(83\)-289-298](https://doi.org/10.26642/tn-2019-1(83)-289-298)
15. Хорольський, А.О., Лапко, В.В., Саллі, В.С., & Мамайкін, О.Р. (2020). Вибір технології демінералізації стічних вод, як складової технологічних потоків вугільних шахт. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, 63, 61-73.
<https://doi.org/10.33271/crpnmu/63.061>
16. Сургай, Н.С. (1994). О некоторых принципах обеспечения высокоэффективного и надежного функционирования шахты. *Уголь Украины*, 3, 14-18
17. Moldabayev, S., Sultanbekova, Z., Adamchuk, A., & Sarybayev, N. (2019). Method of optimizing cyclic and continuous technology complexes location during finalization of mining deep ore open pit mines. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM*, 19(1.3), 407–414.
<https://doi.org/10.5593/sgem2019/1.3/S03.052>
18. Babets, Ye. K., Adamchuk, A. A., Shustov, O. O., Anisimov, O. O., & Dmytruk, O. O. (2020). Determining conditions of using draglines in single-tier internal dump formation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 6, 5-14.
<https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-6/005>

АННОТАЦІЯ

Цель. Предложить новый методологический подход к оптимизации параметров функционирования угольных шахт в условиях диверсификации.

Методика. Рассмотрены производственные потоки угольных шахт, а также производственные функции. Для решения задачи диверсификации производства было сопоставлено отношение между видами затраченных ресурсов, а также уровнем продукции в виде сырья. На основе производственной функции Кобба-Дугласа построена модель жизнеобеспечения деятельности угольной шахты, при этом учитывается возможность диверсификации деятельности.

Результаты. В работе впервые предложена модель оптимизации параметров горного производства в условиях диверсификации, которая демонстрирует соотношение производственных функций и ресурсов. С помощью разработанной модели можно проследить во времени эффективность использования производственных ресурсов, определить объемы производства, рассчитать основные параметры функционирования угольных шахт, исследовать за счет, каких ресурсов достигается увеличение производительности.

Научная новизна. Впервые рассмотрена возможность диверсификации деятельности горного производства за счет изменения производственных потоков. Приведены методические рекомендации по оценке производственной деятельности горнодобывающего комплекса. В работе впервые для повышения эффективности функционирования угольных шахт рассмотрено внутренний потенциал технологической схемы, а также проанализированы составляющие, которые его формируют. Это позволило сформировать управленческие решения, которые заключаются в определении объемов производства, а также соотношения между привлеченными ресурсами, необходимыми для обеспечения указанного объема производства, постоянному мониторингу использования ресурсов, за счет установки рационального соотношения между основными фондами, трудовыми, материальными ресурсами; а также установления взаимозаменяемости производительных потоков в совокупном балансе.

Практическая значимость. Для практического применения в работе предлагается методика определения рационального объема производства с позиции оптимизации производственной деятельности предприятия, а также соотношения производственных ресурсов для достижения заданного масштаба производства. Таким образом происходит повышение фондоотдачи при той же степени использования основных фондов, труда, материалов. Для полноценного и эффективного использования технологии были рассмотрены конкретный пример по определению оптимального способа производства продукции для угледобывающего предприятия.

Ключевые слова: *продуктивный поток, производственная функция, способ производства, производственная функция, эффективность, критерий.*

ABSTRACT

Purpose. To propose a new methodological approach to optimizing the parameters of the functioning of coal mines in the context of diversification.

The methods. The production flows of coal mines are considered, as well as production functions. To solve the problem of diversification of production, the relationship between the types of resources expended, as well as the level of production in the form of raw materials, was compared. Based on the production function of Cobb-Douglas, a model of life support for the operation of a coal mine is built, considering the possibility of diversifying the activity.

Findings. For the first time, the paper proposes a model for optimizing the parameters of mining in the context of diversification, which demonstrates the ratio of production functions and resources. With the help of the developed model, it is possible to trace in time the efficiency of the use of production resources, to determine the volume of production, to calculate the main parameters of the functioning of coal mines, to study at the expense of which resources the increase in productivity is achieved.

The originality. For the first time, the possibility of diversifying mining activities by changing production flows is considered. Methodological recommendations for assessing the production activity of the mining complex are given. In this work, for the first time, to improve the efficiency of coal

mines functioning, the internal potential of the technological scheme is considered, and the components that form it are analyzed. This made it possible to form management decisions, which consist in determining the volume of production, as well as the ratio between the attracted resources necessary to ensure the specified volume of production, constant monitoring of the use of resources, by establishing a rational ratio between fixed assets, labor, material resources; as well as establishing the interchangeability of productive flows in the aggregate balance sheet.

Practical implementation. For practical application, the paper proposes a method for determining the rational volume of production from the standpoint of optimizing the production activities of an enterprise, as well as the ratio of production resources to achieve a given scale of production. Thus, there is an increase in capital productivity with the same degree of use of fixed assets, labor, materials. For the full and effective use of the technology, a specific example was considered to determine the optimal method of manufacturing products for a coal mining enterprise.

Keywords: *productive flow, production function, method of production, production function, efficiency, criterion.*