

ПІДПРИЄМНИЦТВО, МЕНЕДЖМЕНТ, МАРКЕТИНГ

DOI : 10.33274/2079-4819-2020-72-1-9-20

JEL : D24

УДК 338.32.053.4

Кравцов О. О.,
канд. екон. наук

Донецький національний університет економіки і торгівлі
імені Михайла Туган-Барановського,
м. Кривий Ріг, Україна,
e-mail: kravtsov_oo@donnuet.edu.ua

СТРАТЕГІЧНЕ ПЛАНУВАННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕМПІВ ВІДПРАЦЮВАННЯ ЗАПАСІВ ДОБУВНИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ

UDC 338.32.053.4

Kravtsov A. A.,
PhD in Economics

Donetsk National University of Economics and Trade
named after Mykhailo Tugan-Baranovsky,
Kryvyi Rih, Ukraine,
e-mail: kravtsov_oo@donnuet.edu.ua

STRATEGIC PLANNING OF THE OPTIMAL RATE OF RECOURCES EXTRACTION BY MINING ENTERPRISES

***Мета** — розроблення методу оптимізації темпів відпрацювання запасів, який може бути застосований у стратегічному плануванні на добувних підприємствах.*

***Методи.** Для досягнення поставленої мети використані загальнонаукові методи абстрактно-логічного аналізу, індукції та дедукції, за допомогою яких виявлені загальні ознаки і відмінності в наукових підходах до оптимізації виробничої потужності підприємства. Економіко-математичне моделювання та методи дослідження операцій застосовувалися для опису виробничого процесу на добувному підприємстві.*

***Результати.** Управління добувними підприємствами в ринкових умовах потребує стратегічних рішень, пов'язаних з визначенням оптимальної виробничої потужності і відповідного терміну відпрацювання запасів. Обґрунтування цих показників необхідно як на стадії проектування нових, так і під час роботи діючих підприємств. Питання оптимізації темпів відпрацювання запасів остаточно не вирішене і вимагає пошуку нових наукових підходів.*

Управління виробництвом на добувному підприємстві в довгостроковій перспективі ускладнюється трьома групами чинників, які необхідно враховувати під час обрання шляхів його оптимізації. По-перше, воно відбувається в умовах невизначеності вихідної інформації щодо запасів, по-друге, істотні умови виробничо-господарської діяльності важко прогнозувати на тривалий період з високою вірогідністю, по-третє, існує конкуренція цілей, яка породжує необхідність багатокритеріального вибору. Внаслідок дії перелічених чинників стратегічні рішення щодо виробничої потужності добувного підприємства необхідно постійно коригувати з урахуванням залишкової величини запасів, гірничо-геологічних та техніко-економічних умов їхнього видобутку. При цьому оптимізація повинна охоплювати як поточний обсяг видобутку, так і перспективний термін відпрацювання запасів.

У статті запропоновано методіку визначення оптимального обсягу виробництва добувного підприємства за критерієм максимального дисконтованого фінансового результату. Наукова новизна даної методіки полягає в одночасній оптимізації виробничої по-

© О. О. Кравцов, 2020

тужності та терміну відпрацювання запасів. Апробація методики на прикладі шахти «Краснолиманська» довела можливість її практичного застосування за стратегічного планування на добувному підприємстві.

Ключові слова: термін відпрацювання запасів, виробнича потужність, стратегічне планування, оптимізація, багатокроковий процес управління, цільова функція, критерій оптимальності

Постановка проблеми. У загальному вигляді розрахунковий термін відпрацювання запасів добувним підприємством T визначається у роках за формулою:

$$T = \frac{3}{BP}, \quad (1)$$

де 3 — експлуатаційні запаси корисних копалин, тис. т; BP — виробнича потужність підприємства, тис. т у рік.

У виразі (1) величини T і BP по-різному характеризують швидкість або темп відпрацювання запасів. Вони взаємопов'язані і за-

лежать як від величини самих запасів, так і від умов їхнього видобутку. Під час проектування нових добувних підприємств термін відпрацювання запасів встановлюється на основі декларативних рекомендацій. Так, згідно з «Нормами технологічного проектування рудників кольорової металургії з підземним способом розробки» термін існування рудника (відпрацювання запасів) рекомендується обирати залежно від його виробничої потужності, умов будівництва та експлуатації (табл. 1).

Таблиця 1

Термін існування рудника, роки [1]

Потужність рудника, тис. т у рік	Умови будівництва та експлуатації		
	Відносно легкі	Середні	Важкі
100	10–11	12–13	14–16
200	12–13	14–17	18–20
300	14–15	17–20	21–23
500	16–18	20–23	24–26
750	18–20	22–25	27–30
1000	20–22	24–28	30–33
Понад 1000	22–23 і більше	28–32 і більше	34–40 і більше

У п. 35 «Методичних рекомендацій з техніко-економічного обґрунтування кондицій для підрахунку запасів родовищ твердих корисних копалин» вказано: «При визначенні виробничої потужності вугле- (сланце-) видобувного підприємства і тривалості періоду розробки запасів слід орієнтуватися на максимальну продуктивність підприємств, виходячи з реальних гірничо-геологічних умов. У тих випадках, коли є обмеження комерційного характеру (обмежена ринкова потреба в даній сировині, обмежена потужність переробного виробництва, дефіцит енергії, транспорту, водних і матеріальних ресурсів, природоохоронні фактори), відповідно обмежується і продуктивність підприємства» [2].

Для обґрунтування терміну відпрацювання запасів на практиці також використовують емпіричні формули Тейлора, який у

1977 р. проаналізував багато реальних проектів добувних підприємств із різними гірничо-геологічними умовами, для яких запаси родовищ були добре відомі. Він виявив, що продуктивність рудника пропорційна запасам у степені $\frac{1}{4}$. Тому для визначення терміну існування рудника використовують формули [2]:

$$T = 0,24\sqrt[4]{3}, \quad (2)$$

де 3 — експлуатаційні запаси корисних копалин, т; або

$$T = 6,54\sqrt[4]{3}, \quad (3)$$

де 3 — експлуатаційні запаси корисних копалин, млн т.

Наведені приклади визначення терміну існування добувного підприємства засновані на досвіді та не мають прямого відно-

шення до оптимізації темпів відпрацювання запасів. Разом із цим, управління добувними підприємствами в ринкових умовах базується на стратегічних рішеннях, які пов'язані, насамперед, з визначенням оптимальної виробничої потужності і відповідного терміну відпрацювання запасів. Обґрунтування цих показників необхідно як на стадії проектування нових, так і під час роботи діючих підприємств. Питання оптимізації темпів відпрацювання запасів остаточно не вирішене і потребує пошуку нових наукових підходів. Таким чином, подальші дослідження в цьому напрямку є актуальними для науки і практики.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Основні методичні підходи до управління виробничою потужністю діючих і тих, що проєктуються, добувних підприємств розроблені видатними представниками аналітичної школи в гірничій справі М. І. Агошковим, Б. І. Бокієм, Л. Д. Шевяковим. Економікоматематичному моделюванню й оптимізації виробничих процесів у добувних галузях промисловості присвячені численні наукові роботи. Зокрема, у вугільній галузі найбільш вагомими науковими результатами отримали П. В. Авдулов, О. І. Амоша, О. С. Астахов, А. С. Бурчаков, Б. М. Воробйов, Е. І. Гойзман, В. М. Голомолзін, Ф. І. Євдокимов, М. П. Зборщик, П. З. Звягін, М. І. Іванов, А. М. Курносов, А. С. Малкін, О. М. Пяткин, К. Ф. Сапицький, К. Н. Татомир, В. М. Ткаченко, М. І. Устинов, Ю. О. Чернегов, В. М. Шрамко, В. І. Саллі. Нові підходи до визначення оптимальної виробничої потужності запропоновані в працях [3–8].

Роботи [3, 4] присвячені концептуальним основам оптимізації виробництва. О. Янковий і співавтори на основі мікроекономічної теорії обґрунтували методику визначення оптимальної фондоозброєності підприємства в рамках двофакторних виробничих функцій [3]. За допомогою регресійного аналізу вони отримали виробничу функцію для ТОВ «Житомиртепломаш» та визначили з її допомогою оптимальну фондоозброєність. Сучасний апарат теорії виробничих функцій дозволяє оптимізувати параметри виробництва, але отримання такої функції

для добувного підприємства викликає суттєві методичні складності. Добувні підприємства здійснюють свою виробничу діяльність у мінливих гірничо-геологічних умовах, які суттєво впливають на економічні показники. Норми технологічного заміщення чинників виробництва, які є параметрами виробничої функції, на добувних підприємствах не залишаються незмінними. З відпрацюванням запасів вони теж змінюються, що відображається у збільшенні собівартості виробництва. Однак достовірно прогнозувати такі зміни на конкретному підприємстві не виявляється можливим як через відсутність достатнього обсягу порівняних ретроспективних даних, так і через обмеження в передбаченні майбутніх гірничо-геологічних і техніко-економічних умов виробництва. Тому, на думку автора, виробничі функції придатні для оптимізації темпів відпрацювання запасів добувними підприємствами тільки теоретично. Навіть з урахуванням можливостей сучасних інформаційних систем, які розглянуті в роботі [4], вищеописані методичні складності найближчим часом не будуть подолані.

У працях [5, 6] запропоновані окремі моделі, які дозволяють оптимізувати виробничу потужність підприємства. О. С. Максимова і співавтори вважають, що оптимальна потужність коксохімічного виробництва ПАТ «АМКР» може бути розрахована за регресійною моделлю залежності витрат електроенергії від обсягу випуску валового коксу в умовах технологічних та маркетингових обмежень [5]. При цьому інші елементи витрат і умови виробництва авторами не враховуються, що суттєво обмежує галузь застосування запропонованої моделі окремим підприємством, за даними якого вона отримана. О. А. Ткаченко обґрунтував застосування моделі лінійного програмування для визначення виробничої потужності гірничозбагачувальних підприємств та визначив сукупність обмежень, які при цьому існують [6]. Однак за такого підходу не враховується динамічний характер зміни умов виробництва, який властивий добувним підприємствам. Моделі лінійного програмування можуть застосову-

ватися як допоміжний інструмент оптимізації їхньої виробничої потужності у певних умовах, які для цього мають бути окремо визначені. Будь-які регресійні моделі для добувного підприємства вимагають перманентного уточнення, оскільки чинники формування собівартості видобутку постійно змінюються в міру відпрацювання запасів.

М. Б. Качеянц та І. О. Алферова пропонують взагалі змінити підхід до стратегічного управління добувним підприємством [7]. Замість критерію максимізації прибутку під час прийняття стратегічних рішень більш доцільно використовувати критерій максимізації вартості добувного підприємства, так званий вартісно-орієнтований підхід, який, на їх погляд, має переваги. Спираючись на світовий досвід, вони обґрунтували фінансові чинники вартості і систему показників, що їх вимірюють, з урахуванням особливостей добувного виробництва. Головним цільовим показником при цьому виступає економічна додана вартість EVA (Economic Value Added). Застосування вартісно-орієнтованого підходу, про який ідеться в джерелі [7], стосовно добувних підприємств завжди ускладнюється питанням оцінки вартості запасів. Запаси, безумовно, виступають одним із ключових ресурсів і складовою цінності добувного підприємства. Достовірність оцінки вартості зумовлюється точністю визначення їх обсягу і якості. При цьому залишкова величина запасів у будь-який час залежить від темпів їхнього відпрацювання, поточних та прогнозних кондицій, тому для отримання всіх переваг вартісно-орієнтованого підходу необхідно попередньо вирішити завдання оптимізації виробничої потужності добувного підприємства та терміну відпрацювання запасів.

Російськими науковцями О. О. Пешковим, Н. А. Мацко, Н. А. Кононихіним та О. М. Моревим запропонований динамічний підхід до оцінки запасів під час стратегічного планування [8]. Щодо стратегії відпрацювання запасів добувним підприємством вони зазначають: «Незважаючи на досягнення в галузі розвитку методів оцінки запасів і обґрунтування основних проектних рішень, залишаються невирішеними про-

блеми обліку динаміки внутрішніх (стан запасів) і зовнішніх (кон'юнктура сировинних ринків і технічний прогрес) умов реалізації проектів» [8]. Ними розроблений метод оцінювання доступності запасів, який дозволяє оцінювати їхній стан у динаміці та обґрунтовує стратегію розроблення. Так, стан конкретних запасів, їх якість, особливості залягання і розташування враховуються у показнику розрахункової ціни. Розрахункова ціна характеризує ту мінімальну ціну товарного продукту, за якої компенсуються всі майбутні витрати, пов'язані з його видобутком і реалізацією. Її величина отримується з рівняння:

$$\frac{P_t C_{p_{t,\tau}} - C_t - H_t}{P_t (1+i)^{t-\tau}} - \sum_{t=\tau}^T \frac{K_t}{(1+i)^{t-\tau} \sum_{t=\tau}^T P_t} = 0, \quad (4)$$

де T — термін відпрацювання запасів родовища, роки; t — поточний рік освоєння; τ — рік оцінювання доступності запасів, $\tau \leq t$; P_t — обсяг видобутку в t -ому році освоєння запасів родовища, т; $C_{p_{t,\tau}}$ — розрахункова ціна 1 т запасів, що видобуваються, на момент оцінювання τ (знаходиться шляхом розв'язання рівняння (4)), грош. од./т; C_t , H_t — відповідно поточні витрати та сума податків, що сплачуються в t -ому році, грош. од.; i — ставка дисконтування (береться 5 %), частки од.; K_t — капітальні вкладення в t -ому році, грош. од.

Розрахункова ціна 1 т запасів $C_{p_{t,\tau}}$, отримана з рівняння (4), порівнюється з фактичною ринковою ціною відповідного товарного продукту. На основі порівняння робиться висновок щодо темпів подальшого відпрацювання запасів P_t або капітальних вкладень K_t .

Дослідження доступності запасів, які автори [8] виконали для окремих родовищ кольорових і чорних металів Російської Федерації, показали, що будівництво гірничих підприємств на базі багатьох родовищ, що продовжують експлуатуватися в даний час, було економічно недоцільно.

Метод визначення розрахункової ціни є динамічним, тобто коригування стратегії з його допомогою відбуваються постійно в разі зміни істотних умов господарювання. Його недоліком є неможливість оптимізува-

ти термін відпрацювання запасів T , який у моделі (4) приймається як константа.

З аналізу окремих публікацій за темою оптимізації виробничої потужності, які вийшли останнім часом, видно, що для добувального підприємства оптимальні стратегічні рішення щодо виробничої потужності необхідно постійно коригувати з урахуванням залишкової величини запасів, гірничо-геологічних та техніко-економічних умов їхнього видобутку. При цьому оптимізація повинна охоплювати як поточний обсяг видобутку, так і перспективний термін відпрацювання запасів. Розроблення методики такої подвійної оптимізації виступає перспективним напрямом досліджень за цією темою.

Мета статті — розроблення методу оптимізації темпів відпрацювання запасів, який може бути застосований у стратегічному плануванні на добувних підприємствах.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основне завдання стратегічного планування на підприємствах добувних галузей полягає у визначенні оптимальної виробничої потужності $ВП_{opt}$, яка забезпечить їх видобуток за розрахунковий термін (див. формулу (1)). Інший підхід до оптимізації полягає у встановленні оптимального терміну відпрацювання запасів T_{opt} , на основі якого і величини запасів вираховується оптимальна потужність.

За будь-якого підходу існують суттєві методичні складнощі у вирішенні цього завдання. По-перше, вони зумовлені високим рівнем невизначеності вихідної інформації щодо запасів, по-друге, важкістю вірогідного довгострокового прогнозування істотних умов виробничо-господарської діяльності, по-третє, конкуренцією цілей, яка викликає необхідність багатокритеріального вибору.

Інформація про запаси корисних копалин певного родовища ніколи не може бути остаточно достовірною, геологічні умови їх залягання економічно не доцільно і технічно неможливо цілком вивчити до початку їх розроблення. З цієї причини запаси класифікуються за ступенем їх геологічної вивченості. Так, в Україні відповідно до «Класифікації запасів і ресурсів корисних копалин держав-

ного фонду надр» (затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 05.05.1997 р. №432) за ступенем техніко-економічного вивчення запаси і ресурси корисних копалин поділяються на три групи. До першої групи належать запаси, що мають детальну геолого-економічну оцінку, до третьої групи ті, щодо яких проведено початкову геолого-економічну оцінку. Але навіть детальна геолого-економічна оцінка не може гарантувати, що визначена на її основі виробнича потужність буде стабільно освоєна протягом тривалого періоду. Завжди існують чинники природного і техногенного характеру, які дестабілізують роботу добувального підприємства, тому фактичний рівень освоєння виробничої потужності коливається в широких межах. До того ж з часом добувне підприємство переходить до відпрацювання запасів, які залягають у більш складних гірничо-геологічних умовах, що об'єктивно знижує його виробничу потужність.

На господарську діяльність добувального підприємства впливає зовнішнє економічне і маркетингове середовище, у якому формуються попит на його продукцію і економічні умови господарювання. Довгострокове прогнозування зовнішнього середовища на цей час здійснюється на основі математичних моделей, у яких істотні умови господарської діяльності відображаються в множині техніко-економічних, фінансових, маркетингових та інших показників [4]. На основі довгострокових прогнозів динаміки первинних показників з математичних моделей розраховуються інші вторинні показники. При цьому, як правило, формується кілька сценаріїв розвитку подій. Різні довгострокові прогнози передбачають відповідні їм варіанти оптимальних темпів відпрацювання запасів.

Для будь-якого підприємства характерний конфлікт між цілями технічної та економічної ефективності виробництва. Технічна ефективність досягається за максимального використання технічних можливостей обладнання і технології, які забезпечують найвищий рівень освоєння виробничої потужності. Економічна ефективність вимагає досягнення максимального фінансового

результату, навіть за наявності виробничих резервів. Для добувного підприємства характерний також конфлікт між його місією і вимогами економічної ефективності виробництва. Добувне підприємство створюється для відпрацювання визначених запасів корисних копалин. У цьому полягає його місія. Але в певних умовах господарювання цілковите відпрацювання запасів стає економічно неефективним. З одного боку, ці умови не залишаються постійними. З часом зростання попиту на корисні копалини, яке відображається в підвищенні ціни на них, здатне зробити їх видобуток економічно ефективним. З іншого боку, зупинка видобутку для деяких підприємств може або виявитися технічно неможливою, або призведе до втрати суттєвої частини капіталу, інвестованого у

створення виробничої потужності. Методика обґрунтування відмови від подальшої експлуатації родовища діючим підприємством, на думку автора, не належить безпосередньо до питань стратегічного планування, оскільки таке управлінське рішення змінює місію добувного підприємства. Тому в даній статті це питання не розглядатиметься.

Як впливає з аналізу поглядів на сутність та зміст стратегічного планування на добувних підприємствах, який зроблений, зокрема, в публікації [7], розроблення та коригування стратегічного плану являє собою багатокроковий процес оптимізації. Формальну модель такого процесу в загальному вигляді подано на рис. 1. На початку періоду (момент часу $t = t_0$) виробничо-економічна система знаходиться в стані S_0 .

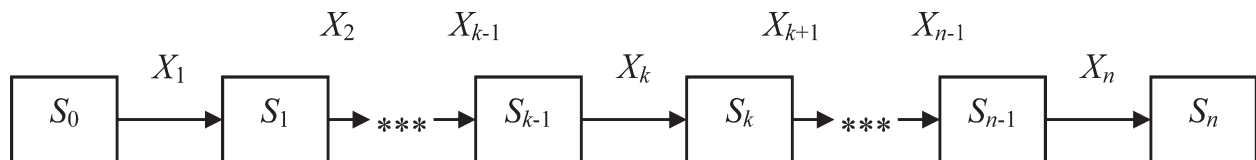


Рис. 1. Схема багатокрокового процесу управління (складено автором)

За допомогою керуючих впливів X ,

$$X = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n),$$

вона повинна бути переведена за n кроків зі стану S_0 у стан S_n . При цьому задана деяка цільова функція $Z = f(S_0, X)$, що характеризує ефективність обраного управління X . Потрібно знайти такий вектор X , який би доставляв цільовій функції Z максимум (мінімум), задовольняючи при цьому накладеним обмеженням.

У дослідженні операцій даний клас задач розв'язується, як правило, методами динамічного програмування. У моделях динамічного програмування щодо багатокрокового процесу управління робиться низка припущень:

1. Стан S_k системи після k -го кроку залежить тільки від попереднього стану S_{k-1} і управління на k -му кроці X_k і не залежить від попередніх станів і управлінь (вимога «відсутності післядії»). Рівняння, яке пов'язує між собою наступний та попередній стани виробничо-економічної системи, має такий вигляд

$$S_k = j_k(S_{k-1}, X_k); \quad k = 1, 2, 3, \dots, n; \quad (5)$$

де j_k — деяка відома функція.

2. Вибір управління на k -му кроці не впливає на ефективність управління на попередніх кроках (вимога «відсутності зворотного зв'язку»).

3. Цільова функція Z є адитивною, тобто може бути представлена сумою цільових функцій кожного кроку.

4. На кожному кроці X_k залежить від кінцевого числа змінних, а стан S_k — від кінцевого числа параметрів. Передбачається, що множини можливих управлінь X_k і станів S_k обмежені.

Для застосування загальної моделі (див. рис. 1) будемо розглядати об'єкт управління, добувне підприємство як виробничо-економічну систему, що умовно виробляє один вид економічних благ. Припустимо, що добувне підприємство працює в сталому режимі після освоєння проєктних показників. У початковий момент t_0 воно має деякий обсяг розкритих і підготовлених до виймання запасів Z , $S_0 = Z$. Протягом терміну відпрацювання стан системи S_t характеризується

залишковою величиною запасів на момент t $Z_{\text{зал}_t}$. Управління полягає у виборі обсягу видобутку за період $t - V_{\text{вир}_t}$. Видобуток $V_{\text{вир}_t}$ розглядається як єдина керована змінна — поточний виробничий план, який пов'язаний з виробничою потужністю підприємства ВП нерівністю $V_{\text{вир}_t} \leq BП$. Рівняння станів (5) для добувного підприємства має вигляд

$$S_{t+1} = S_t - V_{\text{вир}_t}$$

Цільова функція під час багатокрокового процесу управління задається сумою фінансових результатів підприємства за N кроків. У випадку стратегічного планування N — це тривалість періоду, на які розробляється стратегічний план:

$$Z = \sum_{t=1}^N \Pi_t d_t \rightarrow \max, \quad (6)$$

де Π_t — фінансовий результат за t -й рік, грош. од.; d_t — коефіцієнт дисконтування (фінансові результати за різні роки зводяться до зіставлюваного виду шляхом дисконтування), частки од.; N — тривалість періоду планування, роки.

Фінансовий результат за t -й рік Π_t отримаємо за формулою:

$$\Pi_t = BД_t(V_{\text{вир}}) - BB_t(V_{\text{вир}}), \quad (7)$$

де $BД_t(V_{\text{вир}})$ — залежність валового доходу підприємства від реалізації продукції в обсязі $V_{\text{вир}}$ у t -му році, грош. од.; $BB_t(V_{\text{вир}})$ — залежність валових витрат на виробництво товарної продукції в обсязі $V_{\text{вир}}$ за той же період, грош. од.; $V_{\text{вир}}$ — обсяг виробництва і продажу продукції, од.

У формулі (7) припускається, що валовий дохід і валові витрати підприємства залежать від однієї і тієї самої змінної $V_{\text{вир}}$. Це можливо, наприклад, коли весь обсяг продукції, що виробляється підприємством, або визначений відсоток від нього йдуть на реалізацію.

Значення коефіцієнта дисконтування залежить від того, до якого моменту часу приводяться фінансові результати по роках Π_t . Якщо за момент приведення обраний початковий стан S_0 , то

$$d_t = (1 + r)^{-t}, \quad (8)$$

якщо кінцевий стан S_n , то

$$d_t = (1 + r)^{N-t}. \quad (9)$$

Якщо коефіцієнт дисконтування розраховувати згідно з виразом (9), то цільова функція Z (6) перетвориться у наступний вигляд:

$$Z^* = \sum_{t=1}^N [BД_t(V_{\text{вир}}) - BB_t(V_{\text{вир}})] (1 + r)^{N-t}. \quad (10)$$

Максимум суми у виразі (6) досягається максимізацією кожного з доданків: підприємство має виробляти оптимальну кількість продукції $V_{\text{онт}_t}$ за якої його фінансовий результат за кожний рік t є найкращим. Оптимізація стратегічного плану відбувається на кожному кроці шляхом визначення оптимального короткострокового обсягу виробництва $V_{\text{онт}_t}$. Цілком можливо, що на будь-якому кроці $V_{\text{онт}_t}$ може дорівнювати нулю, якщо при цьому фінансовий результат буде найкращим.

Для добувних підприємств завдання максимізації цільової функції Z (6) стає більш складним, якщо генеральною метою управління вважати досягнення стану S_n , тобто цілковите відпрацювання розкритих і підготовлених до виймання запасів в оптимальному режимі. У цьому випадку термін відпрацювання і відповідна йому величина N невідомі, оскільки залежать від поточного обсягу виробництва $V_{\text{вир}}$ на кожному кроці багатокрокового процесу управління і запасів Z , що підлягають видобутку. Обсяг виробництва $V_{\text{вир}}$ для добувного підприємства не може бути нульовим з технічних міркувань, оскільки припинення видобутку вимагає здійснення комплексу заходів з консервації запасів та потужностей. Для того, щоб знайти оптимальне значення $V_{\text{вир}}$ на віддалених у часі кроках багатокрокового процесу управління, необхідне довгострокове прогнозування великої кількості параметрів, що характеризують гірничо-геологічні і техніко-економічні умови виробництва в далекому майбутньому. За будь-якого методу таке довгострокове прогнозування в наш мінливий час не буде вірогідним.

З цієї причини доцільно реалізувати ітераційну процедуру оптимізації коротко-

строкових планів, які є складовими стратегічного плану, з урахуванням необхідності досягнення стану S_n . Ітераційна процедура не вимагає довгострокового прогнозування, оскільки управлінські рішення коригуються, виходячи з наявної поточної інформації, яка є більш вірогідною за прогнозу. Сутність коригування полягає у визначенні оптимальних значень $V_{вир}$ та N на кожному кроці багатокрокового процесу управління, тобто щорічно під час поточного річного планування. Внаслідок коригування максимізується кожний з доданків, що входять у суми (6) та (10), одночасно з їх кількістю, і таким чином оптимізується цільова функція процесу управління.

Для добувного підприємства сума Z^* (10) складається з доданків, що підлягають максимізації шляхом визначення параметру $V_{вир}$:

$$Z_t^* = [BД_t(V_{вир_t}) - BB_t(V_{вир_t})] \cdot (1+r)^{T_{зал_t}} \rightarrow \max, \quad (11)$$

де $T_{зал_t}$ — термін відпрацювання запасів, що залишилися на момент t , роки.

Важливим для пошуку рішення є припущення щодо форми зв'язку параметрів $V_{вир}$ і $T_{зал}$, тому що воно зумовлює не тільки управління на t -му кроці, але й майбутній стан виробничо-економічної системи, згідно з рівнянням станів $S_{t+1} = S_t - V_{вир_t}$. Оскільки раніше прийнято, що підприємство працює в стабільному режимі, припустимо, що $T_{зал}$ і $V_{вир}$ зв'язані залежністю (1), тобто:

$$T_{зал_t} = \frac{З_{зал_t}}{V_{вир_t}}, \quad (12)$$

Обсяг виробництва $V_{вир_t}$ у виразі (12) має такий фізичний зміст: це середнє значення ефективної потужності підприємства (середній рівень виробництва), який дозволить доробити залишкові запаси $З_{зал_t}$ за $T_{зал_t}$ років, якщо в наступних роках обсяг виробництва теж буде дорівнювати $V_{вир}$.

Проаналізуємо властивості функції $Z^*(V_{вир})$ (індекс t опущено) з урахуванням зробленого припущення (12). За своїм економічним змістом функції $BД(V_{вир})$ та BB

($V_{вир}$) зростають у зоні свого визначення, але з різною швидкістю. Їх різниця,

$$[BД(V_{вир}) - BB(V_{вир})],$$

яка є першим множником у добутку (11), зростає або спадає залежно від інтервалу значень змінної $V_{вир}$ і аналітичного виду функцій $BД(V_{вир})$ та $BB(V_{вир})$. У разі збільшення обсягу виробництва і реалізації зменшується термін відпрацювання запасів $T_{зал_t}$, що веде до зменшення другого множника, $(1+r)^{T_{зал_t}}$, у добутку (11). Функція $Z^*(V_{вир})$, таким чином, може мати екстремуми, які відповідають нульовим значенням першої похідної. Коли перша похідна функції $Z^*(V_{вир})$ має нульове значення, виконується умова, виражена рівнянням:

$$\text{ГрД}(V_{вир}) - \text{ГрВ}(V_{вир}) = \frac{З_{зал}}{V_{вир}^2} \ln(1+r) [BД(V_{вир}) - BB(V_{вир})], \quad (13)$$

де $\text{ГрД}(V_{вир})$, $\text{ГрВ}(V_{вир})$ — перші похідні від функцій $BД(V_{вир})$ та $BB(V_{вир})$, відповідно функції граничного доходу і граничних витрат від обсягу виробництва і реалізації продукції $V_{вир}$, грош. од./т.

У більшості практичних випадків добувне підприємство реалізує продукцію за фіксованою ціною $Ц$, на яку воно не має впливу, тобто

$$BД(V_{вир}) = Ц * V_{вир},$$

а залежність валових витрат від обсягу виробництва є лінійною:

$$BB(V_{вир}) = 3мВср * V_{вир} + ПоВ,$$

де $3мВср$ — середні змінні витрати на 1 т виробу, грош. од./т, $ПоВ$ — постійні витрати підприємства за рік, грош. од.

За такої форми зв'язку

$$\text{ГрД}(V_{вир}) = Ц;$$

$$\text{ГрВ}(V_{вир}) = 3мВср;$$

$$\begin{aligned} \text{ГрД}(V_{вир}) - \text{ГрВ}(V_{вир}) &= \\ &= Ц - 3мВср = Дм, \end{aligned}$$

де $Дм$ — маржинальний дохід від реалізації 1 т товарної продукції добувного підприємства, грош. од./т. Введемо позначення:

$$\alpha = З_{зал} * \ln(1+r).$$

Вираз (13) перетворюється на таке квадратне рівняння:

$$D_m V_{вир}^2 - \alpha D_m V_{вир} + \alpha P_o B = 0. \quad (14)$$

Його корені визначаються за формулою:

$$V_{вир1,2} = \frac{\alpha D_m \pm \sqrt{\alpha^2 D_m^2 - 4\alpha D_m P_o B}}{2 D_m}.$$

Зважаючи на те, що відношення $(P_o B / D_m)$ відповідає беззбитковому обсягу виробництва T_b , т, отримаємо остаточну формулу для шуканого $V_{вир}$:

$$V_{вир1,2} = \frac{\alpha}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\alpha}{2}\right)^2 - \alpha T_b}. \quad (15)$$

Слід зауважити, що значення $V_{вир1,2}$, у яких перша похідна функції $Z^*(V_{вир})$ дорівнює нулю, можуть бути визначені з формули (15) за умови, якщо $\alpha \geq 4T_b$ або

$$Z_{зал} \geq 4T_b / \ln(1+r).$$

Якщо $\alpha < 4T_b$, то функція $Z^*(V_{вир})$ не має екстремумів. Вона зростає в зоні свого визначення разом з функціями $BД(V_{вир})$ та $ВВ(V_{вир})$.

Формула (15) була апробована для умов шахти «Краснолиманська» (повне найменування: державне підприємство «Вугільна компанія «Краснолиманська»). Шахта «Краснолиманська» введена в експлуатацію в 1958 р. з проектною потужністю 1 200 тис. т вугілля на рік. у ході реконструкції і модернізації основного виробництва виробничу потужність було збільшено. Обсяг видобутку протягом кількох останніх років сягав понад 3 млн т вугілля на рік. Шахта «Краснолиманська» є одним з небагатьох вугільних підприємств України, яке працює рентабельно і має балансові запаси 332,9 млн т (промислові запаси 265 млн т), яких вистачить на понад 100 років роботи в поточному режимі.

З аналізу звітних даних підприємства було отримано залежність валових витрат, млн грн у рік, від річного обсягу вуглевидобутку у млн т: $ВВ(V_{вир}) = 337,2V_{вир} + 635,6$. Планова ціна реалізації вугілля на початок 2020 р. становила 780 грн/т без ПДВ. Таким чином, маржинальний дохід від реалізації 1 т вугілля дорівнює:

$$D_m = 780 - 337,2 = 442,8 \text{ грн/т.}$$

Беззбитковий обсяг виробництва $T_b = 635,6 / 442,8 = 1,4354$ млн. т у рік. Для застосування формули (15) найменший рівень залишкових запасів, для яких можна визначити $V_{вир}$, становить:

$$Z_{зал} = 4 * 1,4354 / \ln(1+0,05) = 117,7 \text{ млн т.}$$

Подальші розрахунки виконувались для $Z_{зал} = 120$ млн т;

$$\alpha = 120 \ln(1+0,05) = 5,85.$$

Із формули (15) отримуємо два значення: $V_{вир1} = 2,52$ млн. т у рік; $V_{вир2} = 3,334$ млн т у рік. Графічний вигляд функції $Z^*(V_{вир})$, визначеної за формулою (11), подано на рис. 2. З графіка зрозуміло, що точки $V_{вир1}$ та $V_{вир2}$ відповідають локальним екстремумам. У точці $V_{вир1} = 2,52$ млн. т у рік функція $Z^*(V_{вир})$ досягає максимуму, потім зменшується в інтервалі $[V_{вир1}, V_{вир2}]$ до мінімуму в точці $V_{вир2} = 3,334$ млн. т у рік, після чого безперервно зростає. У разі збільшення річного обсягу видобутку в інтервалі $V_{вир} \in [V_{вир1}; V_{вир2}]$ дисконтований фінансовий результат добувального підприємства зменшується через скорочення терміну відпрацювання запасів. Якщо $V_{вир} > V_{вир2}$, то зростання фінансового результату перекидає скорочення терміну відпрацювання запасів, і функція $Z^*(V_{вир})$ теж зростає.

Таким чином, під час визначення оптимальних темпів відпрацювання запасів на шахті «Краснолиманська» слід обирати такий річний обсяг вуглевидобутку, за якого значення $Z^*(V_{вир})$ буде найбільшим. Це може бути, або $V_{вир} = V_{вир1} = 2,52$ млн т у рік, або $V_{вир} > V_{вир2} = 3,334$ млн т у рік, залежно від виробничої потужності, що визначена за принципом технологічної ефективності. На 2020–2024 рр. запланований обсяг видобутку по шахті становить 3,5 млн т у рік, при цьому $Z^*(3,5) = 4\,870$ млн грн. $Z^*(2,52) = 4\,903,3$ млн. грн., тобто $Z^*(3,5) < Z^*(2,52)$. Щоб досягти рівня $Z^*(2,52)$, шахта повинна видобувати щонайменше 4 млн т вугілля у рік, але це може вимагати додаткових інвестицій у розширення виробничої потужності.

Висновки. Стратегічне планування виробництва на добувних підприємствах може

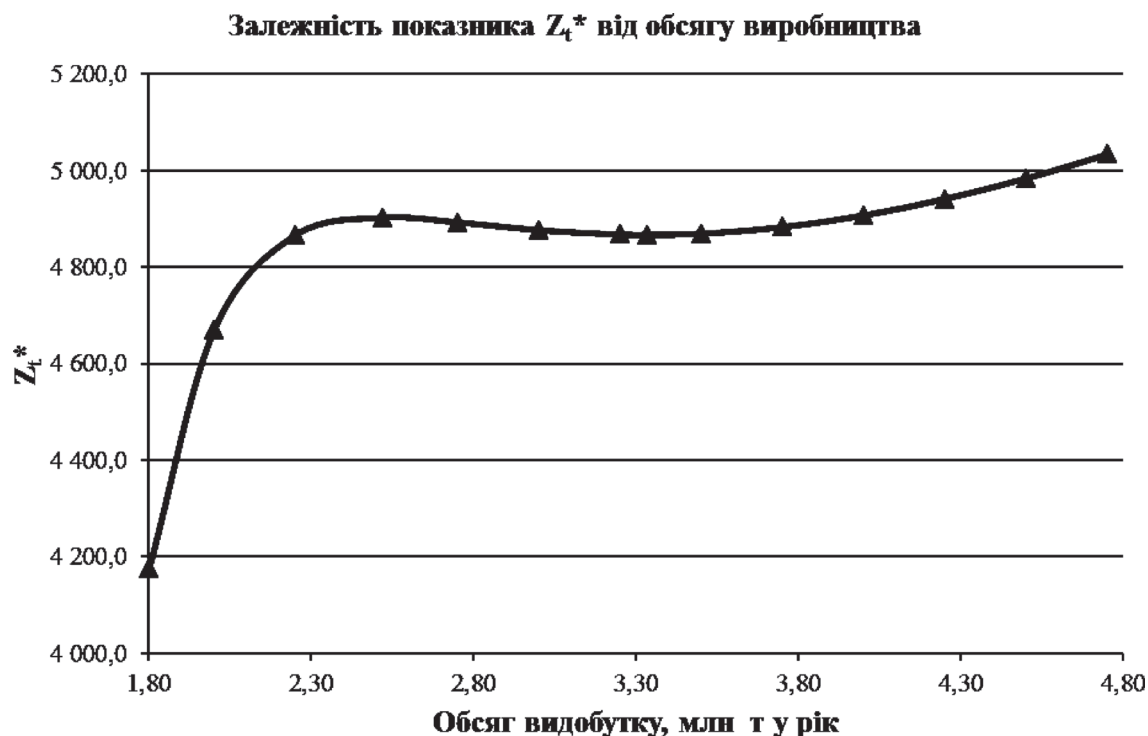


Рис. 2. Графік функції $Z^*(V_{\text{вир}})$ для умов шахти «Краснолиманська» (побудовано автором)

розглядатися як багатокроковий процес управління, за допомогою якого оптимізуються темпи відпрацювання запасів. Визначення оптимального обсягу видобутку повинно відбуватися щорічно під час поточного річного планування. На кожному кроці доцільно одночасно оптимізувати обсяг видобутку і термін відпрацювання запасів, що залишилися. У статті запропоновано методику такої оптимізації на основі цільової функції дискontованого фінансового результату, яку апробовано на прикладі шахти «Краснолиманська».

Список літератури

1. ВНТП 37-86. Нормы технологического проектирования рудников цветной металлургии с подземным способом разработки. Москва : Минцветмет СССР, 1986. 86 с. URL : <https://files.stroyinf.ru/Data1/46/46959/index.htm> (дата звернення 16.04.2020).
2. Методические рекомендации по технико-экономическому обоснованию кондиций для подсчета запасов твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы: утв. распоряжением Министерства природных ресурсов Российской Федерации от 05.06.2007 г. №37-р. Москва : МПР РФ, 2007. URL : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293756/4293756082.htm> (дата звернення 16.04.2020).

files.stroyinf.ru/Data2/1/4293756/4293756082.htm (дата звернення 16.04.2020).

3. Янковий О. Г., Гончаров Ю. В., Коваль В. В., Лосіцька Т. І. Оптимізація фондоозброєності на основі виробничих функцій в економічній моделі виробництва. *Науковий вісник Національного гірничого університету*. 2019. №4. С. 134–140. DOI: 10.29202/nvngu/2019-4/18.

4. Madykh A. A., Okhten O. O., Dasiv A. F. Analysis of the world experience of economic and mathematical modeling of smart enterprises. *Економіка промисловості*. 2017. № 4 (80). С. 19–46. DOI : 10.15407/econindustry2017.04.019.

5. Максимова О. С., Максимов С. В., Темченко Г. В. Оптимізація виробничої програми підприємств гірничо-металургійного комплексу. *Економічний аналіз: зб. наук. праць* / Тернопільський національний економічний університет; редкол.: В. А. Дерій (голов. ред.) та ін. — Тернопіль: Видавничо-поліграфічний центр Тернопільського національного економічного університету «Економічна думка», 2016. Том 23. № 2. С. 93–101.

6. Темченко О. А. Визначення раціональної виробничої потужності гірничозбагачувальних підприємств для посилення їх конкурентних позицій. *Науковий вісник*

Мукачівського державного університету. Серія: Економіка. 2015. Вип. 2 (4), част. 1. С. 128–135.

7. Качеянц М. Б., Алферова И. А. Концепция стоимостно-ориентированного управления на горном предприятии. ГИАБ. 2010. №11. С. 149–153. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-stoimostno-orientirovannogo-upravleniya-na-gornom-predpriyatii> (дата звернення: 17.04.2020).

8. Пешков А. А., Мацко Н. А., Кононыхин М. А., Морев А. Н. Современные подходы к обоснованию стратегий освоения минерально-сырьевых ресурсов. ГИАБ. 2009. №12. С. 275–297. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-obosnovaniyu-strategiy-osvoeniya-mineralno-syrievykh-resursov> (дата звернення: 16.04.2020).

References

1. Ministry of Non-Ferrous Metallurgy of USSR (1986). VNTF 37-86 *Normy tehnologicheskogo proektirovaniya rudnikov tsvetnoy metallurgii s podzemnym sposobom razrabotki* [Norms of technological design of non-ferrous metallurgy mines with underground mining]. Moscow, 86 p. Available at : <https://files.stroyinf.ru/Data1/46/46959/index.htm> (accessed 16.04.2020)

2. Ministry of Natural Resources of the Russian Federation (2007). *Metodicheskie rekomendatsii po tehniko-ekonomicheskomu obosnovaniyu konditsiy dlya podscheta zapasov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Ugli i goryuchie slantsy* [Guidelines for the feasibility study of standards for calculating the reserves of solid minerals. Coals and oil shale]. Moscow. Available at : <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293756/4293756082.htm> (accessed 16.04.2020).

3. Yankovyi, O. H., Honcharov, Yu. V., Koval V. V., Lositska, T. S. (2019). *Optimizatsiia fondoozbroienosti na osnovi vyrobnychok funktsii v ekonomichnii modeli vyrobnytva* [Optimization of the capital-labour ratio on the basis of production functions in the economic model of production]. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu* [Scientific bulletin of National Mining

University], no 4, pp. 134–140. DOI: 10.29202/nvngu/2019-4/18.

4. Madykh, A. A., Okhten, O. O., Dasiv, A. F. (2017). Analysis of the world experience of economic and mathematical modeling of smart enterprises. *Ekonomika promyslovosti* [Economy of Industry], no. 4 (80), pp. 19–46. DOI: 10.15407/econindustry2017.04.019.

5. Maksymova, O. S., Maksymov, S. V., Temchenko, H. V. (2016). *Optimizatsiia vyrobnychoi prohramy pidpriemstv hirnycho-metalurghiiinoho kompleksu* [Optimization of the production program of mining and metallurgical complex]. *Ekonomichniy analiz* [Economic analysis]. Ternopil, Ternopil National Economic University Publ., vol. 23, no. 2, pp. 93–101.

6. Temchenko, A. (2015). *Vyznachennia ratsionalnoi vyrobnychoi potuzhnosti hirnychozbahachuvalnykh pidpriemstv dlia posylennia yikh konkurentnykh pozytsii* [Determination of the rational production capacity of ore processing enterprises to enhance their competitive positions]. *Naukovyi Visnyk Mukachivskoho derzhavnoho universytetu. Seriya: Ekonomika* [Scientific Bulletin of Mukachevo State University. Series: Economics], vol. 2 (4), part 1, pp. 128–135.

7. Kacheyants, M. B., Alferova, I. A. (2010). *Kontseptsiya stoimostno-orientirovannogo upravleniya na gornom predpriyatii* [The cost policies management at mining enterprise]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 11, pp. 149–153. Available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-stoimostno-orientirovannogo-upravleniya-na-gornom-predpriyatii> (accessed 17.04.2020).

8. Peshkov, A. A., Macko, N. A., Kononihin, M. A., Morev, A. N. (2009). *Sovremennye podkhody k obosnovaniyu strategiy osvoeniya mineral'no-syr'evykh resursov* [The modern approaches to the justification of the strategies for the mineral and raw material resource developing]. *GIAB* [Mining informational and analytical bulletin], no. 12, pp. 275–279. Available at : <https://cyberleninka.ru/article/n/sovremennye-podhody-k-obosnovaniyu-strategiy-osvoeniya-mineralno-syrievykh-resursov> (accessed 16.04.2020).

Objective. *The objective of the article is to develop a method for optimizing the rate of recourses extraction, which can be applied in strategic planning at mining enterprises.*

Methods. *To achieve this goal, general scientific methods of abstract logical analysis, induction and deduction are used. The common features and differences in scientific approaches to optimizing the enterprise production capacity are identified by applying these methods. Economic-mathematical modeling and operations research methods are used to describe the production process at the mining enterprise.*

Results. *Management of mining enterprises in market conditions requires the optimal strategic decisions about its production capacity and the rate of recourses extraction. These decisions are necessary both for the new projects and for the operating enterprises. The problem of the production capacity and the rate of recourses extraction optimizing is not solved now and requires new scientific approaches.*

The three groups of factors complicate the long-term management of the mining enterprises production and require considering. Firstly, the uncertainty is characteristic of information on the volume and condition of resources. Secondly, it is difficult to predict the long-term essential conditions of production and economic activity. Thirdly, there is competition of purposes that give rise to the need for multi-criteria choice. At the result, the strategic decisions about the enterprise production capacity should be constantly adjusted taking into account the balance recourses, mining, geological, technical and economic conditions of their extraction. The optimization of these decisions should cover both the current production volume and the prospective term of the recourses extraction.

The methodology for determine the mining enterprise optimal volume of production is proposed in this article. The criterion of optimization is the financial result discounted to the term of the extraction final. The scientific novelty of this approach lies in the simultaneous optimization of production capacity and the term of the recourses extraction. The methodology has been tested on the example of the coalmining enterprise «Krasnolimanskaya». The results of the testing proved the possibility of its practical application in strategic planning at the mining enterprises.

Key words: *rate of recourses extraction, production capacity, strategic planning, optimization, multi-step management process, objective function, optimality criterion*

Надійшла до редакції 15.04.2020