

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ЛУЦЕНКО Сергій Олександрович



УДК 622.271: 622.013

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ПРОЄКТУВАННЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ
ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ ЗА УМОВ МІНЛИВОЇ ПОТРЕБИ В РУДІ**

05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин

РЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Кривий Ріг – 2026

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Криворізькому національному університеті Міністерства освіти і науки України.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор

КОРОБІЙЧУК Валентин Вацлавович

Державний університет «Житомирська політехніка»

МОН України, професор кафедри гірничих технологій та будівництва ім. проф. Бакка М.Т.

доктор технічних наук, професор

ЛОЖНИКОВ Олексій Володимирович

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» МОН України, професор кафедри відкритих гірничих робіт та раціонального надрокористування

доктор технічних наук, доцент

ФРОЛОВ Олександр Олександрович

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» МОН України, професор кафедри геоінженерії

Захист відбудеться «21» квітня 2026 року о 11-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 09.052.02 при Криворізькому національному університеті за адресою: 50027, м. Кривий Ріг, вул. Віталія Матусевича, 11, головний корпус, ауд. 345.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Криворізького національного університету за адресою: 50027, м. Кривий Ріг, вул. Віталія Матусевича, 11.

Реферат розіслано «17» березня 2026 р.

В.о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради Д 09.052.02,
доктор технічних наук, професор



Н.Ю. Швагер

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Сучасні підходи щодо освоєння сировинної бази залізорудних комбінатів концептуально залишаються заснованими на застарілих, характерних для планової економіки принципах, за яких зовнішнє середовище є майже статичним, а тому всі його зміни загалом залишаються передбачуваними, у той час як за нинішніх умов, при майже незмінній технологічній інертності гірничого виробництва, спостерігаються суттєві коливання цін і потреби в залізорудній продукції. Передбачити ці коливання в довгостроковій перспективі практично неможливо, тому що вони напряду залежать від таких практично непрогнозованих чинників, як сталість світової економіки, політичної ситуації в країнах тощо, внаслідок чого – за самою своєю природою – не можуть бути регулярними. Тому робота в цих умовах ставить гірничі підприємства жорстко в залежність від світової кон'юнктури ринків мінеральної сировини, а також вимагає нового, більш гнучкого підходу до освоєння її родовищ. У зв'язку з цим, змінилися й цілі вітчизняних гірничих підприємств. Першорядного значення набули питання забезпечення конкурентоспроможності, яка значною мірою залежить від прийнятої концепції розвитку та наукового обґрунтування режиму гірничих робіт.

Результати каузального аналізу діяльності кар'єрів переконливо підтверджують, що гірничодобувні підприємства не можуть забезпечити достатньо гнучке реагування на зміну потреби в залізорудній сировині без непередбачуваного зростання кінцевих витрат на розробку її покладів, оскільки чинні нормативні методи проєктування режиму гірничих робіт і планування їхнього розвитку не передбачають адекватної зміни інтенсивності відпрацювання родовищ протягом тривалих періодів.

За таких умов інтенсивність відпрацювання кожного покладу повинна обов'язково та своєчасно коригуватися відповідно до змін потреби в залізорудній сировині, а також виходячи з максимальної ефективності освоєння сировинної бази в разі спільної роботи групи кар'єрів у системі комбінату.

Узагальнення результатів виконаного аналізу функціонування гірничозбагачувальних комбінатів України й інших країн лід в основу ідеї та робочих гіпотез відносно можливостей розв'язання проблеми динамічного планування шляхом своєчасного регулювання головних параметрів кар'єрів й оптимізації їх сполучення за допомогою управління розвитком гірничих робіт.

З огляду на частоту виникнення та слабку передбачуваність причин, що зумовлюють необхідність зміни проєктних рішень, існує постійна **науково-прикладна проблема** обґрунтування науково-методичних засад динамічного проєктування режиму та планування розвитку гірничих робіт у залізорудних кар'єрах в умовах непередбачено мінливої потреби в залізорудній сировині.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація пов'язана з низкою науково-дослідних робіт Криворізького національного університету, а також Академії гірничих наук України, у яких автор брав участь як виконавець. У дисертації використано результати, які одержав автор у процесі досліджень, виконаних за темами: «Визначення продуктивності Ганнівського кар'єру ПАТ «ПівнГЗК» (№ держреєстрації 011U005572), «Визначення

перспективних границь кар'єру, що забезпечують конкурентоспроможність залізорудної продукції Полтавського ГЗК» (№ держреєстрації 0114U003099) та «Визначення перспективних границь кар'єру й продуктивності Першотравневого кар'єру ПАТ ПівнГЗК» (№ держреєстрації 0115U002577).

Мета роботи – розроблення й обґрунтування методології проектування та планування розвитку гірничих робіт кар'єрів в умовах нетипово мінливої потреби в залізорудній сировині, яка забезпечує підвищення ефективності освоєння сировинної бази розробника надр.

Для досягнення поставленої мети в дисертаційній роботі вирішувалися такі завдання:

1. Виконати аналіз сучасного стану гірничих робіт залізорудних кар'єрів, проєктних рішень, теорії та практики визначення головних параметрів кар'єру, а також методів планування розвитку гірничих робіт.
2. Установити вплив параметрів системи розробки, що забезпечують норматив готових до виймання запасів гірничої маси, на продуктивність кар'єру за рудою, а також – режим гірничих робіт.
3. Обґрунтувати теоретичні засади та розробити метод визначення максимально можливої продуктивності кар'єру за гірничими можливостями.
4. Обґрунтувати засади та підходи до визначення оптимальних параметрів системи розробки для різних змінних значень продуктивності кар'єру за рудою.
5. Розробити концепцію визначення динаміки річних обсягів ліквідації заборгованості за розкритом при зміні продуктивності за рудою.
6. Дослідити вплив режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єрів на границі відкритої розробки родовищ.
7. Дослідити й використати взаємозв'язки режиму гірничих робіт, продуктивності та параметрів системи розробки при плануванні й проєктуванні роботи групи кар'єрів, що входять до складу одного комбінату.
8. Розробити методологічні основи оперативного планування розвитку гірничих робіт при нетипово динамічній зміні потреби в залізорудній сировині.
9. Показати можливість й економічну доцільність використання наукових результатів дослідження на прикладах планування гірничих робіт і проєктування залізорудних кар'єрів України.

Ідея роботи полягає в переході до управління розвитком гірничих робіт шляхом зміни параметрів і конструкції активної частини робочої зони кар'єру (або кожного з кар'єрів у разі розробки родовища їх групою) для оперативного коригування інтенсивності відпрацювання останнього, що дозволяє забезпечити максимальну ефективність поточного освоєння сировинної бази розробника надр в умовах мінливої потреби в залізорудній сировині.

Об'єкт дослідження – процес формування робочої зони залізорудних кар'єрів при поглибленні гірничих робіт.

Предмет дослідження – взаємозв'язки головних параметрів кар'єру, які впливають на розвиток гірничих робіт.

Методи досліджень. Для досягнення поставлених завдань у дисертації було використано комплексний метод дослідження, що включає теоретичні й інструментальні методи: аналіз і теоретичне узагальнення звітності підприємств,

науково-технічних публікацій та іншої інформації щодо визначення продуктивності, режиму гірничих робіт і границь кар'єру при обґрунтуванні теми дисертації й завдання досліджень; системний аналіз при дослідженні показників роботи кар'єру; гірничо-геометричний аналіз кар'єрних полів для дослідження взаємозв'язку параметрів системи розробки, режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру за рудою; методи математичного моделювання при описі параметрів робочої зони кар'єру; аналітичні, графічні та графоаналітичні методи досліджень технологічних та економічних взаємозв'язків режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру за корисними копалинами при визначенні границь кар'єру; економіко-математичне моделювання варіантів роботи кар'єрів; геоінформаційне моделювання робочої зони кар'єрів при розробленні методів планування розвитку гірничих робіт; техніко-економічний аналіз показників роботи гірничо-збагачувальних комбінатів для обґрунтування оптимальних параметрів системи розробки, а також економічної ефективності раціонального розподілу за кар'єрами обсягів видобутку руди.

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Параметри робочої зони кар'єру визначаються закономірностями, зворотного просторово-технологічного впливу, за якого зменшення довжини активного фронту, зумовлене концентрацією гірничих робіт, вимагає компенсаційного розширення робочого майданчика для забезпечення нормативу запасів руди, що в умовах геометричних обмежень кар'єру та конфігурації рудного тіла формує спадну експоненційну залежність між ними. Врахування цієї закономірності дозволяє підвищити точність визначення параметрів системи розробки порівняно з традиційними підходами й уникнути похибок у межах 28–62%.

2. Максимально можлива продуктивність кар'єру за рудою обмежується умовою безперервного забезпечення нормативу готових до виймання запасів, яка встановленим взаємозв'язком між шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту стає лімітуючим чинником по відношенню до технічних можливостей видобутку. На відміну від існуючих підходів, що базуються виключно на інтенсивності розвитку гірничих робіт, запропонований критерій враховує просторові обмеження кар'єру та норматив запасів, що дозволяє звужити область оптимізації режиму гірничих робіт (яка зменшується на 10–14% при кожному збільшенні продуктивності на 10%) та підвищити точність її розрахунку на 30–36%.

3. Оптимальні параметри системи розробки залежать від варіативного сполучення режиму гірничих робіт, продуктивності за рудою та геометричних характеристик робочої зони, що дає змогу коригувати інтенсивність відпрацювання родовища відповідно до заданої продуктивності шляхом цілеспрямованої зміни сполучення параметрів системи розробки з урахуванням просторових обмежень робочої зони та необхідного нормативу готових до виймання запасів для забезпечення заданої продуктивності.

4. Границі проєктованого кар'єру визначаються змінним у часі граничним коефіцієнтом розкриття, значення якого формується відповідно розрахункової динаміки техніко-економічних показників підприємств-конкурентів (потенційних коливань попиту, потреби в руді), а також – заданих продуктивності та режиму гірничих робіт проєктованого кар'єру. Такий підхід, на відміну від використання

статичних критеріїв, дозволяє враховувати динаміку конкурентного середовища до моменту фактичного досягнення кар'єром граничних контурів, що підвищує точність оконтурення запасів на 14–45%.

Наукова новизна отриманих результатів:

1. Уперше встановлено взаємозв'язок між параметрами системи розробки – шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту гірничих робіт, – виходячи з нормативу готових до виймання запасів і з просторових обмежень кар'єру, визначених гірничо-геометричним аналізом кар'єрного поля. Доведено, що саме цей взаємозв'язок визначає значення максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою та впливає на режим гірничих робіт, зокрема на динаміку формування робочої зони кар'єру.

2. Уперше запропоновано й обґрунтовано аналітично метод визначення максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою, що враховує не лише максимальну інтенсивність видобутку, але й умови формування нормативних запасів, які визначаються встановленим взаємозв'язком ширини робочого майданчика та довжини активного фронту гірничих робіт.

3. Уперше розроблено та теоретично обґрунтовано метод оптимізації параметрів системи розробки щодо розмірів активної частини робочої зони кар'єру, що враховує комплексний взаємозв'язок між режимом гірничих робіт, продуктивністю за рудою та геометричними характеристиками робочої зони. Метод забезпечує підтримання нормативного обсягу готових до виймання запасів і дає змогу адаптивно змінювати техніко-економічні характеристики розробки відповідно до змін виробничих та економічних умов.

4. Удосконалено критерій оцінювання й вибору оптимального варіанта розвитку гірничих робіт, який урахує не лише характер поширення корисних копалин і розкритих порід за кількістю та якістю в границях кар'єрного поля, а також порядок й інтенсивність формування активного робочого простору кар'єру.

5. Уперше обґрунтовано новий розрахунковий принцип визначення границь проєктованого кар'єру з урахуванням зміни граничного коефіцієнта розкриття в часі, обумовленої динамікою техніко-економічних і технологічних показників діяльності кар'єрів-конкурентів, а також планованої продуктивності та режиму гірничих робіт проєктованого кар'єру. На відміну від наявних підходів, які базуються на статичних значеннях граничного коефіцієнта розкриття, запропонований принцип дозволяє підвищити точність визначення границь кар'єру на 14–45%.

6. Уперше обґрунтовано науково-методологічний підхід до планування розвитку гірничих робіт у глибоких залізрудних кар'єрах, який передбачає зміну інтенсивності відпрацювання родовищ залежно від коливань потреби в залізрудній сировині й враховує як виконання заданого обсягу видобутку корисних копалин у поточному році, так і забезпечення можливості гнучкої зміни продуктивності за рудою в подальші роки. На відміну від відомих підходів за статичного планування, запропонований дозволяє здійснювати оперативне коригування продуктивності кар'єру за рудою відповідно до динаміки змін зовнішніх умов.

7. Розроблено економіко-математичну модель динамічної оптимізації обсягів виробництва залізрудної товарної продукції гірничо-збагачувальних комбінатів, яка враховує взаємозв'язок між режимом гірничих робіт і продуктивністю за рудою

в умовах нетипових змін зовнішнього середовища, на основі дотримання нормативу готових до виймання запасів, а також відставання розкривних робіт у кожному з кар'єрів, що входять до складу окремого ГЗК. Особливістю моделі є можливість адекватного регулювання продуктивності окремих кар'єрів за умови забезпечення групою кар'єрів залізорудної товарної продукції заданих обсягів та якості.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених у дисертації, підтверджуються: коректністю постановки та послідовністю вирішення сформульованих завдань, використанням основних положень теорії та практики відкритих гірничих робіт, широко апробованих методів гірничо-геометричного аналізу кар'єрних полів з урахуванням установлених закономірностей розвитку робочої зони кар'єру й дотриманням норм технологічного проектування для відкритих гірничих робіт при порівнянні альтернативних варіантів роботи кар'єру, результатами аналітичних досліджень з побудовою математичних та імітаційних моделей досліджуваних об'єктів і процесів, високою збіжністю теоретичних результатів й аналітичних висновків і розрахункових параметрів робочої зони та значень продуктивності кар'єру з фактичними показниками діяльності кар'єрів (розходження становить 7-8%), а також позитивними результатами впровадження результатів досліджень і розробок у виробництво в умовах кар'єру ПрАТ «Полтавський ГЗК», Ганнівського кар'єру «ПівнГЗК» та ПрАТ «Інгулецький ГЗК».

Наукове значення роботи полягає в розробленні методології динамічного проектування та планування розвитку гірничих робіт кар'єрів в умовах мінливої потреби в залізорудній сировині на основі комплексного й системного обліку гірничо-геологічних, технологічних й економічних факторів з урахуванням їхнього взаємозв'язку, які впливають на розмір і порядок формування робочої зони кар'єру.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні методик:

1) визначення продуктивності кар'єру за рудою для різних варіантів розвитку гірничих робіт з урахуванням порядку й інтенсивності відпрацювання різних ділянок робочої зони кар'єру;

2) визначення відставання й випередження розкривних робіт від необхідних при зміні продуктивності кар'єру за рудою;

3) визначення динаміки річних обсягів ліквідації відставання за розкритом при зміні продуктивності кар'єру за рудою;

4) визначення перспективних границь кар'єру, який проєктується, що враховує мінливі в часі економічні показники розробки чинних (базових) підприємств;

5) планування розвитку гірничих робіт у кар'єрі в умовах мінливої потреби в залізорудній продукції, яка відрізняється від відомих можливістю регулювати головні параметри кар'єру, а також враховує взаємозв'язок ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, що забезпечують у кар'єрі нормативний запас руди, готовий до виймання;

6) перерозподілення продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу ГЗК, при зміні потреби в залізорудній продукції.

Особистий внесок здобувача полягає у формулюванні наукової проблеми, мети, ідеї, завдань досліджень, представлених на захист наукових положень,

висновків і рекомендацій, виконанні теоретичних досліджень, розробленні методів оцінювання й визначення взаємозв'язків гірничо-геологічних, технологічних і економічних умов розробки, та їхнього сумісного впливу на розмір і порядок формування робочої зони кар'єру, а також у розробленні теоретичних положень з визначення параметрів активної частини робочої зони кар'єру та планування розвитку гірничих робіт при нетиповій зміні потреби в залізорудній продукції, методу визначення максимальної за гірничими можливостями продуктивності кар'єру за рудою, методики перерозподілення продуктивності групи кар'єрів, які входять до складу ГЗК. Як відповідальний виконавець низки науково-дослідних праць, автор безпосередньо брав участь у розробленні методів визначення граничного коефіцієнта розкриття й перспективних контурів кар'єрів. Зміст дисертації автор виклав особисто.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи й отримані результати досліджень доповідалися й обговорювалися на наукових конференціях: Міжнародному симпозіумі «Комбіновані технології розробки родовищ глибокими кар'єрами і шахтами» (м. Партеніт, 2012 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Сталий розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2012 р., 2015 р.); Науково-практичній конференції «Якість мінеральної сировини» (м. Кривий Ріг, 2014 р., 2017 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2016-2021 рр., 2023-2025 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників» (м. Дніпропетровськ, 2016 р., 2018-2020 рр.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (м. Кривий Ріг, 2016 р., 2017 р.); VII Міжнародному симпозіумі «Універсіада SIMPRO 2016» (VII International multidisciplinary symposium «UNIVERSITARIA SIMPRO 2016» «Sustainable development through quality and innovation in engineering and research») (Румунія, м. Петрошані, 2016 р.); III Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів та молодих учених «Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів» (м. Житомир, 2016 р.); Міжнародній науковій конференції «Міжнародні тенденції в області науки і техніки» (International scientific conference «International Trends in Science and Technology») (Польща, м. Варшава, 2017 р.); Міжнародній конференції «Інновації у гірництві» (м. Дніпро, 2018 р.); Конференції молодих учених «Геотехнічні проблеми розробки родовищ» (м. Дніпро, 2018-2019 рр.); Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Інноваційний розвиток ресурсозберігаючих технологій видобутку та переробки корисних копалин» (International scientific and technical internet conference «Innovative development of resource-saving technologies of mineral mining and processing») (Румунія, м. Петрошані, 2018-2019 рр.); VIII Міжнародному симпозіумі «Універсіада SIMPRO 2018» (VIII International multidisciplinary symposium «UNIVERSITARIA SIMPRO 2018» «Challenges and opportunities for sustainable development through quality and innovation in engineering and research management») (Румунія, м. Петрошані, 2018 р.); V Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК» (м. Кривий Ріг, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Великие люди Великой

стеги – Сатпаев К.И.» (м. Алмати, 2019 р.); I Міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Новітні технології в освіті, науці та виробництві» (м. Покровськ, 2019 р.); E3S Web of Conferences (м. Кривий Ріг, 2020 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Виклики забезпечення мінеральною сировиною України в умовах повоєнної відбудови» (м. Дніпро, 2023-2025 рр.); Міжнародній науково-технічній конференції MININGMETALTECH (м. Кривий Ріг, 2023-2024 рр.).

Публікації. Основні результати досліджень опубліковані в 62 наукових працях (у тому числі 19 одноосібних), зокрема: 27 наукових статей опубліковано в періодичних виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України; 5 статей у журналах, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і Web of Science Core Collection; 4 статті в матеріалах міжнародних конференцій, що індексуються наукометричними базами даних Scopus і WoS; 2 наукові статті – у закордонних наукових журналах; 24 – у збірниках тез і статей наукових конференцій.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 324 найменувань на 33 сторінках та 4 додатків на 33 сторінках, містить 136 рисунків і 43 таблиці. Загальний обсяг дисертації становить 404 сторінки, з яких 295 – основний текст.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, ідею й завдання досліджень, наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Наведено основні наукові положення, що виносяться на захист, дані про публікації, апробацію й упровадження розробок і результатів досліджень, наукове та практичне значення роботи.

У **першому розділі** проаналізовано стан теоретичних і практичних досліджень щодо планування розвитку гірничих робіт, а також проєктування головних параметрів кар'єрів і параметрів системи розробки в умовах динамічно мінливої потреби в залізорудній сировині.

Аналіз сучасного стану гірничих робіт залізорудних кар'єрів, проєктних рішень, теорії та практики планування розвитку гірничих робіт і проєктування кар'єрів показав, що за сучасних ринкових умов ефективність освоєння сировинної бази гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) значною мірою залежить від інтенсивності й послідовності відпрацювання покладів корисних копалин відповідно до заданої продуктивності за рудою при зміні потреби в залізорудній сировині протягом тривалих періодів як в окремому кар'єрі, так і в групі кар'єрів одного комбінату.

Гірничодобувні підприємства не можуть забезпечити гнучке реагування на зміну внутрішнього й зовнішнього попиту на продукцію без значного зростання витрат на розробку. Підвищити ефективність розробки відкритим способом можна за рахунок коригування інтенсивності відпрацювання кожного родовища відповідно до зміни зовнішніх умов, а також виходячи з максимальної ефективності освоєння сировинної бази в разі спільної роботи групи кар'єрів у системі комбінату.

Своєчасне регулювання головних параметрів кар'єрів може здійснюватися за допомогою управління розвитком гірничих робіт.

Під управлінням розвитком гірничих робіт розуміється сукупність послідовних операцій з оцінювання стану гірничих робіт, зміни розмірів, параметрів і конструкції активної частини робочої зони кар'єру, визначення напрямку розвитку гірничих робіт і контролю заданих технологічних параметрів з метою витримування необхідного обсягу видобутку та створення умов для безпечної й економічної роботи кар'єру.

Значний внесок у методологію планування розвитку гірничих робіт і формування робочої зони кар'єрів зробили вчені-гірники: Ю.І. Аністратов, О.І. Арсент'єв, Ю.П. Астаф'єв, В.Ф. Бизов, В.Г. Блізнюков, Ж.В. Бунін, К.М. Бурмістров, Ю.Г. Вілкул, С.Є. Гавришев, І.Л. Гуменик, А.Ю. Дриженко, В.О. Завсєгдашний, В.А. Ковальчук, С.В. Корнілков, В.М. Коробко, М.В. Мельников, О.М. Михайлов, М.Г. Новожилов, Б.К. Оводенко, Д.В. Пастихін, О.О. Пєшков, С.О. Жуков, С.З. Поліщук, А.І. Пташнік, Б.Р. Ракішев, Е.І. Реєнтович, С.П. Решетняк, В.В. Ржевський, А.В. Соколовський, І.Б. Табакман, П.І. Томаков, К.М. Трубецької, С.І. Фомін, В.С. Хохряков, П.Т. Церенщиков, Є.В. Черепанов, М.С. Четверик, А.Г. Шапарь, О.В. Шпанський, Б.П. Юматов та ін.

На основі аналізу праць науковців-гірників у царині планування гірничих робіт і проєктування кар'єрів, а також накопиченого досвіду експлуатації залізорудних кар'єрів обґрунтовано актуальність наукової проблеми, сформульовано мету, ідею, робочі гіпотези й завдання досліджень.

У **другому розділі** викладено загальну методологію досліджень, яка відображає сутність роботи та полягає у виконанні низки наукових завдань з метою розроблення методології проєктування кар'єрів і планування розвитку гірничих робіт в умовах мінливої потреби в залізорудній сировині. Обґрунтовано доцільність застосування обраних загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. Розроблена методологічна концепція базується на послідовному проведенні комплексного й системного обліку гірничо-геологічних, технологічних і економічних факторів, які забезпечують максимальну ефективність освоєння сировинної бази комбінату.

Доведено, що обґрунтування науково-методичних засад динамічного проєктування та планування розвитку гірничих робіт у залізорудних кар'єрах в умовах непередбачувано мінливої потреби в залізорудній сировині є важливою науковою проблемою, яка потребує теоретичних і науково-прикладних досліджень. Згідно з ідеєю роботи, прийнято робочі гіпотези.

Третій розділ дисертації присвячено теоретичному обґрунтуванню визначення гірничих можливостей кар'єрів з видобутку руди, а також параметрів системи розробки, які забезпечують норматив готових до виймання запасів.

Нормальні умови для видобутку корисних копалин вимагають формування робочої зони кар'єру видобувними уступами, які включають нормативні запаси скельної гірничої маси, готової до виймання. Невідповідність фактичних значень параметрів системи розробки плановим призводить до порушення законів розвитку кар'єрного простору і, як наслідок, – до непланового накопичення відставання розкривних робіт.

Тому, розпочинаючи моделювання розвитку гірничих робіт для заданої продуктивності кар'єру за рудою, першочергово необхідно визначити значення ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, які задовольняють вимоги нормованих запасів.

Дослідження взаємозв'язку ширини робочого майданчика й довжини фронту гірничих робіт за допомогою графічних методів гірничо-геометричного аналізу кар'єрного поля показали, що при збільшенні ширини робочого майданчика довжина активного фронту гірничих робіт зменшується (рис. 1), а запас руди, готовий до виймання, збільшується (рис. 2). Водночас щоразу до роботи залучається вся робоча зона кар'єру, тобто для кожного варіанта ширини робочого майданчика довжина борту кар'єру, що залучається до роботи, приймається сталою.

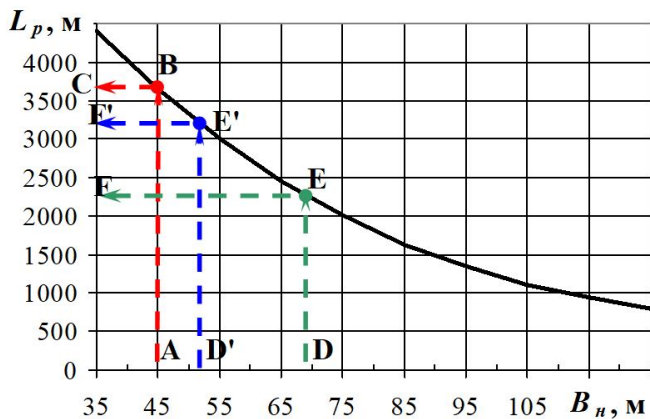


Рисунок 1 – Зміна довжини активного фронту гірничих робіт залежно від зміни ширини робочого майданчика

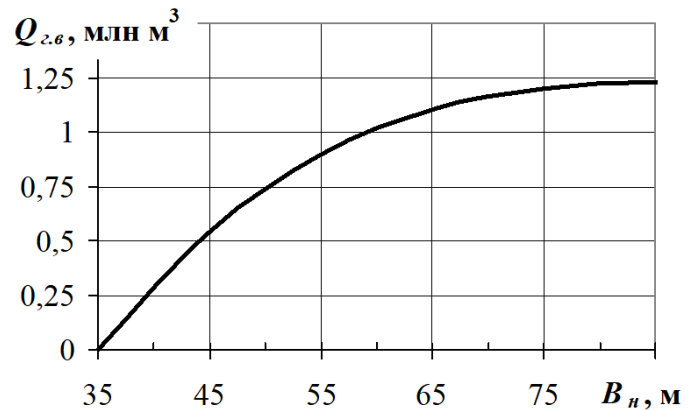


Рисунок 2 – Зміна готового до виймання запасу руди залежно від ширини робочого майданчика

Аналіз емпіричних даних свідчить, що залежність довжини активного фронту гірничих робіт від ширини робочого майданчика з високою точністю апроксимується експоненційною функцією:

$$L_p = 8179 e^{-0.018 B_n}, \quad (1)$$

де L_p – довжина активного рудного фронту в кар'єрі, м; B_n – нормальна ширина робочого майданчика, м.

Зменшення довжини активного фронту в кар'єрі може бути досягнуте шляхом концентрації гірничих робіт на окремих ділянках, тобто через залучення до відпрацювання певного відсотка активної робочої зони. У разі забезпечення нормативного обсягу запасів, готових до виймання відповідно до заданої продуктивності, ширину робочого майданчика необхідно збільшувати.

З графіка (рис. 3) видно: чим менша довжина фронту, тим більшою має бути ширина майданчика. Наприклад, при 50% довжина зменшується до 1850 м, а ширина зростає до 69 м. Своєю чергою, на рис. 1 подано зворотну залежність довжини фронту від ширини майданчика з урахуванням геометрії кар'єрного поля та конфігурації рудного тіла. Виявлена невідповідність між графіками свідчить про несиметричність взаємозв'язку параметрів системи розробки.

Лінія 1 на рис. 4 побудована на основі даних графіка 3 і демонструє необхідну ширину майданчика залежно від довжини фронту, виходячи з нормативу готових до виймання запасів. Лінія 2 – залежність довжини фронту, обмеженої геометрією кар'єру, від ширини майданчика. Наприклад, при необхідній ширині 69 м загальна довжина активного фронту становить лише 2200 м (100%), тобто лише 1100 м при 50% залучення, що значно менше від розрахункових 1850 м.

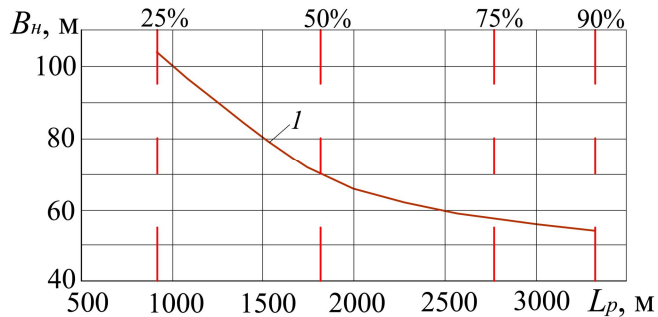


Рисунок 3 – Зміна ширини робочого майданчика залежно від довжини активного фронту гірничих робіт з урахуванням нормативного обсягу готових до виймання запасів

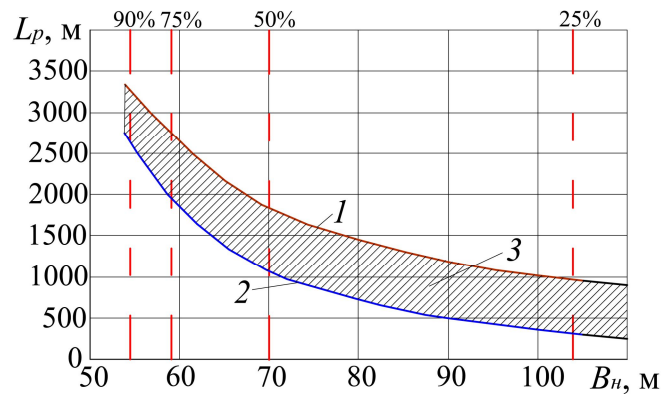


Рисунок 4 – Порівняння залежностей між шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту гірничих робіт, отриманих виходячи з нормативного обсягу готових до виймання запасів (1) і геометричних обмежень кар'єрного поля (2)

Розбіжність між лініями 1 і 2 (заштрихована область 3) свідчить, що орієнтація лише на залежність ширини від довжини (виходячи з нормативу запасів) може спричинити похибки у визначенні параметрів системи розробки до 28–62%. Тому ширину робочого майданчика слід визначати з урахуванням двосторонньої залежності, що враховує як норматив готових до виймання запасів, так і просторові обмеження кар'єру й конфігурацію рудного тіла, установлені гірничо-геометричним аналізом кар'єрного поля.

Максимального значення запас руди, готовий до виймання, досягає за оптимального співвідношення параметрів системи розробки. За цих умов при мінімальному значенні нормальної ширини робочого майданчика й максимальному – довжини фронту гірничих робіт забезпечується мінімальне значення готового до виймання запасу. Тому при визначенні продуктивності кар'єру за рудою довжина активного фронту гірничих робіт і ширина робочого майданчика повинні враховуватися не відокремлено, а з урахуванням установленого їхнього взаємозв'язку. Невідповідність фактичної довжини активного фронту гірничих робіт довжині фронту, прийнятій при визначенні максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою й складанні перспективного календарного плану гірничих робіт без урахування взаємозв'язку ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, що забезпечують норматив готових до виймання запасів, призводить до порушення оптимальної пропорційності швидкостей переміщення

рудних і нерудних уступів і, як наслідок, до накопичення відставання розкривних робіт у кар'єрі.

У зв'язку з цим, при визначенні максимально можливої продуктивності за рудою необхідно враховувати її залежність від нормативного обсягу готових до виймання запасів, який формується на основі взаємозв'язку між довжиною активного фронту гірничих робіт і шириною робочого майданчика.

Дослідження зміни обсягів готових до виймання запасів і довжини активного фронту гірничих робіт при збільшенні ширини робочого майданчика дозволило розробити метод визначення максимально можливої продуктивності кар'єру за гірничими можливостями, який урахує не лише максимальну інтенсивність видобутку, але й умови формування нормативних запасів, які визначаються встановленим взаємозв'язком ширини робочого майданчика та довжини активного фронту гірничих робіт. Згідно з розробленим методом (рис. 5), рівень максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою визначається точкою перетину кривих, що відображають зміну продуктивності кар'єру при збільшенні ширини робочого майданчика, виходячи з максимальної інтенсивності розвитку гірничих робіт, а також із забезпеченості нормативів готових до виймання запасів руди. Тобто, можлива продуктивність кар'єру за рудою визначається як мінімальне значення з двох залежностей, обумовлених, відповідно, обмеженням за максимальною кількістю видобувних екскаваторів та вимогами щодо забезпечення нормативних запасів, готових до виймання, що в аналітичному вигляді відповідає співвідношенню:

$$A_p = \min \left\{ \left. \frac{Q_{\text{екс}}}{L_{\text{бл}}^{\min}} L_p \right|_{B_H}, \left. \frac{(B_H - B_{\min}) L_p h_y}{\psi} \right|_{B_H} \right\} \quad (2)$$

де $L_{\text{бл}}^{\min}$ – мінімальна довжина екскаваторного блока, м;

$Q_{\text{екс}}$ – річна продуктивність екскаватора, м³/рік.

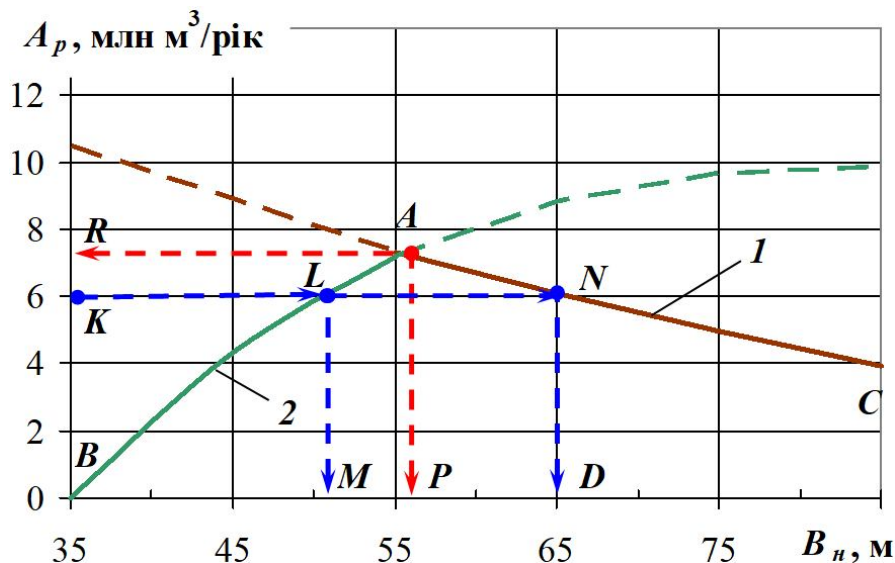


Рисунок 5 – Зміна можливої продуктивності кар'єру за рудою при різній ширині робочого майданчика для різних методів визначення продуктивності: 1 – за максимальною інтенсивністю розвитку гірничих робіт; 2 – за забезпеченістю нормативів готових до виймання запасів

Ширина робочого майданчика, що забезпечує досягнення максимально можливої продуктивності кар'єру за рудою, визначається формулою:

$$B_n^{max} = \frac{\psi \cdot Q_{екс}}{L_{ол}^{min} \cdot h_y} + B_{min}, \text{ м}, \quad (3)$$

де ψ – нормативний коефіцієнт готових до виймання запасів руди; B_{min} – мінімальна ширина робочого майданчика в кар'єрі, м; h_y – висота рудного уступу, м.

Відповідно, максимально можлива продуктивність кар'єру за рудою визначається за формулою:

$$A_p^{max} = \frac{Q_{екс}}{L_{ол}^{min}} L_p \Big|_{B_n=B_n^{max}} \quad (4)$$

У результаті досліджень було встановлено, що максимально можлива продуктивність кар'єру має визначатися не тільки виходячи з гірничих можливостей, але й виходячи із забезпечення в кар'єрі нормативного обсягу готових до виймання запасів, який визначається встановленим взаємозв'язком ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт. Такий підхід забезпечує підвищення точності визначення максимально можливої продуктивності на 30–36 %.

З рис. 6 і 7 випливає, що при збільшенні кута укосу робочого борту кар'єру швидкість горизонтального посування, швидкість поглиблення дна кар'єру, а також продуктивність кар'єру за рудою знижуються. Тому можна зробити висновок, що зміна продуктивності кар'єру за рудою уможливорюється за рахунок зміни інтенсивності відпрацювання родовища шляхом зміни параметрів системи розробки.

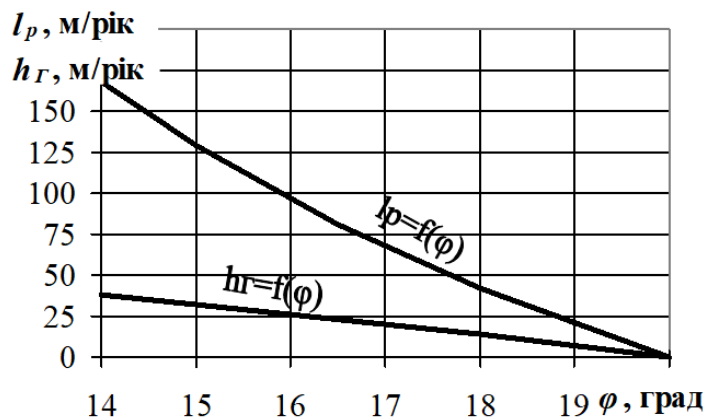


Рисунок 6 – Зміна швидкості горизонтального посування гірничих робіт і швидкості поглиблення дна кар'єру при збільшенні кута укосу робочого борту кар'єру

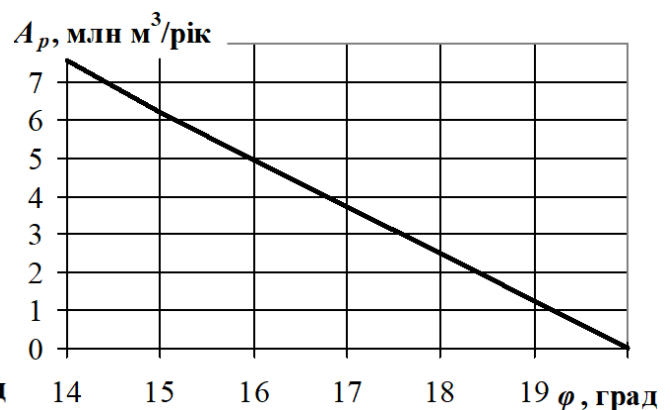


Рисунок 7 – Зміна продуктивності кар'єру за рудою при збільшенні кута укосу робочого борту кар'єру

Установлена залежність продуктивності кар'єру за рудою від нормативних обсягів готових до виймання запасів, які встановлюються на основі взаємозв'язку між довжиною активного фронту гірничих робіт та шириною робочого майданчика, визначає інтенсивність відпрацювання родовища й впливає на динаміку формування робочої зони кар'єру.

Багато вчених приділяють велику увагу впливу кута укосу робочого борту кар'єру на обсяги розкривних робіт. Водночас не враховується вплив цього кута на продуктивність за рудою.

З рис. 5 видно, що максимальний кут укосу робочого борту кар'єру φ_{max}^{nl} , при якому можливе забезпечення планової продуктивності за рудою, досягається при ширині робочого майданчика $B_{2.3}^{nl}=50$ м (лінія 2 на рис. 8), а мінімальний кут φ_{min}^{nl} – при ширині робочого майданчика $B_{int}^{nl}=65$ м (лінія 4 на рис. 8).

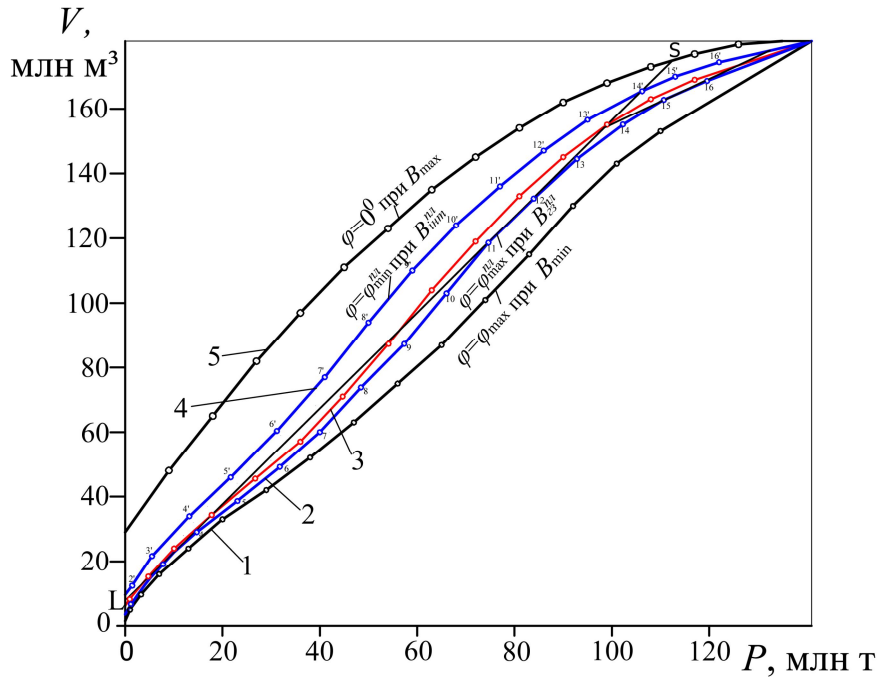


Рисунок 8 – Зміна зростаючих обсягів розкривних порід (V) залежно від видобутого обсягу руди (P) при різній ширині робочого майданчика (B , м): 1 – 35; 2 – 50; 3 – 56; 4 – 65; 5 – B_{max}

Зрозуміло, що варіанти роботи кар'єру з постійними коефіцієнтами розкриву та запланованою продуктивністю з видобутку руди можуть бути представлені прямими лініями, розташованими в межах області, обмеженої кривими $V=f(P)$ при φ_{min}^{nl} та φ_{max}^{nl} .

Виходячи з цього, область можливих рішень щодо визначення й усереднення експлуатаційних коефіцієнтів розкриву обмежується на графіку $V=f(P)$ кривими, побудованими для випадків роботи кар'єру з шириною робочого майданчика, що забезпечує задану продуктивність за рудою, виходячи з максимальної інтенсивності розвитку гірничих робіт та із забезпеченості нормативів готових до виймання запасів. З підвищенням продуктивності кар'єру за рудою на 10% область можливого регулювання режиму гірничих робіт звужується на 10-14%.

Четвертий розділ присвячено дослідженню впливу продуктивності кар'єрів на параметри робочої зони та економічну ефективність виробництва залізорудної сировини.

Найявний взаємозв'язок параметрів системи розробки, які забезпечують у кар'єрі норматив готових до виймання запасів, обумовлює при зміні продуктивності за рудою зміну й коефіцієнтів розкриву. Своєю чергою, зміна коефіцієнтів розкриву позначається на обсягах гірничої маси та їхньому розподіленні за роками

експлуатації, що зрештою є одним із основних факторів, які впливають на економічні показники роботи кар'єру. Водночас максимальна продуктивність за рудою обумовлює й максимальну або близьку до максимальної продуктивність за гірничою масою, що призводить до збільшення витрат на розробку родовища. Отже, збільшення продуктивності кар'єру за корисними копалинами супроводжується зростанням не тільки доходів, але й витрат.

У зв'язку з цим виникає питання, чи буде доцільною з погляду економічної ефективності робота кар'єру з максимально можливою продуктивністю за корисними копалинами.

Для умов, типових для кар'єрів гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу, проаналізовано вплив продуктивності кар'єру на собівартість виробництва кінцевої товарної продукції.

Результати розрахунків представлено на рис. 9. Крива $\Pi=f(A_p)$, що характеризує зміну приведенного прибутку залежно від продуктивності кар'єру, показує, що максимально можлива продуктивність кар'єру за корисними копалинами забезпечує максимальну економічну ефективність розробки родовища при вибраному напрямку поглиблення кар'єру.

Зменшення продуктивності за корисними копалинами на 20 і 40% від максимального значення призведе до зменшення прибутку від розробки родовища відповідно на 10 і 20%. Тому в умовах мінливої потреби в товарній продукції необхідно прагнути повністю задовольнити попит, а продуктивність кар'єру за рудою має визначатися, виходячи з потреби в залізородній сировині.

З рис. 10 видно, що збільшення кута укосу робочого борту обмежує максимально можливу продуктивність кар'єру за рудою та значно знижує економічну ефективність розробки родовища. Це пояснюється тим, що робота кар'єру з великим кутом укосу призведе не тільки до зменшення поточних коефіцієнтів розкриття внаслідок оптимізації режиму гірничих робіт, а й до зменшення продуктивності за рудою, що зменшує приведену цінність товарної продукції внаслідок збільшення періоду розробки родовища.

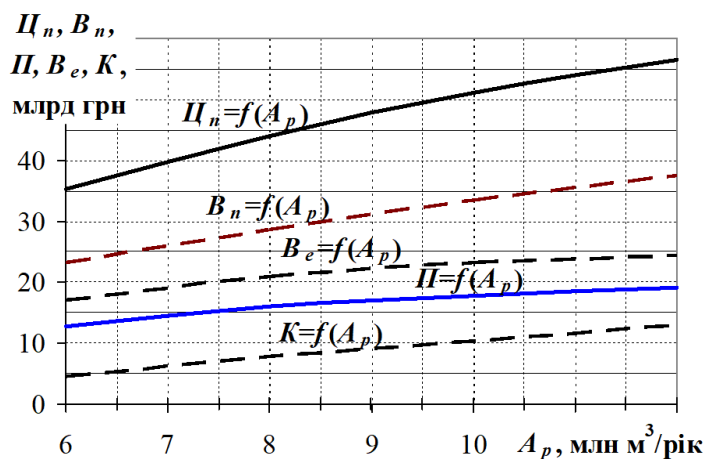


Рисунок 9 – Зміна витрат і доходів від розробки родовища корисних копалин і виробництва концентрату залежно від продуктивності кар'єру за корисними копалинами

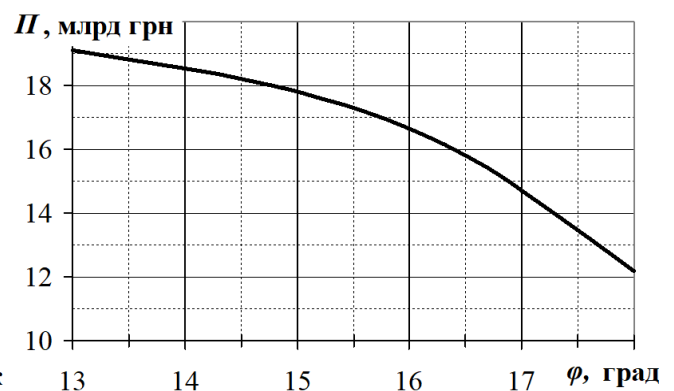


Рисунок 10 – Графік зміни прибутку від розробки родовища залежно від кута укосу робочого борту кар'єру

Зі збільшенням глибини розробки збільшується кількість видобувних уступів і, як наслідок, зростає протяжність фронту видобувних робіт. Відомо, що надмірне зменшення або збільшення фронту проти необхідної величини здатне погіршити техніко-економічні результати розробки. Зменшенням довжини фронту гірничих робіт за рахунок концентрації їх на окремих ділянках кар'єру досягається зниження собівартості видобутку корисних копалин. Водночас для забезпечення нормативу готових до виймання запасів ширину робочого майданчика на цих ділянках необхідно збільшити, що спричинить збільшення коефіцієнтів розкриву. Тому для досягнення найбільшого економічного ефекту від розробки родовища моделювання розвитку гірничих робіт необхідно здійснювати з такими значеннями ширини робочого майданчика й довжини фронту гірничих робіт, які задовольняють вимоги нормованих запасів для заданої продуктивності кар'єру за рудою й дозволяють забезпечити максимальний ступінь концентрації гірничих робіт у кар'єрі.

У ринкових умовах продуктивність кар'єру за рудою залежно від потреби й ціни на товарну продукцію може змінюватися, тому було розроблено метод визначення оптимальних значень ширини робочого майданчика й довжини фронту гірничих робіт, що задовольняють вимоги нормованих запасів для різних варіантів продуктивності кар'єру за рудою.

Для оптимізації значень ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, які забезпечують досягнення заданої продуктивності кар'єру за рудою, дослідили зміну довжини активного фронту гірничих робіт залежно від збільшення ширини робочого майданчика при різних значеннях продуктивності кар'єру за рудою. Отримані на рис. 11 криві (*I-IV*) є лініями рівня продуктивності кар'єру за рудою. Крім цього, установили зміну довжини активного фронту гірничих робіт залежно від ширини робочого майданчика при зменшенні активної площі робочої зони кар'єру (1-9).

Виходячи з кривих (*I-IV*), видно, що при збільшенні ширини робочого майданчика для досягнення необхідного рівня продуктивності довжина фронту гірничих робіт може бути зменшена за рахунок скорочення довжини уступів, які залучаються до відпрацювання.

Разом із цим, положення лінії *I* показує, що при збільшенні ширини робочого майданчика також зменшується максимально можлива довжина активного фронту гірничих робіт у разі залучення до роботи всієї робочої зони кар'єру. Тому для заданої продуктивності кар'єру за рудою, у разі виділення в ньому ділянок концентрації гірничих робіт, при визначенні параметрів системи розробки необхідно враховувати не тільки скорочення довжини уступів, що залучаються до відпрацювання, а й зменшення максимально можливої довжини активного фронту гірничих робіт при збільшенні ширини робочого майданчика з урахуванням розмірів активної частини робочої зони кар'єру.

Зі збільшенням ступеня концентрації гірничих робіт має місце прояв і взаємодія двох чинників, які протилежним чином впливають на собівартість товарної продукції: збільшення коефіцієнта розкриву та зменшення відстані транспортування гірничої маси. Тому при визначенні оптимальних значень ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, які задовольняють вимоги нормованих запасів, необхідно врахувати вплив концентрації гірничих робіт на собівартість товарної продукції.

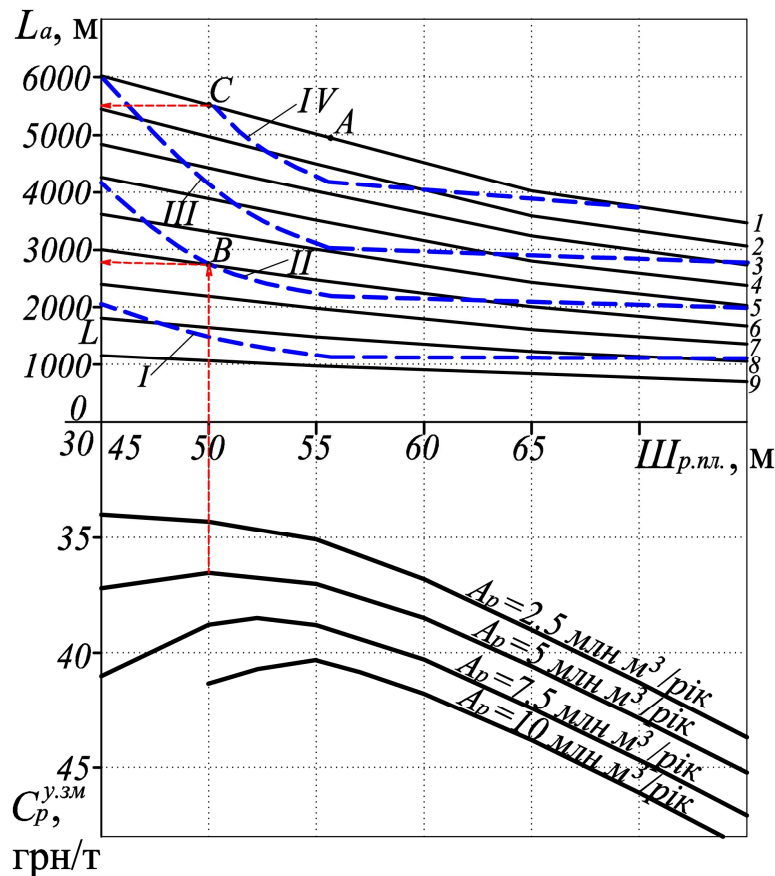


Рисунок 11 – Залежність питомих умовно-змінних витрат на видобуток руди й довжини фронту гірничих робіт від ширини робочого майданчика при різних значеннях продуктивності кар'єру за рудою

Положення кривих (рис. 11), які характеризують питомі умовно-змінні витрати на видобуток руди, свідчить про наявність оптимальних значень ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт при різних варіантах продуктивності кар'єру за рудою. Параметри системи розробки, що відповідають мінімуму питомих умовно-змінних витрат на видобуток руди, вважаються оптимальними для кар'єру, що проектується.

Техніко-економічні показники роботи кар'єру значною мірою визначаються вибором напрямку поглиблення. У зв'язку з цим, виникає завдання пошуку такого напрямку розвитку гірничих робіт, який забезпечує найкращі техніко-економічні результати роботи кар'єру, тобто оптимальний напрям.

В основу розроблених методів оптимізації напрямку розвитку гірничих робіт більшість дослідників поклали досягнення на кожному етапі екстремуму показника, що характеризує основні результати діяльності кар'єру. Оптимальним вважають розвиток гірничих робіт, який забезпечує роботу кар'єру з мінімальними поточними коефіцієнтами розкриття, коефіцієнтами гірничої маси; крім цього, застосовуються також коефіцієнти, що враховують безпосередньо вартісні показники (витрати на 1 грн товарної продукції). Однак практика показує, що деколи розвиток гірничих робіт, вибраний за одним з цих показників, обмежує досягнення планової продуктивності за рудою, тобто критерії дають оцінку тільки обсягам розкривних порід і руди з урахуванням її якості, водночас не враховують можливу інтенсивність

і час відпрацювання цих обсягів. Тому вибір оптимального напрямку розвитку гірничих робіт у кар'єрі за наявними технологічними критеріями можна робити тільки при однаковій у всіх варіантах продуктивності за рудою (коефіцієнт розкриву) або за концентратом (коефіцієнт гірничої маси, витрати на 1 грн товарної продукції).

Економічні критерії оцінювання розвитку гірничих робіт є найбільш загальними й об'єктивними. Критерієм оцінювання розвитку гірничих робіт може слугувати сумарний прибуток від експлуатації родовища за певний період часу. Однак, різноманітний характер пошуку оптимального розвитку гірничих робіт ускладнює використання цих критеріїв. Крім цього, практика роботи кар'єрів показує, що при оцінюванні діяльності підприємства за тривалий період будуть істотно змінюватися як витрати на виробництво, так і вартість товарної продукції. Зміна цих показників залежить від багатьох факторів, які важко прогнозуються. Собівартість і ціна товарної продукції гірничо-збагачувальних комбінатів Кривбасу всього за 11-річний період змінилася в середньому відповідно на 300 і 370%. З цього випливає, що економічне оцінювання навіть одного й того ж варіанта гірничих робіт за показниками розрахункового року й після закінчення робіт будуть несумісні. Тому практично неможливо отримати точну порівняльну оцінку варіантів роботи кар'єру за тривалий період за економічними критеріями. Водночас витрати на гривню товарної продукції мають незначну зміну – від 1 до 35%. Тому при розробленні критеріїв порівняльного оцінювання варіантів розвитку гірничих робіт, в основі яких лежать економічні показники роботи підприємства, доцільно враховувати не значення ціни й собівартості товарної продукції, а їхнє співвідношення, що дозволить підвищити точність результатів розрахунків.

Економічною основою критерію оцінювання слугували загальноприйняті показники економічного оцінювання, зокрема, прибуток ГЗК від розробки родовища. Водночас варіанти напрямку розвитку гірничих робіт, що відрізняються тривалістю відпрацювання обсягів руди й розкритих порід, приводяться до одного року. Тоді прибуток буде дорівнювати:

$$\Pi = u_k \frac{\sum_{i=1}^I (P_{(i)} \gamma_{(i)} \frac{\beta_{(i)}}{\beta_{(nl)}}) - \sum_{i=1}^I P_{(i)} \cdot \delta_p - \sum_{i=1}^I P_{(i)} \cdot n \cdot \delta_v}{T} = u_k \cdot K, \text{ грн}, \quad (5)$$

де P – обсяг видобутку руди, т; γ_k – вихід концентрату з руди, частки од.; u_k – ціна концентрату, грн/т; $\beta_{(i)}$ – вміст заліза в концентраті одержуваного з i -го технологічного типу руди, %. β_{nl} – плановий вміст заліза в концентраті, %; δ_p – коефіцієнт приведення фізичних обсягів руди до концентрату за його ціною; δ_v – коефіцієнт приведення фізичних обсягів розкритих порід до обсягів концентрату за його ціною; T – час відпрацювання обсягів гірничої маси за варіантом розвитку гірничих робіт, років; i – індекс технологічного типу руди.

З формули (5) видно, що спільний вплив продуктивності кар'єру за рудою, якості руди й коефіцієнта розкриття на прибуток можна врахувати критерієм K , який визначається за формулою:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^I (P_{(i)} \gamma_{(i)} \frac{\beta_{(i)}}{\beta_{(nl)}}) - \sum_{i=1}^I P_{(i)} \cdot \delta_p - \sum_{i=1}^I P_{(i)} \cdot n \cdot \delta_v}{T} \rightarrow \max, \text{ т} \quad (6)$$

або

$$K = \sum_{t=1}^{T_{nl}} \frac{A_{p(t)} \cdot \gamma_{nl(t)}^{cp.636} - A_{p(t)} \delta_p - A_{p(t)} \cdot n_{(t)} \cdot \delta_v}{(1 + E)^t} \rightarrow \max, \text{ т}, \quad (7)$$

де $\gamma_{nl}^{cp.636}$ – середньозважений вихід концентрату з плановим вмістом корисного компонента, частки од; T_{nl} – тривалість планованого періоду експлуатації родовища, років; A_p – продуктивність кар'єру за рудою для аналізованого варіанта розвитку гірничих робіт, м³/рік.

Запропонований показник дозволяє здійснювати оцінювання варіантів розвитку гірничих робіт не за економічними показниками, які змінюються в часі та є важко прогнозованими, а за технологічними показниками (продуктивність за рудою, коефіцієнт розкриття, вміст корисного компонента), які є стабільними й залежать тільки від геологічної будови масивів гірських порід. Крім цього, запропонований показник ураховує не значення ціни й собівартості товарної продукції, а їхнє співвідношення, що дає можливість отримати точну порівняльну оцінку варіантів роботи кар'єру за тривалий період, що є особливо важливим при вирішенні динамічних завдань планування розвитку гірничих робіт у кар'єрі.

У цьому ж розділі проаналізовано вплив зміни продуктивності за рудою на величину експлуатаційних коефіцієнтів розкриття.

У результаті виконаних досліджень було вдосконалено методику визначення обсягів розкривних робіт, що забезпечують у кар'єрі нормальні умови видобутку корисної копалини при зміні його продуктивності, як у разі залучення до розробки як однієї, так і декількох ділянок робочої зони кар'єру.

При збільшенні річної продуктивності кар'єру за рудою з A_p до A'_p нормальна ширина робочого майданчика на кожному горизонті k -ї ділянки робочої зони збільшиться з $B_{n(k)}$ до $B'_{n(k)}$. У цьому разі ширина робочого майданчика $B'_{n(k)}$, а також її приріст $\Delta B_{n(k)}$ на різних ділянках робочої зони визначаються на основі взаємозв'язку з довжиною активного фронту гірничих робіт на відповідній ділянці $L'_{p(k)}$, що забезпечує формування готових до виймання запасів, а також виходячи із заданої продуктивності цієї ділянки $A_{(k)}^{dil}$.

Тому при збільшенні продуктивності кар'єру за рудою обсяг заборгованості за розкривом становитиме:

$$Q_3 = \sum_{k=1}^K \Delta A_{vB(k)} - \frac{L'_{v(k)}}{L'_{p(k)}} \Delta A_{pB(k)}, \text{ м}^3, \quad (8)$$

де $\Delta A_{vB(k)}$, $\Delta A_{pB(k)}$ – додатковий обсяг виймання розкривних робіт і видобутку руди при розширенні робочих майданчиків до $B'_{n(k)}$; $L'_{p(k)}$, $L'_{v(k)}$ – довжина активного рудного й розкривного фронту в кар'єрі при ширині робочого майданчика $B'_{H(k)}$, м;

K – кількість ділянок робочої зони кар'єру, які одночасно залучаються до розробки, т.

Дослідження показали (рис. 12 і 13), що при збільшенні продуктивності кар'єру за рудою коефіцієнт розкриття збільшується як за рахунок зменшення кута укосу робочого борту кар'єру, так і за рахунок короткострокового збільшення швидкості горизонтального просування кожного вищерозташованого горизонту відносно нижчерозташованого внаслідок розширення робочих майданчиків.

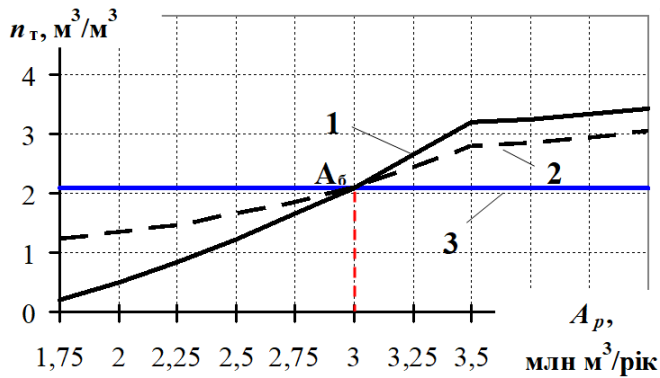


Рисунок 12 – Залежність поточних коефіцієнтів розкриття від зміни продуктивності кар'єру за рудою

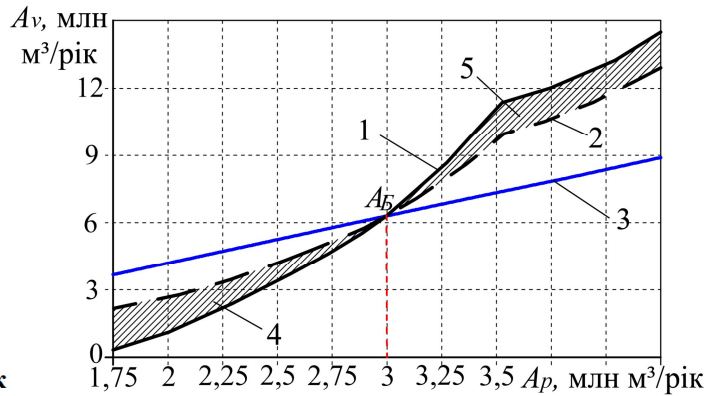


Рисунок 13 – Залежність обсягів розкривних порід від зміни продуктивності кар'єру за рудою

1 – з урахуванням обсягів гірничої маси, що виймаються при реконструкції борту кар'єру в перехідний період його роботи; 2 – без урахування обсягів гірничої маси, що виймаються при реконструкції борту кар'єру; 3 – при постійному коефіцієнті розкриття; 4 – випередження розкривних робіт; 5 – відставання розкривних робіт

Ліквідація відставання за розкритвом має передувати збільшенню продуктивності за рудою і проводиться в перехідні періоди роботи кар'єру від одного положення робочого борту до іншого, тривалість яких повинна бути мінімальною. Водночас перехідні періоди характеризуються значним збільшенням поточних коефіцієнтів розкриття та, відповідно, виробничої потужності за гірничою масою. У зв'язку з цим, будуть потрібні додаткові капітальні вкладення на придбання основного гірничого устаткування, економічна доцільність яких обмежена короткостроковістю перехідних періодів.

Щоб запланувати виробничі показники кар'єру в період ліквідації відставання за розкривними роботами, необхідно визначити річні обсяги його ліквідації, які й визначають необхідну кількість основного гірничого устаткування.

Річні обсяги ліквідації відставання за розкритвом визначаються:

1. Виходячи з граничних обсягів ліквідації відставання.

В основу способу покладено розрахунковий принцип, згідно з яким повна собівартість виробництва й реалізації кінцевої товарної продукції C_K має бути меншою або дорівнювати значенню припустимої собівартості концентрату $C_{К.П.}$.

$$C_{К.П.} \geq C_K. \quad (9)$$

Отже, граничний коефіцієнт ліквідації відставання за розкритвом становитиме:

$$n_{відст}^{2p} = \frac{\frac{C_{ОПТ.К.}}{1+\tau} - (a_{o(i)}^{y.3M} + b_{(i)}^{y.3M} n_{(i)} + \frac{BK^{y.пост}}{A_{p(i)}} + a_{пер}^{y.3M} + \frac{B\Phi^{y.пост}}{A_{p(i)}} + a_{тр.р})}{b_{(i)}^{y.3M}}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (10)$$

де τ – планова норма прибутку, частки од.; $C_{ОПТ.ДО}$ – оптова ціна концентрату, грн/т; i – варіант збільшення продуктивності кар'єру за рудою в діапазоні від A_p до $A_{p(i)}$; $n_{(i)}$ – експлуатаційний коефіцієнт розкриття, що забезпечує нормальну роботу кар'єру з продуктивністю $A_{p(i)}$, м³/т; Δn – коефіцієнт ліквідації відставання за розкриттям, м³/т; $a_{тр.р}$ – питомі витрати на доставку й реалізацію товарної продукції до місця приймання покупцем, грн/т; $a_{o(i)}^{y.3M}$ – питомі умовно-змінні витрати на видобуток руди без витрат на розкриття, грн/т; $b_i^{y.3M}$ – питомі умовно-змінні витрати на виймання розкриття порід, грн/м³; $B\Phi^{y.пост}$ – умовно-постійні витрати на переробку руди й реалізацію продукції, грн; $BK^{y.пост}$ – умовно-постійні витрати на видобуток руди, грн.

При відомих продуктивності кар'єру за рудою й граничному коефіцієнті ліквідації відставання за розкриттям стає можливим визначення річного обсягу ліквідації відставання:

$$V_{відст}^{рік} = n_{відст}^{2p} A_p, \text{ м}^3/\text{рік}. \quad (11)$$

2. Виходячи з кількості гірничого устаткування, яке передбачено для забезпечення виробничої потужності за гірничою масою $Q'_{зм}$ при продуктивності кар'єру за рудою A'_p .

В основу цього способу покладено умову:

$$Q_{np}^{2.o.} \geq Q_{зм(i)} \quad (12)$$

або

$$Q_{np}^{2.o.} \geq A_{p(i)} n_{(i)} + A_{p(i)} + V_{відст(i)}, \quad (13)$$

де $Q_{np}^{2.o.}$ – сумарна продуктивність гірничого устаткування в кар'єрі, м³/рік; $Q_{зм(i)}$ – виробнича потужність за гірничою масою з урахуванням обсягів ліквідації відставання за розкриттям при продуктивності кар'єру за рудою $A_{p(i)}$; $V_{відст(i)}$ – обсяг відставання за розкриттям при збільшенні продуктивності за рудою з A_p до $A_{p(i)}$.

Виходячи з умови (12), обсяг відставання за розкриттям, який можна ліквідувати за один рік без додаткових капітальних вкладень, визначиться за формулою:

$$V_{відст}^{рік} = Q_{np}^{2.o.} - (A_{p(i)} n_{(i)} + A_{p(i)}), \text{ м}^3/\text{рік}. \quad (14)$$

Графічне рішення з визначення області можливих варіантів роботи кар'єру, які забезпечують ліквідацію відставання за розкриттям, показано на рис. 14.

З рис. 14 видно, що граничний варіант продуктивності за рудою, при якому можлива ліквідація відставання за розкриттям, визначається точкою перетину (точка К) ліній, що характеризують зміну обсягів виймання гірничої маси при збільшенні продуктивності за рудою з урахуванням обсягів відставання за розкриттям, а також сумарну продуктивність основного гірничого устаткування в кар'єрі при збільшенні продуктивності за рудою до A'_p (17 млн т/рік).

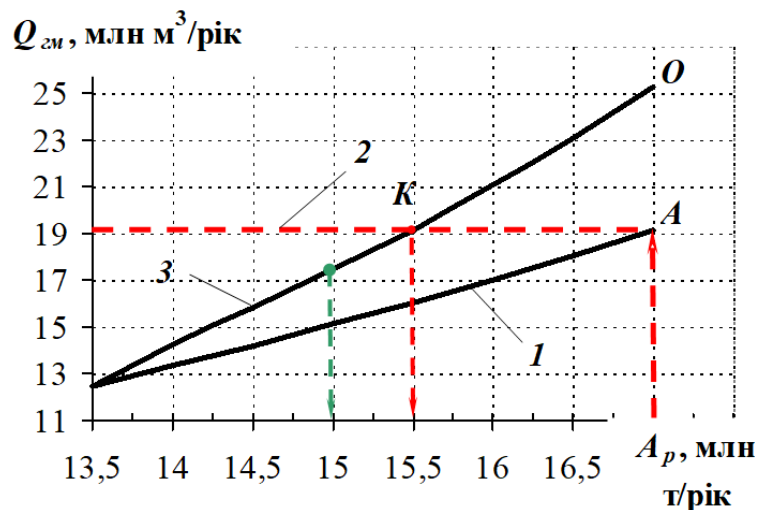


Рисунок 14 – Визначення області можливих варіантів продуктивності за рудою в перехідні періоди роботи кар'єру: 1 – зміна обсягів виймання гірничої маси при збільшенні продуктивності за рудою без урахування обсягів відставання за розкритом; 2 – сумарна продуктивність основного гірничого устаткування в кар'єрі при збільшенні продуктивності за рудою до A'_p ; 3 – зміна обсягів виймання гірничої маси при збільшенні продуктивності за рудою з урахуванням обсягів відставання за розкритом

У **п'ятому розділі** досліджено вплив режиму гірничих робіт і продуктивності кар'єру на границі відкритої розробки родовищ.

На сьогодні при розробці крутоспадних залізорудних родовищ на більшості кар'єрів їхні робочі контури по поверхні досягли проєктних відміток. Розвиток гірничих робіт відбувається тільки при їх зниженні. У таких умовах розробки родовищ необхідним є оцінювання можливостей сировинної бази для подальшого розвитку гірничого підприємства. Тому вже зараз необхідно визначати можливі перспективи розвитку кар'єрів і доцільність перегляду та коригування їхніх границь. Чим далі в часі це відкладати, тим більшою буде ціна й тривалість відновлення проєктної продуктивності кар'єрів за сирою рудою при їхній реконструкції в разі перегляду границь надалі.

У нормативних документах, що регламентують роботу гірничодобувних підприємств з відкритим способом розробки, розрахунковий граничний коефіцієнт розкриття для визначення кінцевої глибини відпрацювання проєктованого кар'єру приймається величиною сталою. Однак базове підприємство-конкурент продовжує свою роботу, і з часом будуть змінюватися його економічні показники. Причиною цього є зміна поточних коефіцієнтів розкриття в більший або менший бік (рис. 15).

З рис. 15 видно, що відхилення кінцевої глибини відпрацювання умовного проєктованого кар'єру, визначеної на основі порівняння його поточних коефіцієнтів розкриття з поточними коефіцієнтами розкриття умовних базових кар'єрів, від кінцевої глибини відпрацювання, визначеної за постійними граничними коефіцієнтами розкриття (за застарілим методом), становить від 14 до 45%.

В основу визначення граничного коефіцієнта розкриття покладено умову, що витрати на одну гривню виробленого й реалізованого концентрату базового ГЗК (B_B) мають бути більшими або дорівнювати аналогічному показнику ГЗК, який проєктується (B_{Π}):

$$B_B \geq B_{\Pi}. \quad (15)$$

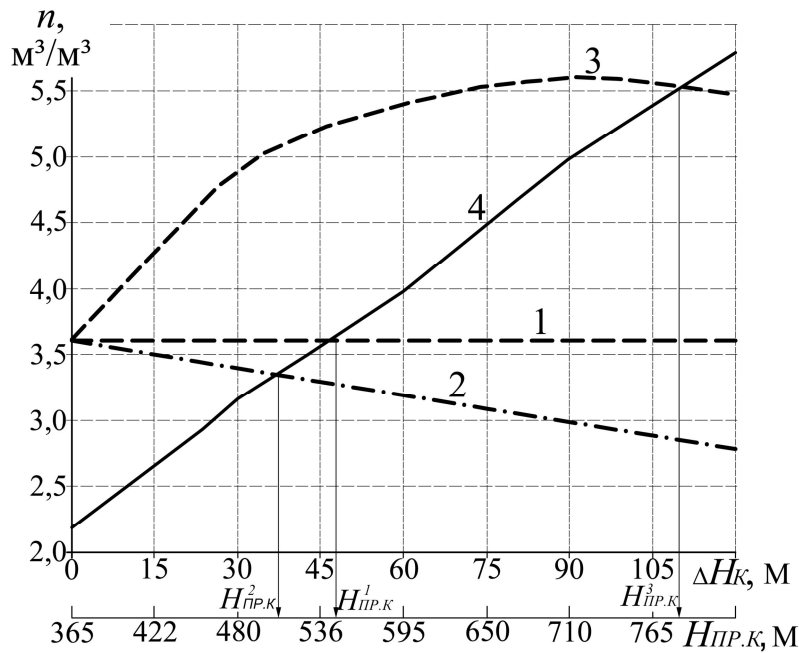


Рисунок 15 – Графік залежності коефіцієнтів розкриву від поглиблення гірничих робіт за їхніми етапами з визначенням кінцевої глибини відпрацювання умовного кар'єру, що проектується: 1 – граничний коефіцієнт розкриву; 2 – поточний коефіцієнт розкриву за умовним базовим кар'єром №1; 3 – поточний коефіцієнт розкриву за умовним базовим кар'єром №2; 4 – поточний коефіцієнт розкриву умовного кар'єру, що проектується

Отже, граничний коефіцієнт розкриву для кар'єру ГЗК, який проектується, визначений на основі порівняння економічної ефективності виробництва й реалізації концентрату на базовому ГЗК, становитиме:

$$n_{ер} = \frac{B_B \cdot C'_П \cdot \gamma_k - (a_{Пд} + a_{Пн})}{v_{П}}, \text{ м}^3/\text{т}, \quad (16)$$

де $C'_П$ – приведена ціна концентрату ГЗК, що проектується, грн/т.

Розрахунковий принцип визначення кінцевих контурів кар'єру формулюється таким чином: кінцева глибина проєктованого кар'єру має бути такою, щоб у процесі його експлуатації сума початкового й максимального поточного коефіцієнтів розкриву не перевищувала економічно доцільного коефіцієнта розкриву, що змінюється в часі, який залежить від техніко-економічних показників роботи базових підприємств цього ж ринку, що здійснюють гірничі роботи як відкритим, так і підземним способами.

$$n_{П}^{max} + n_o \leq n_{ер}^o. \quad (17)$$

При визначенні границь кар'єру як базове підприємство-конкурент приймається підприємство з найбільшими значеннями мінливих у часі граничними коефіцієнтами розкриву. Водночас для виконання умови конкурентоспроможності залізорудної продукції виробнича потужність базового підприємства має бути більшою або дорівнювати виробничій потужності ГЗК, який проектується. В іншому разі як граничні приймаються середньозважені значення граничних коефіцієнтів

розкрити двох або більше підприємств, сумарна виробнича потужність яких є більшою за потужність ГЗК, що проектується.

Установлений взаємозв'язок параметрів системи розробки, що забезпечують у кар'єрі норматив готових до виймання запасів, обумовлює при зміні продуктивності за корисними копалинами зміну й режиму гірничих робіт. Тому прийняте значення продуктивності кар'єру за рудою впливає на значення найбільших поточних коефіцієнтів розкрити залежно від зміни глибини гірничих робіт кар'єру, який проектується.

З рис. 16 видно, що при збільшенні продуктивності за рудою кар'єру, що проектується, змінюються граничні коефіцієнти розкрити й відповідно змінюється кінцева глибина кар'єру, який проектується.

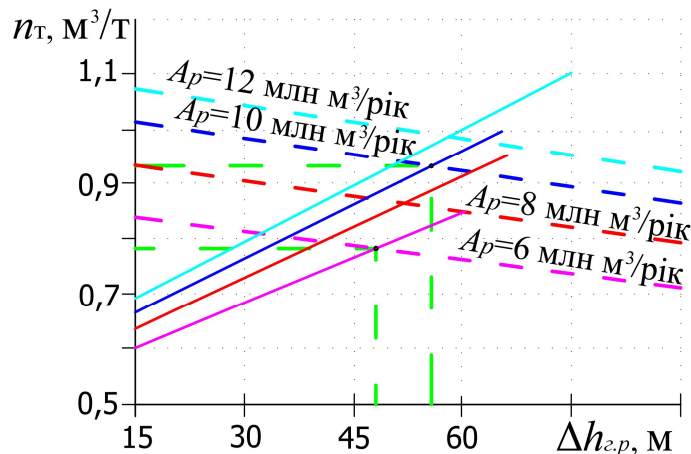


Рисунок 16 – Залежність зміни граничних і найбільших поточних коефіцієнтів розкрити кар'єру, що проектується, від зміни глибини гірничих робіт для різних значень продуктивності за рудою при спадному режимі гірничих робіт кар'єру-конкурента

Шостий розділ присвячено обґрунтуванню концепції розвитку гірничих робіт кар'єрів в умовах мінливої потреби в залізорудній сировині.

Ефективність розробки родовищ відкритим способом значною мірою залежить від головних параметрів кар'єрів. Гірничодобувні підприємства працюють з постійною виробничою потужністю, у той час як на ринках мінеральної сировини спостерігаються суттєві коливання цін і потреби в залізорудній продукції. У цих умовах підприємства не можуть забезпечити гнучке реагування на зміну внутрішнього й зовнішнього попиту на продукцію без значного зростання витрат на розробку, так як чинні методи планування розвитку гірничих робіт і проектування кар'єрів не передбачають зміни інтенсивності відпрацювання родовищ протягом тривалих періодів. Наслідком цього є наявність на підприємствах відставання за розкривними роботами, виникнення позапланових тимчасово неробочих бортів, а також формування тимчасово неробочих бортів у видобувній зоні, що є неприпустимим і неминуче призводить до вибуття виробничої потужності. Періодично виникає необхідність у перегляді попередніх проєктів через відхилення фактичного стану гірничих робіт від проєктних рішень. Тому забезпечення оперативного регулювання головних параметрів кар'єру стає для гірничодобувних підприємств найбільш актуальним.

У зв'язку з вищевикладеним, було розроблено концепцію розвитку гірничих робіт кар'єрів в умовах мінливої потреби в залізорудній продукції, яка враховує необхідність інтенсифікації виробництва для покриття зростаючих обсягів споживання, а також дозволяє мінімізувати додаткові витрати, пов'язані з перевиробництвом товарної продукції та її зберіганням на складі в періоди його зниження. Згідно з розробленою концепцією розвиток гірничих робіт має забезпечити задану інтенсивність відпрацювання родовища, яка визначається максимальною ефективністю освоєння сировинної бази комбінату в умовах мінливої потреби в залізорудній продукції.

В основу концепції розвитку гірничих робіт покладено ідею про те, що інтенсивність відпрацювання кожного родовища має коригуватися за рахунок зміни розвитку гірничих робіт відповідно до поточних зовнішніх умов, а також виходячи з максимальної ефективності освоєння сировинної бази в разі спільної роботи групи кар'єрів у системі комбінату. Водночас стратегічною метою розвитку гірничих робіт у кар'єрі є як досягнення заданих поточних річних виробничих показників, так і створення передумов для оперативної зміни продуктивності в майбутніх періодах.

Організаційно процес реалізації концепції розвитку гірничих робіт у кар'єрі можна представити у вигляді моделі, що складається з чотирьох етапів (рис. 17).

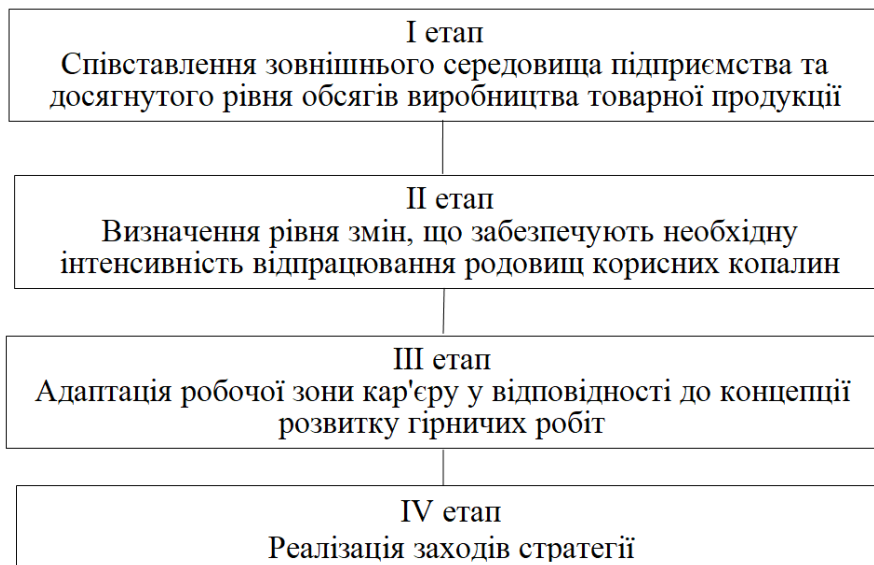


Рисунок 17 – Модель поетапної реалізації концепції розвитку гірничих робіт

Для реалізації концепції було розроблено методику планування розвитку гірничих робіт у кар'єрі при зміні потреби в залізорудній сировині. В основу методики планування розвитку гірничих робіт покладено ідею концентрування гірничих робіт на окремих ділянках кар'єрного поля, протяжність яких визначається оптимальними значеннями ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт, що забезпечують нормативний обсяг готових до виймання запасів для заданої продуктивності кар'єру за рудою. Регулювати інтенсивність відпрацювання родовища пропонується за рахунок зміни кута нахилу робочого борту кар'єру на ділянках концентрації гірничих робіт, а також протяжності й кількості цих ділянок. Завдяки зміні порядку відпрацювання ділянок концентрації гірничих робіт можна забезпечити роботу кар'єру з мінімальним поточним коефіцієнтом розкриву.

Послідовність виконання робіт така:

1. Для заданої продуктивності кар'єру за рудою за номограмою (рис. 11) визначаються оптимальні параметри системи розробки, а також протяжність і кількість ділянок концентрації гірничих робіт у робочій зоні кар'єру. Кар'єрне поле розбивається на однакові ділянки концентрації гірничих робіт, обмежені вертикальними площинами.

2. За кожною ділянкою, у міру поглиблення гірничих робіт, згідно з прийнятим напрямком поглиблення дна кар'єру, визначаються максимально можлива продуктивність і коефіцієнти розкриття. Відбудовується графік зміни поточних коефіцієнтів розкриття й величини горизонтального посування фронту гірничих робіт на різних ділянках робочої зони при поглибленні кар'єру (рис. 18).

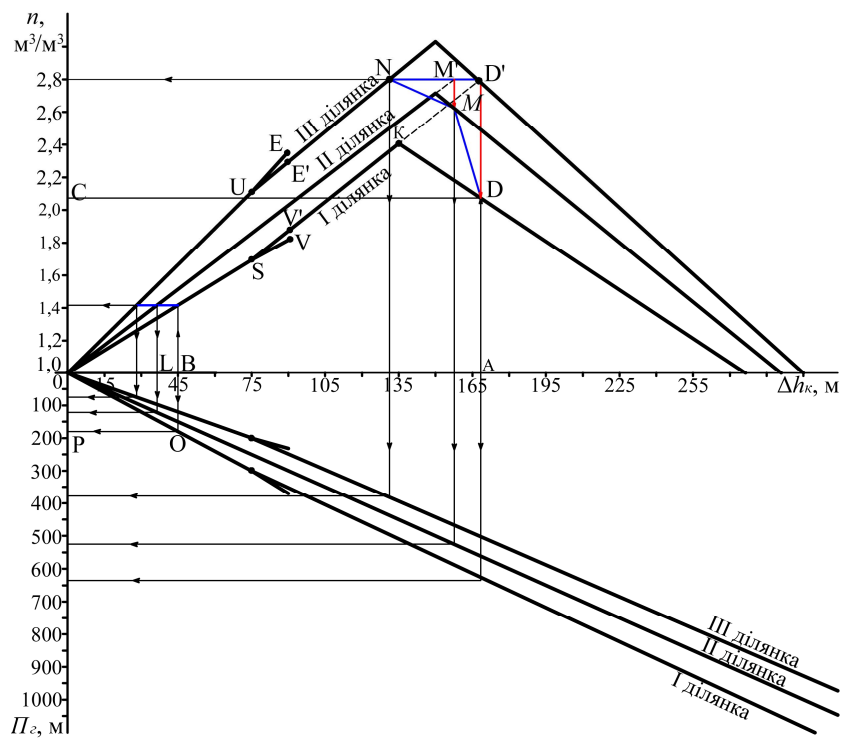


Рисунок 18 – Графік зміни поточних коефіцієнтів розкриття й величини горизонтального посування фронту гірничих робіт на різних ділянках робочої зони при поглибленні кар'єру

3. Визначається раціональний порядок відпрацювання кар'єрного поля.

Як видно з рис. 18, поглиблення гірничих робіт на різних ділянках родовища супроводжується різними коефіцієнтами розкриття. Очевидно, що для роботи всього кар'єру з мінімальним поточним коефіцієнтом розкриття необхідно починати поглиблювати гірничі роботи на ділянці з мінімальним коефіцієнтом розкриття доти, поки коефіцієнт розкриття не зрівняється з найближчим за значенням коефіцієнтом розкриття будь-якої іншої ділянки.

Основною умовою моменту залучення до розробки будь-якої ділянки кар'єру є рівність поточного коефіцієнта розкриття цієї ділянки й поточного коефіцієнта розкриття загалом у кар'єрі.

4. Складається перспективний план розвитку гірничих робіт. Для цього визначається тривалість відпрацювання ділянок кар'єру (рис. 19) і складається лінійний календарний план розвитку гірничих робіт (рис. 20). Згідно з цим планом

складається зведена таблиця зростаючих обсягів виймання розкривних порід і руди в міру поглиблення кар'єру та будуються графіки $V=f(P)$. Усереднюються графіки $V=f(P)$ і визначаються експлуатаційні коефіцієнти розкриття за періодами роботи кар'єру.

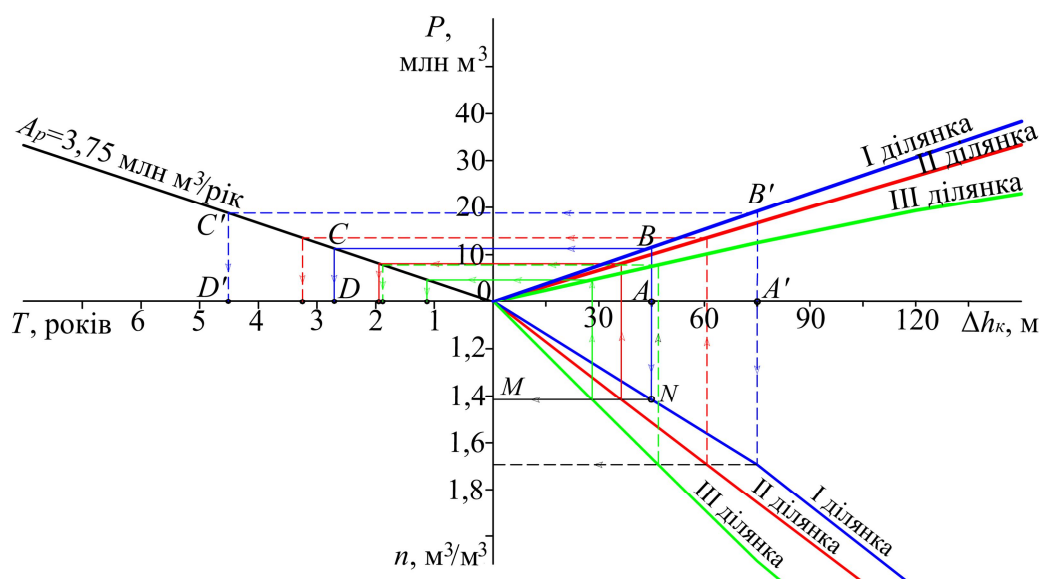


Рисунок 19 – Номограма визначення тривалості відпрацювання ділянок кар'єру при різній інтенсивності їхнього відпрацювання

Найменування	Роки																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Ділянка I																										
Ділянка II																										
Ділянка III																										
Продуктивність за рудою, млн. м³/рік	7,5 млн. м³/рік																									
Усереднений коефіцієнт розкриття за періодами, м³/м³	1,69						2,5										1,25									

Рисунок 20 – Лінійний календарний план розвитку гірничих робіт

Як видно з рис. 21, крива, яка відображає планування розвитку гірничих робіт за розробленою методикою, забезпечує кращий режим гірничих робіт, ніж при їхньому рівномірному розвитку.

Робота в сучасних умовах ставить гірничі підприємства в залежність від світової кон'юнктури ринків мінеральної сировини, яка характеризується значною мінливістю. Тому однією з найважливіших умов ефективної розробки будь-якого родовища є обґрунтоване визначення виробничої потужності підприємства.

На сьогодні можна виділити два варіанти завдання групового проєктування продуктивності підприємства:

I. Оптимізується продуктивність як декількох гірничо-збагачувальних комбінатів, що входять до складу компанії, так і продуктивність декількох кар'єрів, що входять до складу кожного ГЗК.

II. Оптимізується продуктивність декількох кар'єрів, які входять до складу ГЗК.

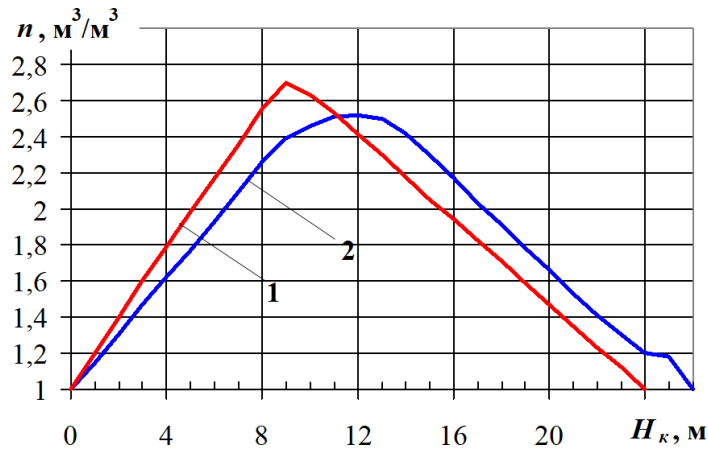


Рисунок 21 – Зміна поточних коефіцієнтів розкриття при зниженні гірничих робіт

У будь-якому разі регулювання обсягів виробництва товарної продукції гірничо-збагачувальних комбінатів при зміні потреби відбувається за рахунок зміни продуктивності кар'єрів, що входять до складу одного комбінату. Тому оптимізація виробничих потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів, що входять до складу однієї компанії, може бути досягнута тільки за умови оптимізації продуктивності за рудою кар'єрів, що входять до складу кожного окремого комбінату. Збільшення виробничих потужностей гірничо-збагачувальних комбінатів вище від максимально можливих призведе до введення в дію нових збагачувальних фабрик або реконструкції чинних з більш досконалою технологією переробки руди.

Ефективність розробки родовищ групою кар'єрів у системі ГЗК визначається режимом гірничих робіт і продуктивністю кожного з кар'єрів з урахуванням їхнього взаємозв'язку, тобто допускається регулювання продуктивності окремого кар'єру при забезпеченні групою кар'єрів залізородної товарної продукції планової кількості та якості. Тому якщо до складу ГЗК входить кілька кар'єрів, то продуктивність кожного з них слід визначати, виходячи з найбільшої ефективності роботи ГЗК.

Про ефективність роботи ГЗК з різними варіантами продуктивності й режиму гірничих робіт у кожному кар'єрі можна судити за економіко-математичною моделлю роботи групи кар'єрів у системі ГЗК.

$$\begin{aligned}
 & \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^I \left(\frac{\sum_{j=1}^J (A_{p\,tkij} \cdot \gamma_{k\,tkij} \frac{\beta_{(tkij)}}{\beta_{nl(ki)}} u_{tki}) - c_{\Pi\,tki}^{y.3M} \cdot \sum_{j=1}^J (A_{p\,tkij} \cdot \gamma_{k\,tkij}) - B\Phi_{tki}^{y.nocm.}}{(1+E)^t} - \right. \\
 & \left. - \frac{\sum_{j=1}^J ((a_{o\,tkij}^{y.3M} + n_{tij} \cdot b_{tij}^{y.3M}) \cdot A_{p\,tkij} + BK_{tkij}^{y.nocm.})}{(1+E)^t} \right) \times (1-N) - \\
 & - \sum_{t=1}^T \frac{\sum_{j=1}^J ((\Delta V_{відсм(tij)}^{pik} + \Delta Q_{зм(tij)}) k_{зб} + K\Phi_{ti})}{(1+E)^t} \rightarrow \max, \quad (18)
 \end{aligned}$$

де k – індекс виду товарної продукції; i – індекс гірничо-збагачувального комбінату; j – індекс кар'єру, що входить до складу ГЗК; t – індекс року в межах планового періоду; $c_{p\,tkij}^{y.3M}$ – питомі умовно-змінні витрати на видобуток руди для виробництва

товарної продукції, грн/т; $B\Phi_{kijt}^{y.nocm.}$ – умовно-постійні витрати на виробництво й реалізацію товарної продукції, грн; $a_{o\ tkij}^{y.3M.}$ – питомі умовно-змінні витрати на видобуток руди без витрат на розкриття для виробництва товарної продукції, грн/т; n_{tij} – експлуатаційний коефіцієнт розкриття, що забезпечує нормальну роботу кар'єру з продуктивністю $A_{p\ tkij}$, м³/т; $b_{tij}^{y.3M.}$ – питомі умовно-змінні витрати на виймання розкритих порід, грн/м³; $BK_{kijt}^{y.nocm.}$ – умовно-постійні витрати на видобуток руди для виробництва товарної продукції, грн.; $\Delta V_{відст}^{pik}(tij)$ – приріст річних обсягів ліквідації відставання за розкриттям, м³; $\Delta Q_{зм}(tij)$ – приріст виробничої потужності кар'єру за гірничою масою при збільшенні продуктивності за рудою, м³; $k_{3б}$ – питомі капітальні витрати на збільшення продуктивності кар'єру за гірничою масою, грн/м³; $K\Phi_t$ – капітальні інвестиції на збільшення продуктивності збагачувальної фабрики, грн.

При побудові економіко-математичної моделі як одиниця планування виступає продуктивність за рудою кожного кар'єру в складі комбінату.

На незалежну змінну $A_{p\ tkij}$ накладаються такі обмеження, що впливають із сукупності умов експлуатації кожного розглянутого родовища й потреби в різних видах товарної продукції на ринку.

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^I A_{tki} = A_{tk}^c \quad A_{tki} \leq A_{tki}^{max.6} \quad A_{p\ ij} \geq 0 \quad \sum_{j=1}^J (A_{p\ tkij} \cdot \gamma_{k\ tkij}) = A_{k\ tki}^3 \\ A_{p\ ij} \leq A_{p\ ij}^{max.6} \quad Q_{об} \sum_{j=1}^J N_j \leq \sum_{j=1}^J Q_{зм}^{A_p \phi}(j) \quad 3K_{факт}^{аморт.} \leq 3K_{tkij}^{аморт.} \\ 3\Phi_{факт}^{аморт.} \leq 3\Phi_{tki}^{аморт.} \quad 3K_{факт}^{3.n} \leq 3K_{tkij}^{3.n} \quad 3\Phi_{факт}^{3.n} \leq 3\Phi_{tki}^{3.n} \\ a_1 \sum_{j=1}^J A_{p\ tkij} + a_2 \sum_{j=1}^J A_{p\ tkij} + \dots + a_J \sum_{j=1}^J A_{p\ tkij} = \sum_{j=1}^J A_{p\ tkij} \quad a_1 + a_2 + \dots + a_J = 1 \end{array} \right. \quad (19)$$

На основі економіко-математичної моделі оптимізації обсягів виробництва залізорудної товарної продукції гірничо-збагачувальних комбінатів розроблено алгоритм обґрунтування перерозподілення продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу ГЗК, при зміні потреби в залізорудній сировині.

Послідовність виконання робіт така:

1. З метою регулювання інтенсивності відпрацювання родовищ комбінату при зміні потреби в залізорудній сировині необхідно першочергово визначати максимальну продуктивність за гірничими можливостями кожного кар'єру.

2. Для кожного варіанта продуктивності кар'єру за рудою в границях області можливих варіантів необхідно визначити оптимальні параметри системи розробки, від яких залежать коефіцієнти розкриття.

3. Визначається зміна режиму гірничих робіт залежно від зміни продуктивності за рудою для кожного кар'єру.

4. Від досягнутого рівня видобутку руди на кожному кар'єрі досліджується зміна показника (18) у разі вимушеної зміни обсягів виробництва концентрату в той

або інший бік (рис. 22). Роботу методики було розглянуто на прикладі групи кар'єрів Північного ГЗК: Першотравневого та Ганнівського. Точки *В* і *Г* на рисунку характеризують досягнутий рівень видобутку руди на кожному кар'єрі.

Нахил ліній 1 і 2 (рис. 22) змінюється залежно від значення продуктивності. Це означає, що однаковий приріст продуктивності за рудою кар'єрів забезпечує неоднаковий приріст чистого грошового потоку комбінату.

5. Відбудовується графік залежності приросту чистої сучасної вартості грошових потоків (NPV) від приросту продуктивності (ΔA_p) (рис. 23), за яким і здійснюється перерозподілення продуктивності кар'єрів.

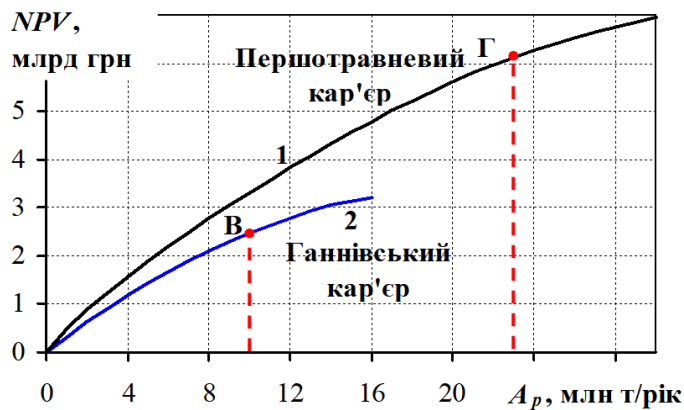


Рис. 22 – Збільшення чистої поточної вартості грошових потоків (NPV) залежно від зміни потреби в руді кар'єрів Північного ГЗК

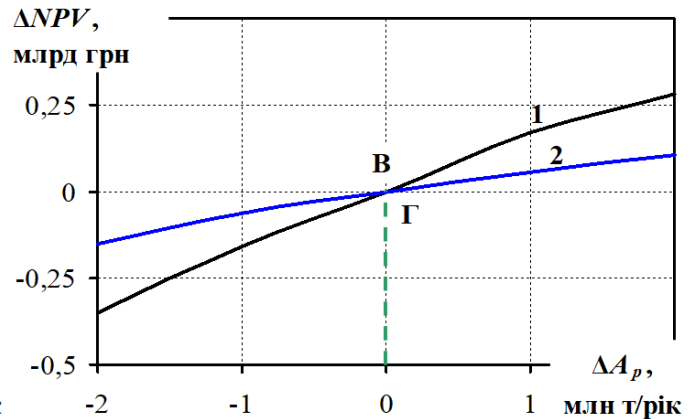


Рис. 23 – Зміна річної чистої поточної вартості грошових потоків ΔNPV залежно від зміни продуктивності (A_p) кар'єрів за рудою

З рис. 22 видно, що за рахунок перерозподілення річних обсягів видобутку руди в оптимальному режимі можна збільшити ефективність роботи комбінату.

У цьому ж розділі визначено економічну ефективність раціонального розподілення за кар'єрами обсягів видобутку руди, що видобувається в Кривбасі відкритим способом, на прикладі роботи групи ГЗК у системі гірничодобувної компанії МЕТІНВЕСТ (рис. 24).

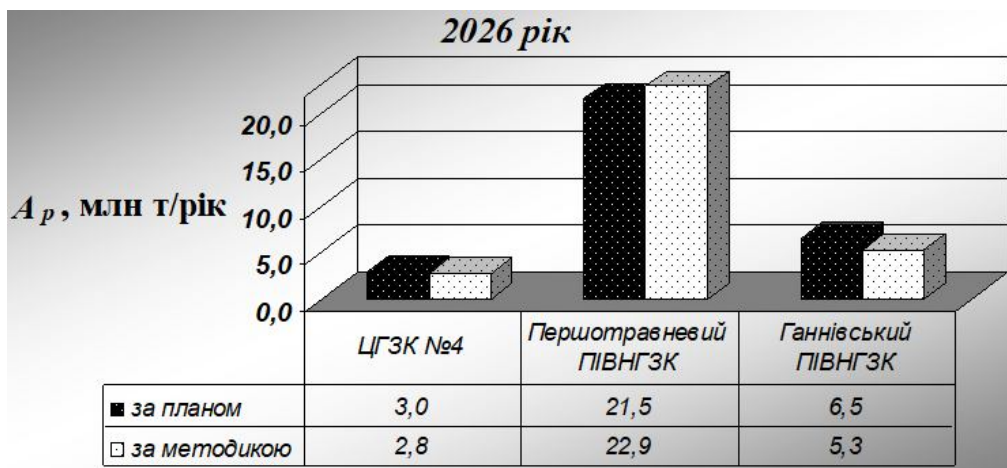


Рис. 24 – Планові та розрахункові обсяги видобутку руди кар'єрами компанії МЕТІНВЕСТ у 2026 р.

Результати оптимізації обсягів виробництва залізорудної товарної продукції представлено на рис. 24. Річні обсяги перерозподілення обсягів видобутку руди становлять 1,4 млн т, що відповідає 0,58 млн т концентрату. Різниця між приростом і втратами чистої поточної вартості грошового потоку за рахунок перерозподілення обсягів виробництва товарної продукції становить 29%. Економічний ефект від оптимізації обсягів виробництва товарної продукції компанії МЕТІНВЕСТ становить 189 млн грн.

ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, у якій поставлено й розв'язано важливу науково-прикладну проблему – розроблення й обґрунтування науково-методичних засад динамічного проектування режиму та планування розвитку гірничих робіт у залізорудних кар'єрах в умовах непередбачено мінливої потреби в залізорудній сировині. Запропонований підхід передбачає оперативну зміну інтенсивності відпрацювання родовищ залежно від динаміки потреби в залізорудній сировині на основі комплексного врахування гірничо-геологічних, технологічних й економічних факторів та їхнього взаємозв'язку, які впливають на порядок формування і розмір активної частини робочої зони кар'єру. Вирішення даної проблеми має велике наукове та прикладне значення, оскільки дозволяє суттєво підвищити ефективність освоєння сировинної бази ГЗК, як при розробці родовища одним кар'єром, так і групою останніх.

Основні наукові і практичні результати полягають у наступному:

1. Аналіз сучасного стану гірничих робіт залізорудних кар'єрів, проєктних рішень, теорії та практики визначення головних параметрів кар'єру, а також методів планування розвитку гірничих робіт свідчить про те, що недостатній рівень науково-методичної бази в галузі планування розвитку гірничих робіт, а також проектування головних параметрів кар'єрів і параметрів системи розробки в умовах динамічно мінливої потреби в залізорудній сировині не дозволяє здійснювати адекватне коригування інтенсивності відпрацювання родовищ корисних копалин унаслідок чинних досі принципів використання в проєктах заданої продуктивності за рудою при латентній (властивій плановому господарюванню) зміні потреби в товарній продукції протягом тривалих періодів роботи.

2. Установлено взаємозв'язок між параметрами системи розробки – шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту гірничих робіт, – який визначається умовами забезпечення нормативного обсягу готових до виймання запасів і просторовими обмеженнями кар'єру, установленними гірничо-геометричним аналізом кар'єрного поля. Доведено, що встановлений взаємозв'язок визначає максимально можливу продуктивність кар'єру за рудою, впливає на режим гірничих робіт і підвищує точність визначення параметрів системи розробки на 28–62%.

Ігнорування встановленого взаємозв'язку між довжиною активного фронту та шириною робочого майданчика спричиняє порушення узгодженості швидкостей переміщення рудних і нерудних уступів і призводить до накопичення відставання розкривних робіт. Так, при відхиленні фактичної довжини фронту гірничих робіт від планового значення в межах 10–50% кут укосу робочого борту кар'єру поза рудною зоною збільшується на 10–80% залежно від висоти розкривної зони.

3. Запропоновано метод визначення максимально можливої продуктивності кар'єру за гірничими можливостями, який урахує не лише максимальну інтенсивність видобутку, але й умови формування нормативних запасів, які визначаються встановленим взаємозв'язком ширини робочого майданчика та довжини активного фронту гірничих робіт. Застосування цього методу забезпечує підвищення точності визначення максимально можливої продуктивності на 30–36%.

4. Установлено взаємозв'язок продуктивності кар'єру за рудою й параметрів системи розробки, виходячи із забезпечення нормативу готових до виймання запасів, який визначає інтенсивність відпрацювання родовища при зміні цієї продуктивності. Зміна продуктивності кар'єру за рудою відбувається внаслідок зміни параметрів системи розробки, що приводить до зміни інтенсивності відпрацювання родовища. Установлено, що зі зростанням продуктивності кар'єру за рудою від мінімальної до максимальної кут укосу робочого борту зменшується на 30-36 %, тоді як інтенсивність відпрацювання родовища зростає на 80–90 %. Розроблено метод оптимізації параметрів системи розробки та активної частини робочої зони кар'єру, який дозволяє враховувати комплексний взаємозв'язок режиму гірничих робіт, продуктивності за рудою і параметрів робочої зони кар'єру, виходячи із забезпечення в кар'єрі нормативу готових до виймання запасів.

5. Установлено, що річні обсяги ліквідації відставання за розкритом необхідно визначати, виходячи з граничних обсягів ліквідації відставання й кількості гірничого устаткування, передбаченого для забезпечення виробничої потужності за гірничою масою, а також із урахуванням взаємозв'язку режиму гірничих робіт, продуктивності за рудою й параметрів системи розробки за умови забезпечення нормативу готових до виймання запасів, що обумовлює зміну поточних коефіцієнтів розкриття: зі збільшенням продуктивності кар'єру за рудою поточні коефіцієнт розкриття збільшується як за рахунок зменшення кута укосу робочого борту кар'єру, так і за рахунок короткострокового збільшення швидкості горизонтального посування кожного вищерозташованого горизонту відносно нижчерозташованого внаслідок розширення робочих майданчиків.

6. Уперше доведено, що граничний коефіцієнт розкриття для кар'єру, що проектується, необхідно визначати за техніко-економічними показниками базових підприємств, що динамічно змінюються в часі. Зі збільшенням продуктивності за рудою проєктованого кар'єру, яка обумовлює зміну режиму гірничих робіт, зростають як значення найбільших поточних, так і значення граничних коефіцієнтів розкриття незалежно від зміни режиму гірничих робіт на кар'єрах-конкурентах. Запропоновано новий розрахунковий принцип визначення границь кар'єрів, який урахує вплив режиму гірничих робіт і продуктивності за рудою з урахуванням їхнього взаємозв'язку, виходячи з умови забезпечення в кар'єрі нормативу готових до виймання запасів, а також динаміку техніко-економічних і технологічних показників діяльності кар'єрів-конкурентів. На відміну від наявних підходів, які базуються на статичних значеннях граничного коефіцієнта розкриття, запропонований принцип дозволяє підвищити точність визначення границь кар'єру на 14–45%.

7. Розроблено методику перерозподілення продуктивності групи кар'єрів, що входять до складу гірничо-збагачувального комбінату, при зміні потреби в залізорудної продукції, яка враховує взаємозв'язок режиму гірничих робіт і продуктивності за рудою кожного з кар'єрів, виходячи з умови забезпечення в

кар'єрі нормативного обсягу готових до виймання запасів, який визначається взаємозв'язком ширини робочого майданчика й довжини активного фронту гірничих робіт. Водночас допускається регулювання продуктивності окремого кар'єру при забезпеченні групою кар'єрів залізорудної товарної продукції планової кількості та якості.

8. Обґрунтовано науково-методологічний підхід до планування розвитку гірничих робіт при динамічній зміні потреби в залізорудній сировині, яка дозволяє регулювати інтенсивність відпрацювання родовища залежно від заданої продуктивності кар'єру за рудою шляхом зміни кута нахилу робочого борту кар'єру на ділянках концентрації гірничих робіт, а також протяжності й кількості цих ділянок, значення яких визначаються оптимальним співвідношенням ширини робочого майданчика та довжини активного фронту гірничих робіт, що забезпечує нормативний обсяг готових до виймання запасів. Водночас завдяки зміні порядку відпрацювання ділянок концентрації гірничих робіт можна забезпечити роботу кар'єру з мінімальним поточним коефіцієнтом розкриву.

9. На прикладі групи гірничо-збагачувальних комбінатів компанії МЕТІНВЕСТ визначено оптимальні обсяги виробництва залізорудної товарної продукції комбінатів на 2026 рік за розробленою методикою. Різниця між приростом і втратами чистого грошового потоку за рахунок перерозподілення обсягів виробництва товарної продукції становитиме 29%. Економічний ефект від оптимізації обсягів виробництва товарної продукції компанії МЕТІНВЕСТ становить 189 млн грн.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові публікації, у яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Blizniukov, V. H., & **Lutsenko, S. O.** (2017). Improvement of technical criteria for comparative evaluation of mining operation options of iron ore open pits. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 44–49. <https://www.scopus.com/pages/publications/85019068960?origin=resultslist> (**Scopus, Q3**).
2. **Lutsenko, A. S.** (2017). Open pits productivity control along with iron ore products demand variation. *Quality – Access to Success*, 18(S1), 226–229. <https://www.scopus.com/pages/publications/85007438930?inward> (**Scopus, Q4**).
3. Azarian, V., **Lutsenko, S.**, Zhukov, S., Skachkov, A., Zaiarskyi, R., & Titov, D. (2020). Applied scientific and systemic problems of the related ore-dressing plants interaction in the event of decommissioning the massif that separates their quarries. *Mining of Mineral Deposits*, 14(1), 1–10. <https://doi.org/10.33271/mining14.01.001> (**Scopus, Q2**).
4. Joukov, S., **Lutsenko, S.**, Hryhoriev, Y., Martyniuk, M., & Peregudov, V. (2020). Justification of the method of determination of the border overburden ratio. *E3S Web of Conferences*, 166, 02005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202016602005> (**Scopus**).
5. **Lutsenko, S.**, Hryhoriev, Y., Peregudov, V., Kuttybayev, A., & Shampykova, A. (2021). Improving the methods for determining the promising boundaries of iron ore open pits. *E3S Web of Conferences*, 280, 01005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202128001005> (**Scopus**).

6. **Lutsenko, S.**, Hryhoriev, Y., Kuttybayev, A., Imashev, A., & Kuttybayeva, A. (2023). Determination of mining system parameters at a concentration of mining operations. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of Geology and Technical Sciences*, 1(457), 130–141. <https://doi.org/10.32014/2023.2518-170X.264> (**Scopus, Q3**).

7. **Lutsenko, S.**, Joukov, S., & Hryhoriev, Y. (2023). Dominant determinants of adaptation of the mining complex in the conditions of a dynamic environment. *Inżynieria Mineralna*, (1)51, 15–22. <https://doi.org/10.29227/IM-2023-01-02> (**Scopus, Q4**).

8. Hryhoriev, Y., **Lutsenko, S.**, Kuttybayev, A., Ermekkali, A., & Shamrai, V. (2023). Study of the impact of the open pit productivity on the economic indicators of mining development. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254(1), 012050. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012050> (**Scopus**).

9. **Lutsenko, S.**, Zhukov, S., Hryhoriev, Y., & Titov, D. (2024). Dynamic factors of formation of mining development strategy in the conditions of incomplete certainty of the raw material market. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1319(1), 012006. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1319/1/012006> (**Scopus**).

10. **Луценко С.А.** Обоснование критерия оценки вариантов режима горных работ при переменном качестве рудного сырья. *Разработка рудных месторождений: сб. научн. трудов*. 2010. Вип. 93. С. 49–52 (**Фахове видання**).

11. **Луценко С.А.** Методика определения рационального варианта режима горных работ при переменной интенсивности отработки участков железорудного карьера. *Разработка рудных месторождений: сб. научн. трудов*. 2011. Вип. 94. С. 31–33 (**Фахове видання**).

12. **Луценко С.О.** Планування режиму гірничих робіт при розробці глибоких кар'єрів. *Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць*. 2011. Вип. 27. С. 26–30 (**Фахове видання**).

13. **Луценко С.А.**, Баранов И.В., Близнюкова О.Ю. Определение производительности карьера по руде при заданном развитии горных работ. *Гірничий вісник КНУ: зб. наук. праць*. 2012. Вип. 95 (1). С. 12–16 (**Фахове видання**).

14. Вилкул Ю.Г., **Луценко С.А.**, Близнюкова О.Ю. О проблеме отставания вскрышных работ в железорудных карьерах. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. №3 (282). С. 92–96 (**Фахове видання**).

15. Вилкул Ю.Г., Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Баранов И.В. Совершенствование методов планирования горных работ и проектирования карьеров. *Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць*. 2013. Вип. 34. С. 3–6 (**Фахове видання**).

16. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Навитный Ю.М., Савицкий А.В. Технологический критерий комплексной оценки режима горных работ и производительности карьера по руде. *Вісник Криворізького технічного університету: зб. наук. праць*. 2013. Вип. 35. С. 267–271 (**Фахове видання**).

17. **Луценко С.А.** Методика определения объемов вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде. *Вісник ЖДТУ. Житомир*, 2017. № 1 (79). С. 191–196 (**Фахове видання**).

18. **Луценко С.А.** Разработка метода определения максимальной, по горным возможностям, производительности карьера по руде. *Геотехническая механика*. Дніпро, 2016. № 130. С. 169–175 (**Фахове видання**).

19. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Баранов И.В. Определение перспективных контуров карьеров с учетом изменения условий разработки железорудных

месторождений. *Качество минерального сырья: зб. научн. праць*. Кривий Ріг, 2017. С. 134–143 (**Фахове видання**).

20. Луценко С.А. Исследование режима горных работ, обеспечивающего достижение максимально возможной производительности карьера по руде. *Вісник НТУУ "КПІ"*. Київ, 2017. Вип. 34. С. 34–40 (**Фахове видання**).

21. Луценко С.А. Определение производительности карьера по руде для различных вариантов развития горных работ. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро : Національний гірничий університет, 2017. № 52. С. 87–92 (**Фахове видання**).

22. Луценко С.О. Ліквідація відставання за розкритом при зміні продуктивності кар'єру за рудою. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. № 54. С. 60–68 (**Фахове видання**).

23. Луценко С.А. Исследование взаимосвязи параметров системы разработки при концентрации горных работ. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування: зб. наук. праць*. 2017. Вип. 4 (80). С. 194–203 (**Фахове видання**).

24. Жуков С.А., Луценко С.А. Определение объемов вскрышных работ при увеличении производительности карьера по руде. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро : Національний гірничий університет, 2018. № 55. С. 29–39 (**Фахове видання**).

25. Луценко С.А. Исследование взаимосвязи параметров системы разработки. *Вісник ЖДТУ*. Житомир, 2018. № 1 (81). С. 269–273 (**Фахове видання**).

26. Жуков С.А., Луценко С.А. Исследование влияния параметров системы разработки на отставание вскрышных работ в карьере. *Гірничий вісник*. Кривий Ріг, 2018. Вип. 104. С. 76–80 (**Фахове видання**).

27. Жуков С.О., Луценко С.О. Дослідження впливу продуктивності кар'єру за рудою і параметрів системи розробки на інтенсивність відпрацювання родовища. *Збірник наукових праць НГУ*. Дніпро : Національний гірничий університет, 2019. № 58. С. 68–74 (**Фахове видання**).

28. Луценко С.А., Близнюков В.Г. Определение годовых объемов ликвидации отставания по вскрыше при изменении производительности карьера по руде. *Труды Сатпаевских чтений*. Алмати : КазНІТУ імені Сатпаєва, 2019. Т. 1. С. 671–676.

29. Луценко С.О., Близнюков В.Г., Баранов І.В. Визначення перспективних контурів кар'єрів, що розробляють крутоспадні залізрудні родовища. *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2019. Вип. 49. С. 25–30 (**Фахове видання**).

30. Луценко С.А., Жуков С.А., Григорьев Ю.И. Методика определения объемов вскрышных работ, обеспечивающих в карьере нормальные условия для добычи полезного ископаемого. *Гірничий вісник*. Кривий Ріг, 2020. Вип. 107. С. 22–26 (**Фахове видання**).

31. Луценко С.А. Определение объемов ликвидации вскрышного отставания при изменении производительности карьера по руде. *Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць*. Кривий Ріг, 2020. Вип. 18, № 1. С. 78–82 (**Фахове видання**).

32. Joukov S., Lutsenko S., Hryhoriev Y., Shvets E., Onika S., Babiye E. Optimization of the parameters of cyclical-streaming technology in the conditions of the development of Kryvbas iron ore deposits. *Sustainable Extraction and Processing of Raw Materials Journal*. Софія, 2021. Vol. 2. P. 52–56.

33. **Луценко С.О.**, Жуков С.О., Григор'єв Ю.І., Федоренко С.О. Системні невідповідності за традиційного проектування залізрудних кар'єрів. *Гірничий вісник: наук.-техн. зб. Кривий Ріг*, 2023. Вип. 111. С. 11–17 (**Фахове видання**).

34. Hryhoriev Yu., **Lutsenko S.**, Hryhoriev I., Rybalkina I. Systematization of adaptation tools for mining enterprises to changes in the economic environment. *Geo-Technical Mechanics*. 2024. № 169. P. 171–179 (**Фахове видання**).

35. Григор'єв Ю.І., **Луценко С.О.**, Бровко Д.В., Баранов І.В., Жуков С.О. Адаптація кінцевих контурів кар'єрів №2-біс та №3 ПАТ "АрселорМіттал Кривий Ріг" в умовах динаміки гірничо-геологічних факторів. *Гірничий вісник: наук.-техн. зб. Кривий Ріг*, 2024. Вип. 112. С. 77–83 (**Фахове видання**).

36. **Луценко С.О.**, Григор'єв Ю.І., Жуков С.О., Кравцов О.В., Кравцова О.О. Детермінативи концептуального перегляду засад планування гірничих робіт з урахуванням динаміки ринку та дисбалансу обсягів видобутку руд і розкриву. *Збірник наукових праць національного гірничого університету*. 81. Дніпро, 2025. С. 37–49 (**Фахове видання**).

37. **Луценко С.О.**, Григор'єв Ю.І., Жуков С.О., Григор'єв І.Є. Ретроспективно-каузальний аналіз функціонування кар'єрів як основа розробки адаптивної моделі управління регіональним гірничодобувним кластером. *ВІСТІ Донецького гірничого інституту*. №1 (56). 2025. С. 81–93 (**Фахове видання**).

38. Баряцька Н.В., **Луценко С.О.**, Григор'єв Ю.І., Плотніков О.В., Сафронова Н.Г. Проектування та планування відкритих гірничих робіт у програмному забезпеченні MICROMINE BEYOND. *Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки*. № 3. 2025. С. 203–209 (**Фахове видання**).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

39. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Савицкий А.В. О необходимости реконструкции железорудных карьеров Кривбасса. *Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами: Міжнар. симпоз.*, 18–23 червня. 2012 р.: зб. наук. пр. Кривий Ріг: Діонис, 2012. С. 17–19.

40. Близнюков В.Г., Баранов І.В., **Луценко С.А.** Совершенствование методов определения границ карьеров. *Сталий розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 22–25 трав. 2015 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2015. С. 6.

41. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Баранов І.В., Близнюкова О.Ю. Комплексная оценка режима горных работ и производительности карьера. *Качество минерального сырья: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 22–25 трав. 2014 р.: зб. наук. пр. Кривий Ріг, 2014. С. 53–66.

42. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Баранов І.В. Определение перспективных контуров карьеров с учетом изменения условий разработки железорудных месторождений. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 25–27 трав. 2016 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2016. С. 40.

43. **Луценко С.А.** Методика определения объемов вскрышных работ при изменении производительности карьера по руде. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 24–26 трав. 2017 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2017. С. 5.

44. **Луценко С.А.** Выбор рационального порядка отработки запасов месторождения при изменении спроса на железорудную продукцию. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 23–25 трав. 2018 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2018. С. 6.

45. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Баранов И.В. Определение перспективных контуров железорудных карьеров обеспечивающих конкурентоспособность товарной продукции горно-обогатительных комбинатов. *Матеріали міжнародної конференції „Форум гірників – 2016”* – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2016. С. 64–71.

46. **Луценко С.А.** Определение граничного коэффициента вскрыши, обеспечивающего конкурентоспособность железорудного концентрата Украины на мировом рынке. *Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: Міжнар. наук.-техн. інт.-конф.*, 14 груд. 2016 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2016. С. 15.

47. Близнюков В.Г., **Луценко С.А.**, Баранов И.В. Адаптивное определение перспективных контуров карьера Полтавского ГОКа. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів: III Всеукр. наук.-практ. конф. студ., асп. та молодих вчених*, 27–28 квіт. 2016 р.: тези доп. Житомир, 2016. С. 23–25.

48. **Луценко С.А.** Определение параметров системы разработки при концентрации горных работ. *Інноваційний розвиток гірничодобувної галузі: II Міжнар. наук.-техн. інт.-конф.*, 14 груд. 2017 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2017. С. 83.

49. **Луценко С.А.** Планирование развития горных работ в карьере при изменении спроса на железорудную продукцию. *Science of the XXI century problems and prospects of researches*. Poland, 2017. Vol. 1. С. 24–28.

50. **Lutsenko S.A.**, Shvets E.N., Martyniuk M.V. Enhancement of methods of determining the boundaries of opencast mines. *International scientific and technical internet conference “Innovative development of resource-saving technologies of mineral mining and processing”*, 14 груд. 2018 р.: тези доп. Румунія, 2018. С. 106–108.

51. **Луценко С.О.**, Жуков С.О. Визначення річних обсягів ліквідації відставання за розкритом. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: V Міжнар. наук.-техн. конф.*, 23–24 листоп. 2018 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2018. С. 125–126.

52. **Луценко С.А.**, Жуков С.А. Регулирование режима горных работ для обеспечения заданной производительности карьера по руде. *Новітні технології в освіті, науці та виробництві: I Міжнар. наук.-техн. інтернет-конф.*, 18 квіт. 2019 р.: тези доп. Покровськ, 2019. С. 196–199.

53. **Луценко С.А.**, Титов Д.А., Заярский Р.С., Жуков С.А. Обоснование режима горных работ, обеспечивающего производительность карьера по рудной продукции при изменении потребности в ней. *Перспективи розвитку гірничої справи та раціонального використання природних ресурсів: VI Всеукр. наук.-практ. конф.*, 17–18 квіт. 2019 р.: тези доп. Житомир, 2019. С. 87–91.

54. **Луценко С.А.** Определение ширины рабочей площадки и длины фронта горных работ при концентрации горных работ. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 22–24 трав. 2019 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2019. С. 26.

55. **Луценко С.О.**, Жуков С.О. Дослідження режиму гірничих робіт, що забезпечують досягнення заданої продуктивності кар'єру за рудою. *Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: VI Міжнар. наук.-техн. конф.*, 22 листоп. 2019 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2019. С. 120–121.

56. **Lutsenko S.A.**, Shvets E.N., Hryhoriev Y.I. Open pits productivity control along with iron ore products demand variation. *2nd International scientific and technical*

internet conference “Innovative development of resource-saving technologies of mineral mining and processing”, 15 листоп. 2019 р.: тези доп. Румунія, 2019. С. 83–85.

57. **Lutsenko S.**, Joukov S., Peregudov V., Hryhoriev I. Rearrangement methodology of the open pits group performance as a part of the mining and processing plant. *Матеріали міжнар. конф. „Форум гірників – 2020”*, 4–5 листоп. 2020 р. Дніпро: Національний гірничий університет, 2020. С. 38–44.

58. **Луценко С.О.**, Григор'єв Ю.І. Розвиток гірничих робіт в кар'єрі при зміні потреби на залізорудну продукції. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. інтернет конф.*, 17–20 листоп. 2020 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2020. С. 4.

59. **Луценко С.О.** Визначення продуктивності кар'єру при встановленому режимі гірничих робіт. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. інтернет конф.*, 26–28 травня 2021 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2021. С. 34.

60. **Луценко С.О.**, Григор'єв Ю.І., Жуков С.О. Удосконалення методів визначення продуктивності кар'єру за гірничими можливостями. *Міжнар. наук.-техн. конф. «Розвиток промисловості та суспільства»* – Кривий Ріг, 2024. С. 69.

61. Григор'єв Ю.І., **Луценко С.О.**, Григор'єв І.Є. Інструменти адаптації гірничодобувних підприємств до динамічного середовища господарювання. *Геотехнічні проблеми розробки родовищ: матеріали XXII Міжнар. конф. молодих вчених*, 24 жовт. 2024 р. Дніпро: Інститут геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України, 2024. С. 48–50.

62. **Луценко С.О.** До питання обґрунтування взаємозв'язку ширини робочого майданчика і довжини фронту гірничих робіт. *Розвиток промисловості та суспільства: Міжнар. наук.-техн. конф.*, 28–30 травня 2025 р.: тези доп. Кривий Ріг, 2025. С. 15.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1] – обґрунтування критерію оцінки і вибору оптимального варіанту розвитку гірничих робіт, аналіз результатів; [3, 38] – аналіз матеріалів досліджень й розробка адаптивних заходів; [4] – формування ідеї, обґрунтування методики досліджень й аналіз результатів; [5, 29, 40, 42] – формування ідеї, розробка та обґрунтування методу визначення граничного коефіцієнта розкриття та розрахункового принципу визначення границь кар'єру; [6] – дослідження впливу продуктивності кар'єрів на параметри робочої зони; [7] – обґрунтування підходів до планування розвитку гірничих робіт; [8, 19, 41] – постановка проблеми, проведення теоретичних досліджень, аналіз результатів; [9, 58] – обґрунтування методики планування розвитку гірничих робіт; [13] – ідея та методика досліджень; [33, 36, 37, 39] – збір, систематизація та аналіз даних; [14, 26, 27, 28, 30, 60] – постановка проблеми, формування ідеї, проведення теоретичних досліджень й аналіз результатів; [15, 16, 32, 34, 61] – підбір вихідних даних й опрацювання результатів досліджень; [56, 57] – обґрунтування методики перерозподілу продуктивності групи кар'єрів; [24, 51] – розробка й обґрунтування методики визначення обсягів відставання розкривних робіт в залізорудних кар'єрах; [35] – гірничо-геометричний аналіз й узагальнення матеріалів досліджень; [45, 47, 50] – постановка проблеми визначення перспективних границь кар'єрів, теоретичні дослідження; [52, 53, 55] – формування ідеї, аналітичне обґрунтування обсягів розкривних робіт при збільшенні продуктивності за рудою.

АНОТАЦІЯ

Луценко С.О. Розвиток теорії проєктування режиму гірничих робіт залізрудних кар'єрів за умов мінливої потреби в руді. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 «Відкрита розробка родовищ корисних копалин». – Криворізький національний університет, Кривий Ріг, 2026.

Оснoву дослідження становить концепція узгодження продуктивності кар'єру з режимом гірничих робіт і геометрією робочої зони. Уперше встановлено взаємозв'язок між шириною робочого майданчика та довжиною активного фронту гірничих робіт, оптимізація за яким забезпечує норматив готових до виймання запасів і визначає інтенсивність відпрацювання родовища в умовах динамічно мінливої потреби в залізрудній сировині. Доведено, що саме цей взаємозв'язок визначає діапазон гнучкого коригування продуктивності та темпів освоєння запасів. Забезпечення необхідної зміни продуктивності за рудою досягається шляхом регулювання параметрів системи розробки, що впливає на геометрію робочої зони.

Виявлені закономірності в поєднанні з розробленим науково-методичним підходом до динамічного проєктування є науковою основою для формування принципів оптимізації планування розвитку гірничих робіт кар'єрів у нестабільних зовнішніх умовах.

Створено методичну базу для динамічного проєктування та планування розвитку гірничих робіт, яка охоплює визначення параметрів системи розробки, просторових характеристик робочої зони кар'єру, стану розкривних робіт, перспективних границь кар'єру та нормативу готових до виймання запасів. Запропоновані рішення уможливають оперативне коригування параметрів кар'єрів і перерозподілення продуктивності між ними в межах комбінату відповідно до змін потреби в залізрудній продукції.

Ключові слова: розвиток гірничих робіт, продуктивність за рудою, режим гірничих робіт, готові до виймання запаси, параметри системи розробки, робоча зона кар'єру, ширина робочого майданчика, границі кар'єру, граничний коефіцієнт розкриву.

ABSTRACT

Lutsenko S.O. Development of the Theory of Mining Mode Design for Iron Ore Open Pits under Conditions of Variable Ore Demand. – Qualification Research Manuscript.

Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences in the Specialty 05.15.03 – Open-Pit Mining of Mineral Deposits. – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2026.

This dissertation is a completed research work that addresses an important scientific and applied problem – the development and substantiation of scientific and methodological principles for dynamic design and planning of mining operations in iron ore open pits under conditions of unpredictable fluctuations in ore demand. The proposed approach enables operational adjustments to mining intensity based on ore demand dynamics, through the comprehensive consideration of geological, technological, and economic factors and their interrelation, which influence the sequence and size of the active part of the pit working area. Solving this problem holds significant scientific and practical value, as it substantially improves the efficiency of resource base utilization in

mining and processing plants (MPPs), both for individual pits and for groups of pits operating jointly.

Based on an analysis of existing research and practical experience in iron ore open pit operations, it has been established that most current approaches to mine design and development planning rely on static or overly simplified models that fail to account for dynamic environmental changes, atypical of conventional design practices, fluctuations in raw material demand, and the inherent production inertia of mining enterprises. Therefore, the relevance and novelty of the approach proposed in this dissertation are substantiated, as it enables timely and flexible management of mining development, improves the efficiency of resource base use, and ensures enterprise competitiveness under unstable market conditions.

The dissertation addresses a set of interrelated tasks, structured within a unified concept that integrates approaches to dynamic mine design and planning, taking into account changes in iron ore demand, operational adjustment of system parameters, and spatial optimization of the pit working area. This approach ensures integrity and consistency in decision-making at all stages of mining enterprise operation.

The core of the research is the concept of aligning pit productivity with mining schedule and the geometry of the working area. For the first time, the relationship between the working platform width and the length of the active mining front is established, which determines the normative volume of ore reserves ready for extraction. It is demonstrated that this relationship defines the range for flexible adjustment of productivity and resource development rates.

A method is proposed for determining the maximum achievable pit productivity. This method takes into account the technological configuration of the active working area and allows for the integration of mining-geometric constraints into the planning system.

Within the study, it is first proven that each value of ore productivity corresponds to a mining schedule optimized through the established interrelation of development system parameters that ensure the normative reserve level. A systemic interconnection is identified between pit ore productivity, development system parameters, and deposit exploitation intensity, considering the maintenance of normative reserves. It is shown that required productivity changes can be achieved by adjusting development parameters that influence the geometry of the working area: as productivity increases, the working slope angle decreases and exploitation intensity grows.

A method is developed for determining the optimal parameters of the development system and the active working area of the pit, which accounts for the systemic relationship among productivity, operation schedule, and geometry of the working area in the context of maintaining the required level of extractable reserves. This allows for reasoned modification of development system parameters in response to changes in external conditions.

The dissertation improves the criterion for assessing and selecting the optimal variant for mining development, based on maximizing the enterprise's annual profit expressed in physical output. The criterion emphasizes the ratio between product price and production cost, rather than their absolute values. Unlike traditional approaches that only consider the distribution and quality of ore and overburden within the pit field, the new criterion also takes into account the formation order and intensity of the working area, providing accurate comparative assessment over extended planning periods – which is particularly important for solving dynamic planning tasks.

New dependencies are established that allow assessment of how the state of the pit working area affects the annual scope of overburden backlog elimination with varying ore productivity, and the feasible productivity in transitional periods during overburden recovery.

A new calculation principle for determining the pit boundaries is proposed, based on a variable ultimate stripping ratio substantiated in the research. Unlike static methods, this principle considers the dynamics of competitors' technical, economic, and technological performance, as well as the projected pit's productivity and mining schedule. This approach increases boundary definition accuracy by 14–45% and enhances the competitiveness of the designed enterprise.

The dissertation for the first time substantiates a scientific and methodological approach to planning the development of mining operations in deep open pits. It is based on flexible adjustment of pit development parameters, accounting for the interrelation between mining schedule, ore productivity, pit geometry, and normative extractable reserves. The proposed approach enables adaptive control of deposit exploitation intensity according to demand dynamics by variably adjusting the pit's working area parameters. Moreover, it supports not only achieving target annual production metrics but also forming prerequisites for future productivity changes. This is made possible by applying the established link between development system parameters, mining-geometric characteristics, and economic constraints.

The dissertation also introduces an economic-mathematical model for optimizing ore production allocation across pits within an MPP, taking into account the current state of overburden works, reserve standards, and their interdependencies according to operational objectives. A key feature of the model is its ability to promptly and more accurately modify individual pit productivity while ensuring fulfillment of overall plant targets.

The practical efficiency of the developed model is demonstrated through its application to MPPs of the Metinvest company: production load redistribution resulted in a 29% increase in net cash flow and a total economic benefit of UAH 189 million. This confirms the proposed approach's capability to enhance the resilience of MPP production systems in unstable environments.

The research results provide a conceptual basis for designing and managing the development of mining operations in dynamic conditions. The proposed methods and models can be applied both within individual pits and across pit networks within an integrated plant. They offer maximum strategic and operational alignment of mining development plans with market conditions, technological constraints, and resource capacities. This substantially increases resource base efficiency, production system resilience, and enterprise competitiveness in the mining sector.

The dissertation formulates a comprehensive principle for aligning mining production objectives and functions – notably high flexibility, adaptability, and techno-economic balance of solutions in mine design and planning amid rapidly changing external conditions.

Keywords: mining development, ore productivity, mining schedule, extractable reserves, development system parameters, pit working area, working platform width, pit boundaries, ultimate stripping ratio.

ЛУЦЕНКО Сергій Олександрович

**РОЗВИТОК ТЕОРІЇ ПРОЄКТУВАННЯ РЕЖИМУ ГІРНИЧИХ РОБІТ
ЗАЛІЗОРУДНИХ КАР'ЄРІВ ЗА УМОВ МІНЛИВОЇ ПОТРЕБИ В РУДІ**

(Реферат)

Підписано до друку «09» березня 2026 р.
Формат 60х84/16. Папір офсетний. Гарнітура
Times New Roman. Друк офсетний. Ум. друк.
арк. 1,9. Обл.-вид. арк. 1,9. Тираж 100 прим.
Зам. № 186

Надруковано в типографії ФОП Степенко Р.Д.
02660, м. Київ, б-р М. Міхновського, 24/2
тел.: +38 (095) 672-46-42, www.urb.com.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 7205
від 03.12.2020

