

© С.О. Луценко¹, Ю.І. Григор'єв¹, С.О. Жуков¹, О.В. Кравцов¹, О.О. Кравцова¹
¹Криворізький національний університет, Кривий Ріг, Україна

ДЕТЕРМІНАТИВИ КОНЦЕПТУАЛЬНОГО ПЕРЕГЛЯДУ ЗАСАД ПЛАНУВАННЯ ГІРНИЧИХ РОБІТ З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІКИ РИНКУ ТА ДИСБАЛАНСУ ОБСЯГІВ ВИДОБУТКУ РУД І РОЗКРИВУ

© S. Lutsenko¹, Y. Hryhoriev¹, S. Zhukov¹, A. Kravtsov¹, O. Kravtsova¹
¹Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, Ukraine

DETERMINATIVES OF THE CONCEPTUAL RECONSIDERATION OF MINE PLANNING PRINCIPLES CONSIDERING MARKET DYNAMICS AND THE IMBALANCE BETWEEN ORE EXTRACTION AND WASTE ROCK REMOVAL

Мета. Метою статті є аналіз причин зниження ефективності проектування кар'єрів у зв'язку із змінами в гірничо-металургійній галузі та обґрунтування адаптаційних заходів для динамічного проектування.

Методика дослідження базується на системному аналізі функціонування таких складних і масштабних об'єктів, як гірничо-збагачувальні комбінати та комплекси, компаративній оцінці ефективності їхньої продуктивної діяльності, а також каузальному аналізі для визначення першопричин виявлених невідповідностей та їх уникнення.

Результати. Розглянуто й проаналізовано з урахуванням динамічних змін головні техніко-економічні показники гірничо-збагачувальних комбінатів Криворізького залізрудного басейну, на основі чого виявлено характерні закономірності тенденцій та флуктуації коливання обсягів видобутку руди і розкриву по комбінатах та окремих кар'єрах; основні причини, що їх зумовлюють; а також – запропоновано коригування концепції проектування з урахуванням темпорального фактора щодо його динаміки.

Наукова новизна. Виявлено системні ознаки та емерджентність гірничодобувних комплексів, що проявляється в регулярному чередуванні коливань продуктивності кар'єрів і залежності їхньої реакції від внутрішніх змін та зовнішніх чинників. На цій основі запропоновано новий підхід до визначення граничного коефіцієнта розкриву та розроблено модель оптимізації обсягів виробництва залізрудної продукції гірничо-збагачувальних комбінатів.

Практичне значення. Дослідження присвячене розробці методики визначення відхилень розкривних робіт при зміні продуктивності кар'єру за рудою та плануванню гірничих робіт за умов коливань попиту на залізрудну продукцію. Відмінність методики полягає в можливості оперативно регулювати ключові параметри кар'єру, враховуючи взаємозв'язок ширини робочої площадки та довжини активного фронту робіт, що забезпечує нормативний запас руди, готовий до виймання.

Ключові слова: динамічне проектування кар'єрів, розвиток гірничих робіт, коефіцієнт розкриву, продуктивність комбінату, параметри кар'єру, коригування планів.

Постановка проблеми. Характеризуючи поточний стан гірничодобувної промисловості України, неможливо уникнути констатації парадоксальності в ній, яка все більш загострюється і полягає в наступному.

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 – і доволі об'єктивно – залишаються передбачуваними, в той час, як за нинішніх нових умов, при майже незмінній технологічній інертності гірничого виробництва, спостерігаються безпрецедентно масштабні, глобальні, а головне – динамічні зміни в географії та продуктивності центрів чорної металургії, а відтак – кон'юнктури на світовому і регіональних ринках мінеральної сировини з відповідним коливанням попиту і цін на неї. При чому, передбачити ці коливання за даних умов 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 – по самій своїй природі – не можуть бути регулярними. А це не може не позначитися самим радикальним чином на адекватності планування, особливо в такій масштабній та інертній галузі, як гірничодобувна, адже воно базується виключно на прогнозі, на який безпосередньо накладається план.

Актуальність. Саме наведеними вище факторами зумовлюється й актуалізується проблема докорінної зміни принципів планування гірничих робіт і проєктування кар'єрів у цілому за умов невинного зростання динаміки всіх процесів у сучасному гірництві, за яких воно дедалі виразніше трансформується зі статичної в динамічну систему, нагально вимагаючи відповідного наукового забезпечення зі створенням моделі управління високої гнучкості.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На першому етапі дослідження було виконано аналіз сучасного стану гірничих робіт залізорудних кар'єрів [1, 2], типізації проєктних рішень [3, 4], чинних положень теорії та практики планування розвитку гірничих робіт і проєктування інтенсивності відпрацювання родовищ [5–7], на основі чого зроблено висновок про те, що здебільшого практика проєктування і планування в гірництві продовжує спиратися на концепції, типові й ефективні для СРСР, принаймні, до початку розпаду останнього, коли майже вся промисловість функціонувала за виключно стабільних умов [8–9]. Саме у цей період повністю й сформувалася теоретична база досконалого на той час вітчизняного проєктування кар'єрів та планування їх розвитку, найвагоміший внесок в що зробили видатні українські професори Арсентьев О.І., Новожилов М.Г., Бизов В.Ф., Близнюков В.Г., Гуменік І.Л., Четверик М.С., Шапар А.Г., Бакка М.Т. і багато інших.

Але за сучасних політичних пертурбацій та нестабільних ринкових умов ефективність освоєння сировинної бази кожного гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) значною мірою залежить від оперативності адаптивного коригування параметрів і порядку формування робочої зони глибоких кар'єрів, як в окремому з них, так і в групі кар'єрів ГЗК [10–11], що зумовлює необхідність перегляду ряду ще домінуючих, але багато в чому вже анахронічних проєктних практик, та нагально змушує розгортати глибинну модернізацію не тільки методів розробки гірничих проєктів [12], але й навіть деяких принципів, що зумовлює фактично перехід від статичного до динамічного проєктування (ДП). А усе це

вимагає відповідного означеній проблемі розвитку теоретичної бази, що й послугувало мотивацією спрямованості даних досліджень.

Завдання досліджень в означеному аспекті є надзвичайно широкими, тому мета даного їх фрагменту стосується лише розробки й обґрунтування блоково-періодичних принципів і форм планування розвитку гірничих робіт, проектування кар'єрів і параметрів системи розробки за умов високої динаміки змін параметрів виробничого і зовнішнього середовищ, оскільки недостатній, а головне – невідповідний сучасним реаліям рівень науково-методичної бази планування і проектування в умовах непередбачено мінливої потреби в залізорудній сировині не дозволяє без ДП здійснювати достатньо оперативне й адекватне коригування інтенсивності відпрацювання родовищ у відповідності до заданої продуктивності за рудою при зміні попиту на товарну руду протягом окремих періодів роботи кар'єру з різною продуктивністю.

Основна частина. В даному дослідженні мова йде здебільшого про періоди роботи кар'єру з різною, але відносно сталою продуктивністю за умов значних збурень різної природи. Настільки сталою, щоб було можливим й ефективним операційне управління та планування за певною моделлю протягом виділеного періоду, і настільки відмінною, коли граничні операнди моделі виходять за граничні для неї значення параметрів, точки яких на темпоральному континуумі освоєння аналізованого родовища й визначають межі таких періодів.

Наглядно про зміну динаміки та масштабів виробничої діяльності гірничодобувних комплексів у часі свідчать дані рисунків 1–2 і таблиці.

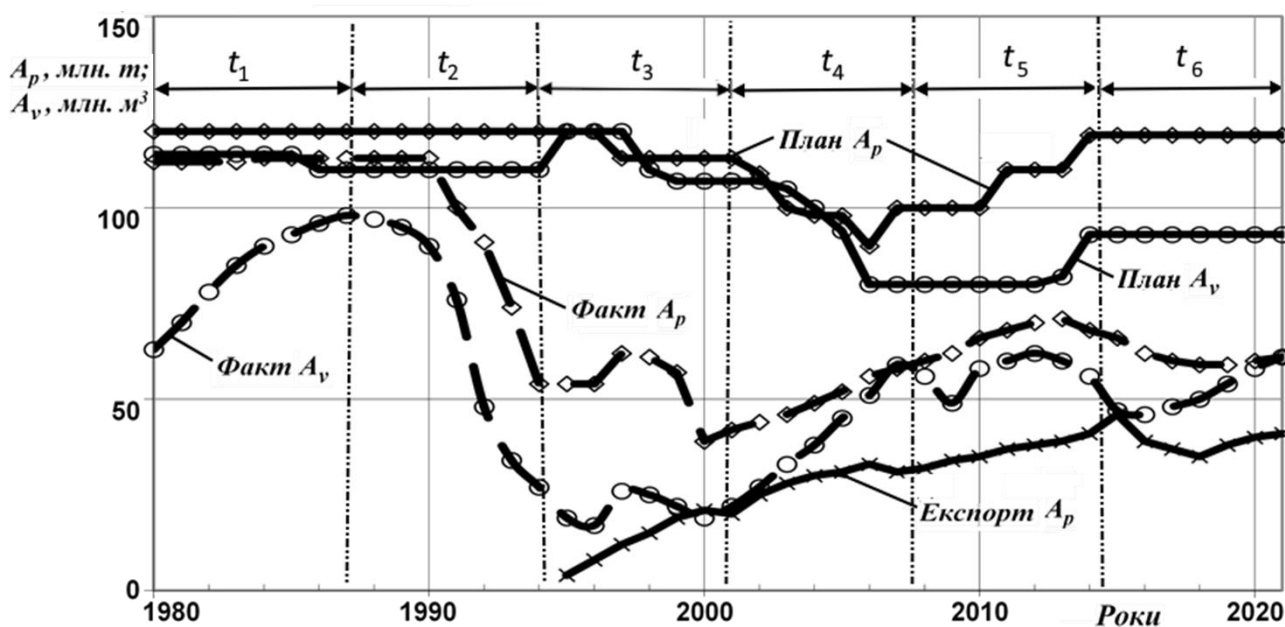


Рис. 1. Динаміка продуктивності відкритої розробки руди за періодами (t_i): проектні (◆◆◆◆) та фактичні (◆◆◆◆) обсяги видобутку руди; проектні (○○○○) та фактичні (○○○○) обсяги розкриття; ×××× – обсяг експорту рудної сировини

Таблиця

Показники видобувної діяльності залізрудних кар'єрів України

Роки	Проектна продуктивність за рудою, млн. т	Проектна продуктивність за розкритом, млн. м ³	Проектний коефіцієнт розкриття, м ³ /т	Фактична продуктивність за рудою, млн. т	Фактична продуктивність за розкритом, млн. м ³	Фактичний коефіцієнт розкриття, м ³ /т
1990	120	110	0,92	114	93	0,811
1991	120	110	0,91	100	74	0,74
1992	122	110	0,86	91	44	0,48
1993	123	105	0,89	74	34	0,47
1994	120	110	0,88	54	27	0,49
1995	125	124	1,00	61	19	0,32
1996	125	120	0,96	54	17	0,32
1997	113	113	1,00	62	26	0,43
1998	113	110	0,97	61	25	0,42
1999	113	109	0,96	57	22	0,4
2000	160	137	0,86	80	45	0,56
2001	156	139	0,86	89	51	0,62
2002	157	136	0,87	83	60	0,65
2003	157	138	0,88	87	67	0,69
2004	146	127	0,87	90	77	0,74
2005	146	127	0,87	95	81	0,82
2006	137	109	0,79	101	90	0,8
2007	148	112	0,76	108	89	0,83
2008	148	114	0,77	104	82	0,85
2009	148	109	0,74	102	93	0,8
2010	151	112	0,74	115	94	0,81
2011	158	115	0,73	119	95	0,79
2012	158	114	0,72	122	94	0,78
2013	158	116	0,73	125	94	0,75
2014	166	129	0,78	119	87	0,73
2015	167	131	0,79	113	74	0,65
2016	147	130	0,75	102	72	0,71
2017	190	131	0,69	104	73	0,71
2018	190	129	0,68	103	79	0,77
2019	190	130	0,68	106	76	0,72
2020	190	128	0,67	108	87	0,8
2021	190	128	0,67	109	84	0,77

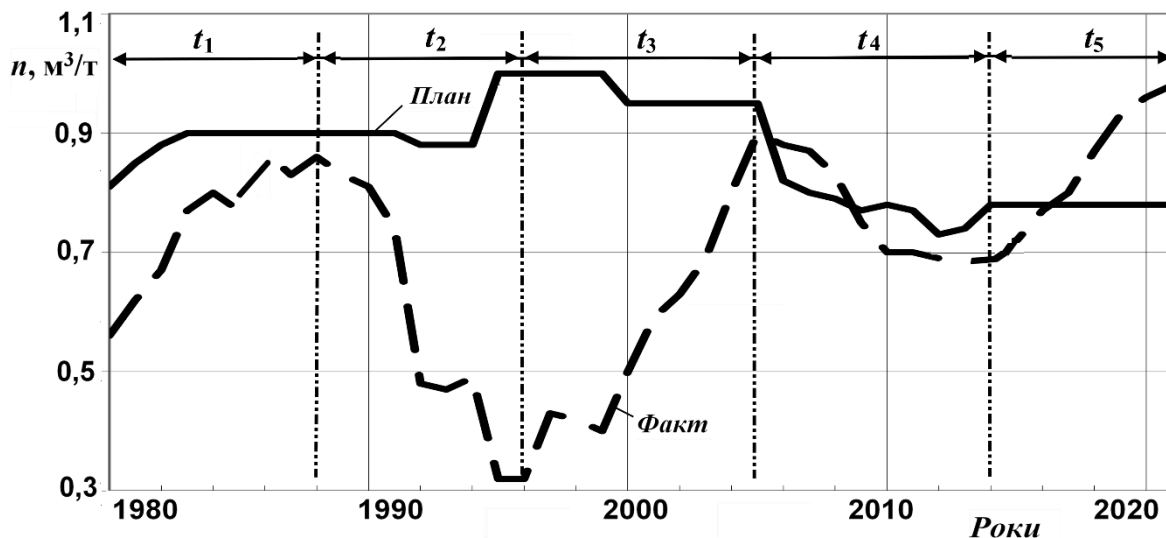


Рис. 2. Регулярний характер динаміки зміни фактичного коефіцієнта розкриття (n) залізрудних кар'єрів за періодами (t_i)

Нагадуємо, що гірничодобувний регіональний комплекс Кривбасу по суті своїй є єдиною умовно закритою складною динамічною виробничо-економічною системою (ВЕС), в якій її функціонально стереотипні складові (окремі ГЗК), незалежно від того, чи керовано, чи спонтанно, але в силу цієї обставини є взаємозалежними, тому — цілком закономірно — дана ВЕС, згідно з теорією систем і системного аналізу [13], має та виявляє свої емерджентні властивості. В даному випадку вони полягають в тому, що узагальнені показники функціонування нашої ВЕС можна розглядати як певний оптимум. Навіть, незважаючи на відсутність спрямованої на це узгодженої взаємодії різних власників ГЗК. Але, мова йде не про ефективність сумарних комбінацій (оптимізація чого є кінцевим завданням наших досліджень), а лише про їх фактичний результат.

Наступний приклад (рис. 3) наглядно й переконливо ілюструє, наскільки згладжуються на кумулятивному графіку усіх ГЗК Кривбасу майже хаотичні аналогічні криві по кожному з аналізованих кар'єрів окремо, що буде прокоментовано нижче.

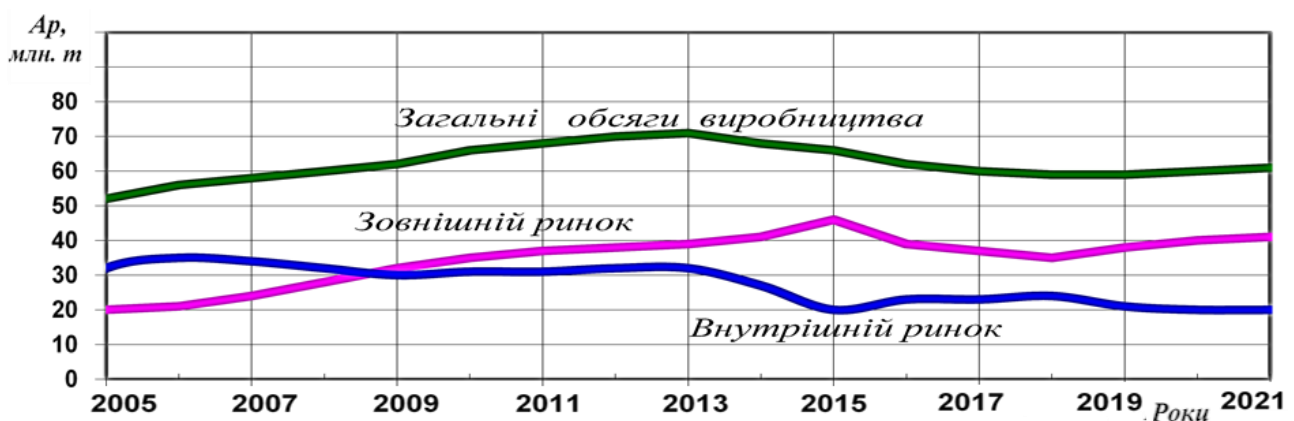


Рис. 3. Динаміка поставок ЗРС на внутрішній і зовнішній ринки, млн. т

Зрештою, очевидним є факт прояву здатності розглянутої ВЕС до певної саморегуляції, що підтверджує робочу гіпотезу, закладену початково при плануванні дослідження, стосовно існування подібної властивості кар'єр-системи як емерджентного прояву.

Деякі з опонентів представленого трактування розглянутих спостережень стверджують, що мова йде зовсім не про емерджентність системної сукупності ГЗК, а пояснюється виключно дією галузевих регуляторів, але такі трактовки мають певний сенс лише за період існування виробничого об'єднання «Укррудпром», яке включало в себе усі ГЗК країни і цілеспрямовано керувало координацією їх виробничої діяльності. Але після ліквідації «Укррудпрому» і появи нових власників ГЗК виявлена закономірність, хоч і значно слабкіше, залишилася, що пояснювати простим збігом обставин стало вже зовсім недоречним.

Відносно наукового супроводу проектування сучасних глибоких залізородних кар'єрів означені вище обставини значною мірою зумовили відставання теорії від практики і варто визнати, що на сьогоднішній день розрив цей збільшується. Детермінативами за цих умов виступають різноманітні фактори, але ускладнення структури гірничих ВЕС й особливо динаміка процесів взаємодії в них і між ними невпинно зростають та набувають усе більшого значення, тому головними пріоритетами за даних умов і цілей дослідження стають системність об'єктів останнього й актуальність розвороту оптимізації їх від доволі спонтанної до керовано узгодженої. Можливість і навіть реалізацію останнього наглядно ілюструє рис. 4, який відображає доволі адекватне планування й реалізацію взаємозалежних процесів розкриття покладів та видобутку з них руди.

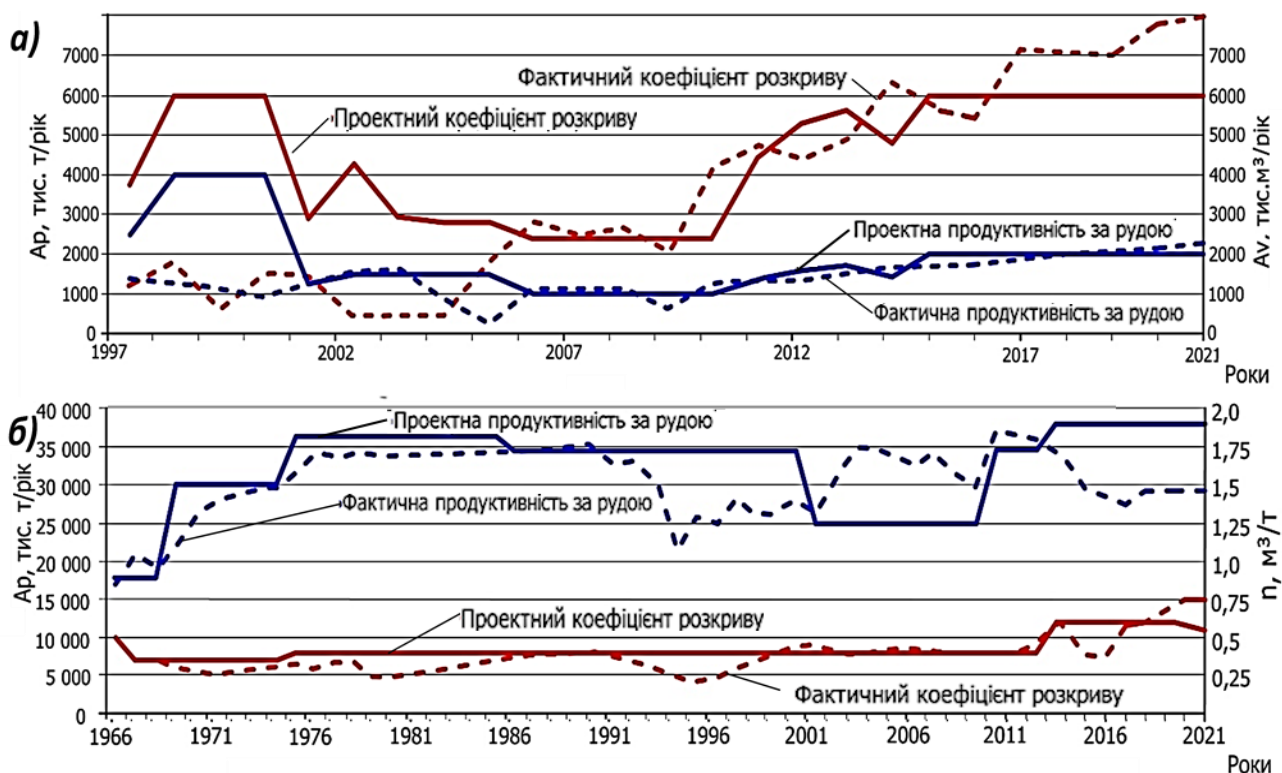


Рис. 4. Динаміка проєктних і фактичних обсягів видобутку руди та розкриття:
а) – в кар'єрі №4 ЦГЗК; б) – в кар'єрі ІнГЗК

З іншого боку, необхідно враховувати також *можливості* самого підприємства щодо оперативного нарощування ним власної виробничої потужності по руді до необхідного рівня. І не просто, а з урахуванням закономірної інертності кар'єр-системи, причому, як технологічної, так і ресурсної. Технологічна – залежить від тривалості необхідної реструктуризації технологічного комплексу (машинної рекомбінації) і виводу його на нові параметри. Ресурсна – залежить від відповідності наявних обсягів готових до розробки покладів (фронтів робіт) повному завантаженню реструктуризованого технологічного комплексу, і визначається тривалістю забезпечення такої відповідності. А в означеному динамічному контексті *оперативність* ресурсної адаптації системи, порівняно з адаптацією технологічною, різко знижується внаслідок можливої необхідності виконання певних обсягів гірничих робіт для нарощування належних фронтів робіт.

Якщо наведене вище розглядається виключно в контексті *проектування* кар'єрів, то перегляду підлягають здебільшого параметри системи розробки і технологічного комплексу, що коригується відносно швидко і просто. Якщо ж – *планування*, то, за умов високої волатильності вирішальних факторів цільового для кар'єру зовнішнього середовища (бізнес-середовища), традиційні методи розробки й аналітичного обґрунтування виробничих графіків, проєктів та програм стають непридатними, тому, власне, саме для таких ситуацій і пропонується нами динамічний принцип (ДП), за якого основними аргументами моделей стають часові проміжки (тривалості процесів, операцій), а критеріями – швидкість заданих цільових перетворень функцій проєктованих систем.

Наведене вище переконливо підтверджує, що, з огляду на частоту виникнення і слабку передбачуваність причин, які зумовлюють необхідність зміни проєктних рішень, існує постійна наукова проблема саме системного обґрунтування алгоритмів розвитку гірничих робіт при нетипово динамічній зміні потреби в залізорудній сировині, як реакції на це з боку кар'єр-системи.

Оскільки ж остання має дві головні ієрархічно залежні підсистеми: а) домінуючу – рудовидобувну і б) підлеглу, яка забезпечує першу – розкривну, приймаємо за базовий принцип пріоритетність першої. Тобто, в проєктуванні (моделюванні) рудній підсистемі надається мінімум обмежень, виходячи з постановки її цільової функції, як правило – заданої продуктивності, але вже не за максимально можливою стабільністю, як раніше, – а в ДП – з урахуванням характеру періодичних коливань: керованих, які задаються проєктом або програмою, чи спонтанних, що компенсуються введенням коригуючих адаптерів.

На відміну від ситуації, представленої на рис. 4, внаслідок різних причин, а частіше – збігів об'єктивних та суб'єктивних обставин, частіше реалізується зовсім інша динаміка (рис. 5, 6).

На першому з них (рис. 5) показано, як внаслідок таких збігів, після виходу відхилень виробничих параметрів за допустимі (критичні) межі, система реагує адекватно і цілеспрямовано повертається в режим, наближений до запланованого, прикладом чого певною мірою може слугувати рис. 4. Ми бачимо, як після відхилення параметра від планового, з системною реактивною затримкою, він керовано коригується. На рис. 5,а – більш оперативно в період 1981–2022 рр.; на

рис. 5,б – менш оперативно (більш інертно); на 5,в – зі ще більшим запізненням. Хоча на 5,б і 5,в видно, що мова йде саме про запізнення керованого втручання, а не про інертність самої кар'єр-системи, так як після певних дат (часових реперів) вона реагує так само оперативно, як і звичайно.

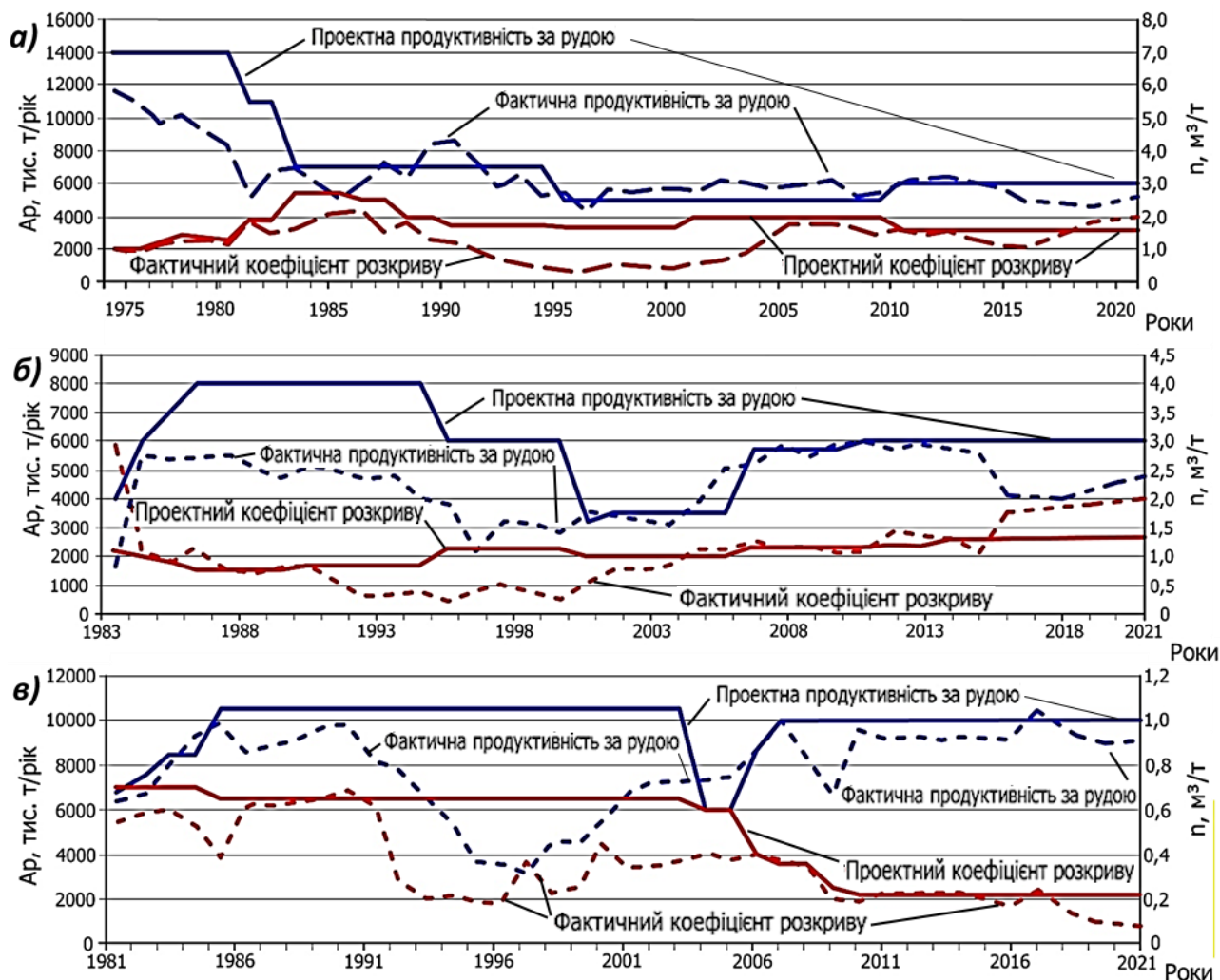


Рис. 5. Динаміка проектних і фактичних обсягів видобутку руди та коефіцієнтів розкриття в кар'єрах: а) – №1 ЦГЗК; б) – №3 ЦГЗК; в) – № 2-біс АрселорМіттал Кривий Ріг

По суті мова йде про можливості й ефективність дозованого маніпулювання реактивністю взаємодіючих підсистем, але діапазон такого прийому має повністю відповідати динаміці параметричних еволюцій системи адекватно змінам характеристик зовнішнього середовища для найбільш повного їх узгодження, тому вимагає виключно надійного обґрунтування, адже необхідно забезпечити роботу найбільш інертного розкривного комплексу максимально стабільною.

На рис. 6 – навпаки: або внаслідок форс-мажорів, або неадекватних (помилкових) рішень, або з інших специфічних причин, система розбалансовується і відхилення від запланованого в ній ускладнюються та посилюються вже явно некеровано. Лише на рис. 6,а і 6,б спостерігається після 2007 р. і то з певним «натягом» тенденція до вирівнювання ситуації, але, чи внаслідок підвищення

компетентності керування й адекватності втручання його в систему, чи – чисто флуктуаційних випадковостей, визначити напевне неможливо внаслідок надто обмеженої для цього тривалості оцінюваного періоду.

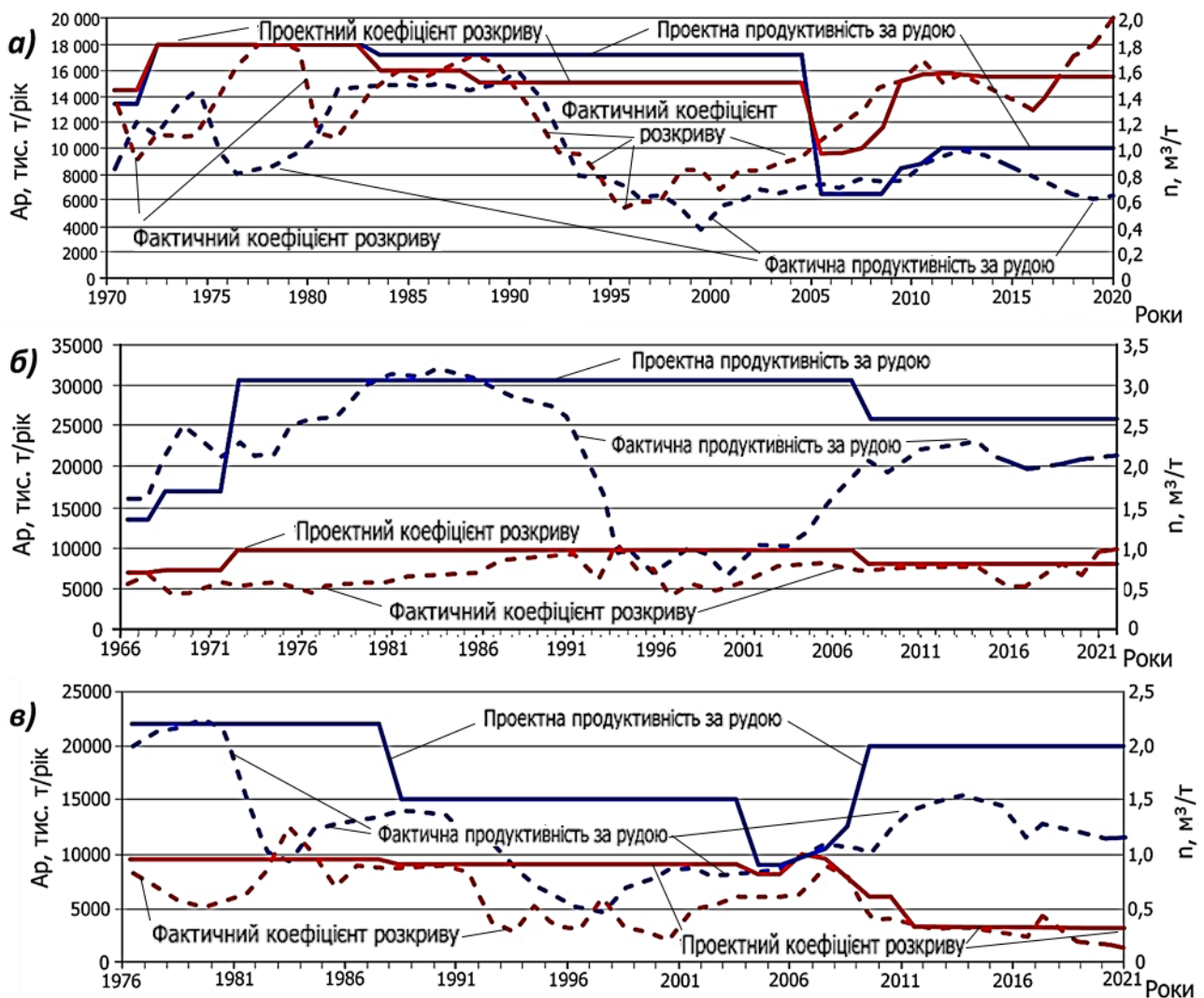


Рис. 6. Динаміка проєктних і фактичних обсягів видобутку руди та коефіцієнтів розкриття в кар'єрах: а) – Ганнівському ПівнГЗК; б) – Першотравневому ПівнГЗК; в) – № 3 АрселорМіттал Кривий Ріг

Але чітке визначення причинно-наслідкових зв'язків кар'єр-системи та їх цілком закономірних наслідків є надзвичайно важливим і має принципове значення, враховуючи акцентовані вище масштаби й інертність глибоких залізрудних розробок, за умов непередбачувано зростаючої динаміки об'єктивно незалежних зовнішніх процесів і факторів, з одного боку, та відносно коротких (вимушено) періодів внутрішнього планування, з іншого, з огляду на те, що за таких умов принципово інакше від існуючої нині практики мають розраховуватися як допустимі обсяги розкриття за «квантованими» етапами (див. рисунки 1 і 2). Сутність чого полягає в максимально можливому використанні адаптивних властивостей функціональних підсистем кар'єр-системи, а залежить за даних умов ДП виключно від надійності прогнозування динаміки знакозмінних коливань попиту

і зумовленої цим вимушеної продуктивності за рудою. Самі ж «адаптивні можливості» допускають короткочасну роботу певного комплексу в стресовому режимі – з перенавантаженням, що дає змогу тимчасово цілеспрямовано і безпечно допустити заборгованість за розкритом, яку буде ліквідовано невдовзі саме за рахунок стресової здатності комплексу, але застосування такого режиму вимагає обов'язкового компенсаторного відновлення останнього в наступному, що значно ускладнює планування та навіть може звести доцільність використання даних переваг нанівець.

Приймаючи концепцію ДП, неможливо залишити без уваги проблему оціночних критеріїв. З рисунку 7 видно, що відмічені коливання випуску руди практично ніяк не корелюють зі змінами ціни на неї. І саме це вимагає значного коригування *критеріїв* оцінки ефективності проєктних рішень та прогнозування їх наслідків за різними етапами планування: безпосередніх і більш віддалених.

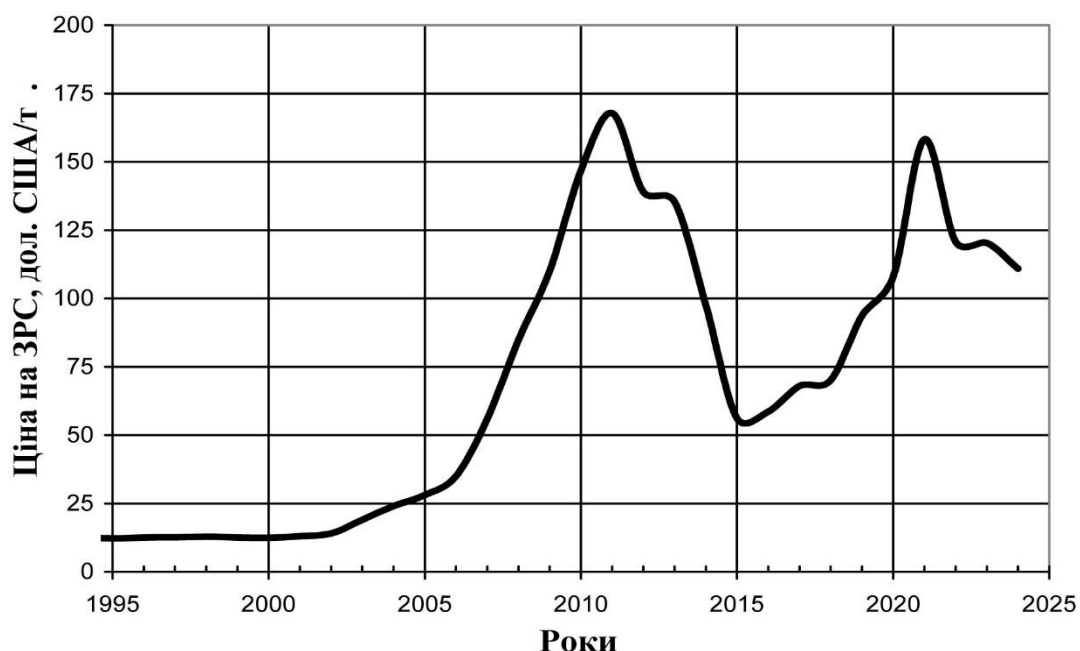


Рис. 7. Динаміка цін на залізорудну сировину

Економічні критерії оцінки розвитку гірничих робіт є найбільш загальними й об'єктивними. Однак, різнотипний характер пошуку оптимального розвитку гірничих робіт ускладнює використання цих критеріїв. Крім цього, при оцінці діяльності підприємства за тривалий період будуть істотно змінюватися, як витрати на виробництво, так і вартість товарної продукції. Зміна цих показників залежить від багатьох факторів, що важко підлягають прогнозуванню, внаслідок чого економічна оцінка навіть одного і того ж варіанту за показниками розрахункового року і по закінченню робіт будуть несумісними. Тобто, за економічними критеріями точна порівняльна оцінка варіантів роботи кар'єру протягом тривалого періоду – практично неможлива. Тому при розробці таких критеріїв доцільніше враховувати не значення ціни і собівартості товарної продукції, а їх співвідношення, що дозволить, підвищити точність розрахунків.

Крім того, при оцінці за економічними критеріями немає впевненості в тому, що найкращий (оптимальний) варіант увійшов в число розглянутих на стадії проєктування: значний обсяг громіздких кошторисно-фінансових розрахунків обмежує кількість розглянутих варіантів з можливих. Зазвичай оцінюють два-три варіанти, запропоновані гірничими відділами. При цьому гірники планують варіанти для *економічної* оцінки, користуючись загальноприйнятими *технологічними* критеріями (коефіцієнт розкриву, коефіцієнт гірничої маси, продуктивність за рудою). Тому природним є прагнення запроєктувати більшу продуктивність за рудою за менших обсягів розкриву. Зрештою вибирається *раціональний* варіант із запропонованих проєктувальниками, а *оптимальний* може бути навіть невизначеним на стадії проєктування.

У свою чергу основні технологічні показники корисної копалини, які визначають економічні показники розробки родовища (типи руд, вміст в них заліза, потужність і форма покладу, його просторове розташування в кар'єрному полі тощо) зумовлюються природою і залишаються практично незмінними. Тому для оцінки варіантів розвитку гірничих робіт у даному контексті доцільніше використовувати саме технологічний критерій. У цьому випадку за прийнятої технології видобутку руди і переробки її до товарної продукції на конкретному підприємстві за інших рівних умов, ефективність роботи гірничого підприємства буде визначатися обсягами руди і порожніх порід, а також інтенсивністю і часом їх відпрацювання – що є прерогативою саме ДП.

Свідчить про доцільність і значення ДП також каузальний аналіз показників діяльності кар'єрів, результати якого переконливо підтверджують, що гірничодобувні підприємства не можуть забезпечити достатньо гнучке реагування на спонтанну зміну внутрішнього і зовнішнього попиту на продукцію за неминучого зростання кінцевих (сумарних) витрат на розробку її покладів, так як існуючі нормативні методи планування розвитку гірничих робіт і проєктування кар'єрів не забезпечують та навіть не передбачають адекватної зміни інтенсивності відпрацювання родовищ протягом періодів відмічених коливань і їх флуктуацій. За цих умов інтенсивність відпрацювання кожного родовища (покладу) має обов'язково і своєчасно коригуватися відповідно до зміни зовнішніх умов, а також, виходячи з максимальної ефективності освоєння сировинної бази в разі спільної роботи групи кар'єрів у системі комбінату або ВЕС іншої ієрархії.

Узагальнення результатів виконаного нами аналізу функціонування гірничо-збагачувальних комбінатів України й інших країн ліг в основу ідеї та робочих гіпотез стосовно можливостей вирішення проблеми динамічного проєктування і планування шляхом своєчасного, або навіть випереджаючого – превентивного регулювання головних параметрів кар'єрів й оптимізації їх сполучення, а також просторового освоєння кар'єрного поля за допомогою науково обґрунтованого, чітко визначеного, але в той же час і достатньо гнучкого управління розвитком гірничих робіт.

Висновки та перспективні напрямки подальших досліджень. Дослідження динаміки продуктивності залізрудних комбінатів за обсягами рудної сировини та розкритом виявили сталу і доволі чітку закономірність регулярних

періодичних коливань фактичних показників в межах проміжків тривалістю 6–7 років, та 8–9 років щодо коефіцієнта розкриву, що стало підставою для формулювання ідеї «квантування» ретроспективного аналізу і перспективного планування гірничих робіт і розвитку кар'єрів за відповідними періодами.

Основоположним при визначенні економічної ефективності будь-якого рішення, що оцінюється, є зіставлення витрат і результатів процесу. А за умов підвищення темпів зміни некерованих характеристик зовнішнього середовища єдиним адаптивним інструментарієм управління кар'єр-системами стає кероване квантовано-перманентне регулювання їх параметрів. Тому формулювання й обґрунтування технологічного критерію оцінки розвитку гірничих робіт має зрештою розроблятися з урахуванням не тільки самих змін, але й швидкості змін поточного прибутку від реалізації товарної продукції в залежності від змінних показників гірничих робіт: коефіцієнта розкриву, продуктивності кар'єру за рудою, якості корисної копалини і товарної продукції. Системно такі завдання можна реалізувати виключно методами динамічного проектування.

Перспективними напрямками подальших досліджень мають стати оптимізаційні обґрунтування параметричної адаптації об'єктів і процесів залізрудних кар'єрів до динамічної зміни зовнішніх та внутрішніх умов, а також розробка науково обґрунтованих прикладних методів динамічного проектування.

Перелік посилань

1. Інститут геологічних наук НАН України. (2025). *Залізні руди. Поширення, генезис, видобування*. <https://insgeo.com.ua/zalizo/>
2. Білецький, В.С. (2021). Корисні копалини. «Україна. 30 років незалежності». *Стислий довідник*, 175–178.
3. Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничого нагляду. (2004). *Наказ від 19 липня 2004 р. № 161 «Про затвердження Правил безпеки під час поводження з вибуховими матеріалами промислового призначення»*. *Офіційний вісник України*, 2004(30), 2042. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0846-04/print>
4. Управління інспекційної діяльності у Тернопільській області Південно-Західного міжрегіонального управління Державної служби з питань праці. (2021). *Методичні рекомендації щодо розробки планів розвитку гірничих робіт*. <https://te.dsp.gov.ua/metodychni-rekomendatsiyi-shhodo-rozrobky-planiv-rozvytku-girnychyh-robot/>
5. Дриженко, А.Ю. (2014). *Відкриті гірничі роботи: підручник*.
6. Грін'юв, В.Г., & Хорольський, А.О. (2021). Нові підходи і результати досліджень по раціоналізації відпрацювання родовищ корисних копалин. *Fiziko-tehnicheskie problemi gornogo proizvodstva*, 23, 174–199.
7. Каплунов, Д.Р., & Юков, В.А. (2013). *K otsenke intensivnosti ekspluatatsii rudnikh mestorozhdenii*, 1, 174–199.
8. Білецький, В. С. (Ред.). (2004). *Гірничий енциклопедичний словник* (Т. 3, 752 с.). Східний видавничий дім.
9. Білецький В., & Суярко В. (2005). Корисні копалини України. *Т.9: Техніка, гірнича справа, хімія, медицина, біологія*, 6–34.
10. Hryhoriev, Y., Lutsenko, S., & Joukov, S. (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>
11. Sergey, L. (2017). Open pits productivity control along with iron ore products demand variation. *Quality-Access to Success*, 18 (S1), 226–230.

12. Луценко С. О., Григор'єв І. Є., Швець Є. М., & Куроп'ятник І. П. (2024). Динамічне проектування техніко-економічних показників відкритих гірничих робіт за допомогою нейромережових технологій. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*, (76), 33–41. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/76.033>
13. Чорней, Н.Б., & Чорней, Р.К. (2005). *Теорія систем і системний аналіз*. МАУП.

ABSTRACT

Purpose of the article is to analyze the reasons for the decrease in the efficiency of open-pit design due to changes in the mining and metallurgical industry and to justify adaptation measures for dynamic design.

The research methodology is based on a systematic analysis of the functioning of such complex and large-scale facilities as mining and processing plants and complexes, comparative assessments of the efficiency of their productive activities, as well as causal analysis to determine the root causes of the identified discrepancies and their avoidance.

Findings. The main technical and economic indicators of the mining and processing plants of the Kryvyi Rih iron ore basin were considered and analyzed, taking into account dynamic changes, on the basis of which characteristic patterns of trends and fluctuations in the volume of ore and overburden production by plants and individual open-pits were identified; the main reasons that determine them; and also – adjustments to the design concept were proposed, taking into account the temporal factor in its dynamics.

The originality. Systemic features and emergence of mining complexes have been identified, which is manifested in the regular alternation of fluctuations in the productivity of open-pits and the dependence of their reaction on internal changes and external factors. On this basis, a new approach to determining the limiting overburden ratio has been proposed and a model for optimizing the production volumes of iron ore products of mining and processing plants has been developed.

Practical implementation. The study is devoted to the development of a methodology for determining deviations in overburden operations when changing the productivity of the open-pit for ore and planning mining operations under conditions of fluctuations in demand for iron ore products. The difference of the methodology lies in the ability to quickly adjust the key parameters of the open-pit, taking into account the relationship between the width of the working platform and the length of the active front of the works, which provides a regulatory reserve of ore ready for extraction.

Keywords: *dynamic open-pit design, mining development, overburden ratio, plant productivity, open-pit parameters, plan adjustments.*