

УДК 622.72:622.341

© В.А. Азарян, С.А. Жуков

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЯКОСТІ ФІНАЛЬНОГО РУДОПОТОКУ НА ПРОГНОЗНИЙ ПРИБУТОК ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНОГО КОМБІНАТУ

© V. Azarian, S. Zhukov

## THE RESEARCH OF THE INFLUENCE OF THE QUALITY OF THE FINAL ORE-FLOW ON THE FORECAST PROFIT OF THE IRON-ORE MINING PROCESSING PLANT

**Мета** досліджень – встановлення впливу якісних характеристик фінального рудного вантажопотоку залізородного ГЗК на показники прогнозного прибутку комбінату: проблема зниження загальної собівартості виробництва та за рахунок цього підвищення прибутку гірничо-збагачувальних комбінатів України може бути вирішеною шляхом мінімізації витрат на збагачення сировини шляхом формування фінальних рудопотоків з чітко заданими показниками якості, що забезпечують оптимальні режими роботи збагачувального комплексу.

**Методика** досліджень полягає в обґрунтуванні імітаційної моделі, побудованої на основі статистичних даних, та отриманні на її основі залежностей прогнозних значень прибутку гірничо-збагачувального комбінату від середньоквадратичного відхилення (СКВ) вмісту корисного компонента (в.к.к.) фінального рудопотоку ГЗК.

**Досліджено** вплив коливань вмісту корисного компонента фінальних рудопотоків залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів на показник прогнозного прибутку з урахуванням крупності подрібнення. Розглянуто взаємозв'язок вмісту корисного компонента фінального рудопотоку, сформованого в заданому граничному діапазоні, на собівартість процесу збагачення. З застосуванням імітаційного моделювання отримано залежності прогнозного прибутку залізородних ГЗК України від середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення.

**Наукова новизна** полягає у тому, що аналітичним обґрунтуванням удосконалено економіко-математичну модель формування фінального рудопотоку з амплітудою коливань вмісту корисного компонента в гарантованих межах на основі встановленої залежності прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату від стабільності цього вмісту в рудопотоці при заданому значенні середньоквадратичного відхилення в.к.к.

**Практичне значення** досліджень полягає в установленні залежності: збільшення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці гірничо-збагачувального комбінату на одиницю – знижує прогнозний прибуток ГЗК до 100 млн. грн. на рік.

**Ключові слова:** *фінальний рудопотік, вміст корисного компонента, прогнозний прибуток комбінату, середньоквадратичне відхилення, амплітуда коливань якості*

**Проблема та її зв'язок з практичними завданнями.** Відомо, що якісні характеристики продукції гірничо-збагачувального комбінату зумовлюють величину її відпускну ціни та дохід підприємства. Ціна одиниці продукції в свою чергу прямо взаємозв'язана з показником прибутку та собівартості.

Процес падіння світових цін на залізорудну сировину, який хвилеподібно триває і сьогодні, зумовив різке скорочення прибутку залізорудних ГЗК України, погіршив практично всі техніко-економічні показники цих підприємств і знизив їх конкурентоспроможність на світових ринках сировини.

В умовах нестабільності економіки України, низьких цін на залізорудну сировину та зростання конкуренції на світовому ринку проблема зниження собівартості гірничого виробництва була і залишається досить актуальною. Основні способи вирішення її визначено і зводяться вони до оптимізації витрат виробничих процесів, підвищення ефективності інвестицій та гнучкого реагування на цінові коливання ринку збуту готової продукції [1].

**Аналіз досліджень.** Аналіз розподілу собівартості за технологічними процесами залізорудних ГЗК України свідчить про те, що більша частина витрат припадає на процес переробки сировини: 59 % – ПАТ «Полтавський ГЗК», 60 % – ПрАТ «Центральний ГЗК», 57 % – ПАТ «Південний ГЗК», та 61 % – ПрАТ «Північний ГЗК» [2].

В останні роки – на фоні падіння загальносвітових цін на продукцію – в залізорудних ГЗК України відбувається зниження прибутку до мінімальних показників. За цих умов стабілізація та підвищення прибутку гірничо-збагачувальних комбінатів реально можливим є шляхом зниження собівартості продукції за рахунок оптимізації найбільш витратного процесу – переробки рудної сировини.

**Постановка завдання** Проблема зниження загальної собівартості виробництва та за рахунок цього підвищення прибутку залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів України може бути вирішеною шляхом мінімізації витрат на збагачення руд шляхом формування фінальних рудопотоків із заданими показниками якості, що забезпечують оптимальні режими роботи збагачувального комплексу.

**Викладення матеріала і результатів.** Формування фінальних рудопотоків ГЗК із заданими показниками якості, що забезпечують оптимальні режими збагачення, стає можливим при комплексному підході, який включає в себе наступні складові: експлуатаційна дорозвідка (каротаж); оперативний контроль якості на всіх етапах гірничого виробництва з обробкою інформації на центральному сервері; підвищення якості БВР; застосування різних схем попереднього збагачення для відсікання некондиційної гірничої маси; підвищення ефективності роботи виймально-навантажувального і транспортного устаткування за рахунок систем гірничо-транспортної диспетчеризації; мікширування при формуванні фінального рудопотоку з

використанням, як власних сировинних ресурсів (кар'єри, усереднювальні склади, техногенні родовища), так і зовнішніх джерел сировини.

Отримання підсумовуючого ефекту від об'єднання перелічених вище складових дозволить ефективно управляти якістю при формуванні фінальних, генералізованих щодо технології управління сировинною якістю, рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

Амплітудні коливання якості рудного потоку – неминучі, але досить важливим показником є їх обмеження визначеним діапазоном і забезпечення дотримання цього діапазону. Даний діапазон обмежується розрахунковим показником допустимої величини сереньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента від заданого значення.

Межі діапазону визначаються умовами збагачувального виробництва. Можливість забезпечити заданий вміст корисного компонента у вхідній руді рудозбагачувальної фабрики (РЗФ) дозволяє витримати оптимальний режим збагачення, за якого забезпечуються найбільш раціональні технологічні й економічні показники.

Відомо, що прибуток ГЗК визначається за формулою

$$\Pi = \sum(Q \times C \times \gamma) - \sum(Z_6 + Z_3), \quad (1)$$

де  $Q$  – обсяги видобутку руди за обліковий період;

$C$  – відпускна ціна за 1 т концентрату (величина, що змінюється в часі);

$\gamma$  – вихід концентрату,  $\gamma = \varepsilon \cdot \alpha / \beta$ ;

$Q \cdot \gamma = Q_k$  – обсяг концентрату за обліковий період;

$Z_6$  – загальні витрати на видобуток корисних копалин;

$Z_3$  – витрати на збагачення корисних копалин [3].

По суті,  $\sum(Z_6 + Z_3)$  є собівартістю технологічного циклу видобутку і переробки, тобто

$$\sum(Z_6 + Z_3) = \sum(C_{розкр.} + C_{видоб.} + C_{збагач.}). \quad (2)$$

Собівартість процесу збагачення в свою чергу є функцією від наступних показників:

$$C = f(R_k, R_{\phi}, R_e, R_g, R_{zn}), \quad (3)$$

де  $R_k$  – витрата куль;

$R_{\phi}$  – витрата футерування млинів;

$R_e$  – витрата електроенергії;

$R_g$  – витрати води;

$R_{zn}$  – витрати на заробітну плату.

Ще одним важливим показником при збагаченні залізних руд є величина розкриття зерен руди в процесі подрібнення, що характеризується розміром подрібнення. Подрібнення є найбільш витратним при збагаченні залізних руд, займаючи до 70 % в собівартості цього процесу, а собівартість збагачення займає більшу частину (до 60 %) в структурі собівартості всього гірничо-збагачувального виробництва.

Таким чином, можна зробити висновок, що витрати на процес подрібнення істотно впливають на формування витрат всього залізорудного комбінату. Взаємозв'язок між величиною витрат на подрібнення й загальними витратами залізорудного ГЗК використовується в імітаційному моделюванні залежності величини прогнозного прибутку комбінату від середньоквадратичного відхилення фактичного вмісту корисного компонента за різних значень крупності подрібнення.

Відомо, що, чим більшою є ступінь подрібнення – тим більше розкриття зерен і витяг в метал, тим менше втрат в хвостах. Однак, чим більше відбувається подрібнення – тим істотніше зростають витрати матеріальні та енергетичні на збагачення, тим вищі загальні витрати. Також при цьому спостерігається падіння продуктивності збагачувального виробництва за рахунок збільшення часу циклу подрібнення.

Розглянемо вплив коливань якості у вхідній руді збагачувального комплексу на величину прогнозного прибутку ГЗК на базі імітаційного моделювання. Програма, що дозволяє реалізувати моделювання процесу у вигляді різноманітних розрахунків для різних масивів значень, у якості вихідних даних використовує статистичні дані, отримані за основними техніко-економічними показниками роботи гірничо-збагачувальних комбінатів, які зведено у таблиці прогнозних значень прибутку за різних значень середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці з урахуванням крупності подальшого подрібнення вхідної руди збагачення.

Принцип формування вихідних даних моделі ґрунтується на таких основних положеннях: прибуток підприємства є функцією від витрат, ціни реалізації, річного обсягу видобутку корисних копалин та виходу концентрату

$$П = f(З, Ц, Q_p, \gamma), \quad (4)$$

і також може бути виражений прибуток формулою

$$П = (Ц - З) \times Q_p \times \gamma, \quad (5)$$

при цьому всі складові формули (5) є змінними величинами:

$Ц$  – ціна 1 тонни концентрату, грн;

$З$  – витрати на одну тону концентрату, грн;

$Q_p$  – річна виробнича потужність ГЗК по руді, т;

$\gamma$  – вихід концентрату, %.

Відомо, що ціна – це змінна величина, яка в тому числі залежить від масової частки корисного компонента в концентраті. Величина витрат при збагаченні залежить від ряду факторів, але більшу частину в ній складають витрати на подрібнення. Таким чином, витрати на подрібнення можна представити як функцію від ступеня подрібнення вхідної руди:

$$З = f(d) \quad (6)$$

При цьому, чим вищою є ступінь подрібнення – тим вищі витрати. Разом з тим, ступінь подрібнення прямо впливає на ступінь розкриття зерен і, як наслідок, на показник виходу концентрату. Чим вищим є ступінь розкриття зерен – тим вищий показник виходу концентрату, але й при цьому витрати також збільшуються.

Вихід концентрату, в свою чергу, залежить від амплітуди коливань якості в фінальному рудопотоці, що обмежується заданою величиною середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  та виражається через мінімаксний коефіцієнт «*minimax*», який визначає діапазон коливань якості:

$$c_{\min} \leq \sum_{k=1}^N \mu_k C_k \leq c_{\max} \quad (7)$$

де  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – найбільший та найменший в.к.к. в руді після шихтування;

$\mu_k = m_k/m_0$  – безрозмірний коефіцієнт;

$C_k$  – вміст корисного компонента в фінальному рудо потоці.

Таким чином, вираз (7) задає граничні значення діапазону коливань якості в рудопотоці.

Загальний обсяг фінального рудопотоку визначається можливостями РЗФ щодо переробки руди і є заданою величиною:

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0, \quad (8)$$

де  $m_0$  – заданий на вході РЗФ для переробки обсяг руди, т

У свою чергу, згідно з технологічними вимогами, вміст корисного компонента в руді після усереднення має відповідати заданій величині, тобто має місце рівність за якістю у видобутій руді і у сформованому рудопотоці:

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 \cdot c_0, \quad (9)$$

де  $c_0$  – заданий вміст заліза у руді після усереднення.

Показник річної потужності комбінату по руді – також величина змінна, що впливає на показник прибутку в цілому. При цьому мається на увазі, що вхідна руда збагачувальної фабрики сформована з фінального рудопотоку ГЗК.

Основні показники, що впливають на величину витрат при подрібненні (витрати куль, футерування, електроенергії, заробітної плати та води) також є функцією від крупності подрібнення. Зі зменшенням розміру часток рудної маси при збільшенні тривалості часу подрібнення всі вищенаведені витрати зростатимуть майже лінійно.

Залежності показників прогнозного прибутку для основних залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів України за різних значень СКВ вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці з урахуванням крупності подрібнення вхідної руди РЗФ відображено в табл. 1, 2 та графічно представлено на рис. 1, 2.

Середньоквадратичне відхилення фактичного вмісту корисного компонента від розрахункового розглядається в діапазоні від 0,1 (ідеальний стан) до 5 з кроком 1.

Таблиця 1

Прогнозні значення прибутку ПрАТ «ІнГЗК» в залежності від крупності подрібнення вихідної руди за різних значень середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці

$d, \text{мм}$	15	30	45	60	75	90
СКВ =0,1	3058	3861	3965	3894	3529	3081
СКВ =1	2975	3753	3851	3779	3421	2984
СКВ =2	2892	3644	3736	3663	3313	2886
СКВ =3	2808	3536	3622	3547	3205	2788
СКВ =4	2725	3428	3508	3431	3096	2691
СКВ =5	2642	3320	3393	3315	2988	2593

Прибуток, млн.грн

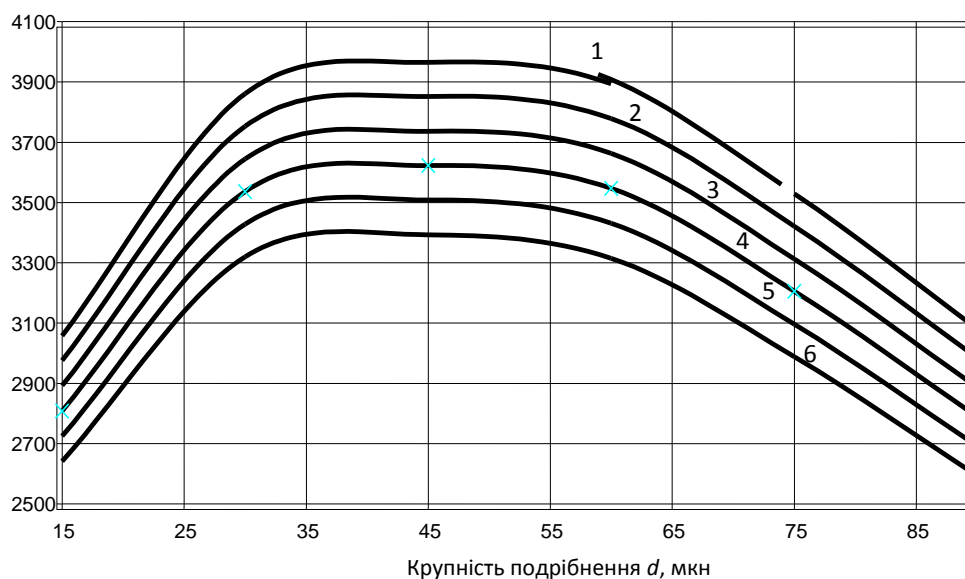


Рис. 1. Залежність прогнозного прибутку ПрАТ «Ін ГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення

1. За СКВ=0,1 –  $y = -0,0001x^4 + 0,0345x^3 - 3,755x^2 + 173,13x + 1199,80$
2. За СКВ=1 –  $y = -0,0001x^4 + 0,0335x^3 - 3,6467x^2 + 168,05x + 1171,80$
3. За СКВ=2 –  $y = -0,0001x^4 + 0,0326x^3 - 3,5448x^2 + 163,04x + 1143,80$
4. За СКВ=3 –  $y = -0,0001x^4 + 0,0319x^3 - 3,4631x^2 + 158,77x + 1107,50$
5. За СКВ=4 –  $y = -0,0001x^4 + 0,0308x^3 - 3,3525x^2 + 1153,69x + 1079,30$
6. За СКВ=5 –  $y = -0,0001x^4 + 0,0302x^3 - 3,2723x^2 + 149,33x + 1045,50$

Таблиця 2

Прогнозні значення прибутку ПАТ «ПГЗК» в залежності від крупності подрібнення вихідної руди за різних значень СКВ відхилення в.к.к. в фінальному рудопотоці.

d, мкм	15	30	45	60	75	90
СКВ 0,1%	2622	2753	2691	2579	2283	1911
СКВ. 1%	2551	2676	2614	2504	2215	1852
СКВ. 2%	2479	2599	2537	2428	2147	1794
СКВ. 3%	2407	2522	2461	2353	2078	1736
СКВ 4%	2335	2445	2384	2278	2010	1677
СКВ 5%	2263	2368	2307	2203	1942	1619

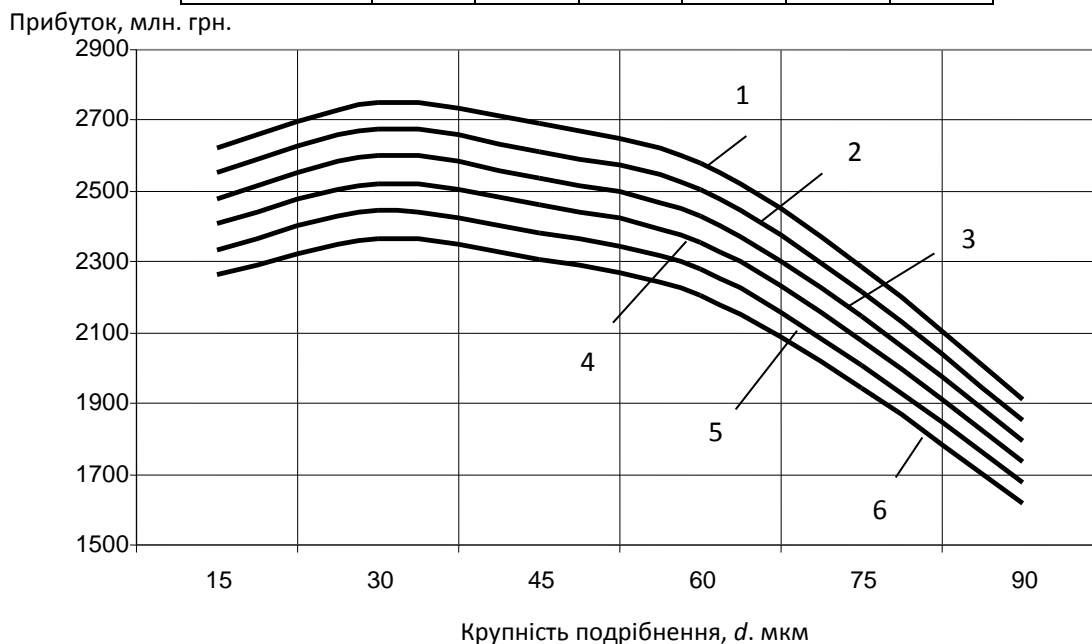


Рис. 2. Залежність прогнозованого прибутку ПАТ «ПГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення

1. За СКВ=0,1  $y = -0,7292x^4 + 11,903x^3 - 128,06x^2 + 430,45x + 2310,50$
2. За СКВ=1  $y = -0,7292x^4 + 11,829x^3 - 123,53x^2 + 407,19x + 2186,20$
3. За СКВ=2  $y = -0,7083x^4 + 11,509x^3 - 123,76x^2 + 414,30x + 2251,70$
4. За СКВ=3  $y = -0,6042x^4 + 10,171x^3 - 114,38x^2 + 384,84x + 2128,80$
5. За СКВ=4  $y = -0,6042x^4 + 10,116x^3 - 112,05x^2 + 373,58x + 2065,80$
6. За СКВ=5  $y = -0,5833x^4 + 9,8148x^3 - 108,72x^2 + 360,59x + 2003,70$

Аналіз графіків (див. рис. 1, 2) дозволяє зробити висновок, що максимум прогнозованого прибутку гірничо-збагачувального комбінату має прийтися на крупність подрібнення руди на вході РЗФ 30÷60 мкм та середньоквадратичне відхилення вмісту корисного компонента в сформованому фінальному

рудопотоці від розрахункового значення дорівнює 0,1, що в реальних умовах не зустрічається.

Більш реальним є досягнення крупності подрібнення 75 мкм, при цьому спостерігається падіння прогнозного значення прибутку до 100 млн. грн у рік при збільшенні СКВ на одиницю, що відповідно до правила «3 $\sigma$ » відповідає показнику мінімаксного коефіцієнту «minimax» – 3% вмісту корисного компонента, тобто фактична амплітуда коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці збільшується на 3%.

Таким чином, прогнозний показник прибутку гірничо-збагачувального комбінату перебуває у зворотній пропорції до величини середньоквадратичного відхилення та мінімаксного коефіцієнту «minimax»: чим більша амплітуда коливань вмісту корисного компонента фінального рудопотоку ГЗК – тим менший показник прогнозного прибутку.

**Висновки:** 1. Аналітичним обґрунтуванням удосконалено економіко-математичну модель формування рудопотоку кар'єра з амплітудою коливань вмісту корисного компонента в гарантованих межах на основі встановленої залежності прогнозного прибутку від стабільності цього вмісту в рудопотоці при заданому значенні середньоквадратичного відхилення в.к.к.

2. Встановлено, що зростання середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці комбінату на одиницю зумовлює падіння прибутку ГЗК до 100 млн. грн. на рік.

#### Перелік посилань

1. Кармазин, В.В. (2004) Современные тенденции в использовании минерального сырья. сб. *«Сталий розвиток гірничої промисловості»*. Кривий Ріг: КТУ.
2. Азарян, В.А. (2010) Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины.: сб. научн. трудов *«Разработка рудных месторождений»*. Кривой Рог. № 93. – С. 33–36.
3. Бузов, В.Ф. (1991) *Управление качеством продукции карьеров*. Москва: Недра.
4. Жуков, С., Калиниченко, Е., & Бровко, Д. (2004) Техничко-економічні аспекти роботи ГОКов и современные тенденции. Матер. *III Міжнар. наук.-практ. конф. «Динаміка наукових досліджень»*

#### АННОТАЦІЯ

**Цель** исследований – установление влияния качественных характеристик финального рудного грузопотока железорудного ГОКа на показатели прогнозной прибыли комбината: проблема снижения себестоимости производства и за счет этого повышения прибыли горно-обогатительных комбинатов Украины может быть решена путем минимизации затрат на обогащение путем формирования финальных рудопотоков с четко заданными показателям качества, обеспечивающими оптимальные режимы работы обогатительного комплекса.

**Методика** исследований заключается в обосновании имитационной модели, построенной на основе статистических данных, и получении на ее основе зависимостей прогнозных значе-



ний прибули горно-обогатительного комбината от среднеквадратичного отклонения содержания (СКО) полезного компонента (с.п.к.) финального рудопотока ГОКа.

**Исследовано** влияние содержания полезного компонента финальных рудопотоков железорудных горно-обогатительных комбинатов на показатель прогнозного прибули с учетом крупности измельчения. Рассмотрено влияние сформированного в заданном граничном диапазоне содержания полезного компонента финального рудопотока на себестоимость процесса обогащения. С применением имитационного моделирования получены зависимости прогнозной прибули от среднеквадратичного отклонения содержания полезного компонента в рудопотоке с учетом крупности измельчения для железорудных ГОКов Украины.

**Научная новизна** заключается в том, что аналитическим обоснованием усовершенствована экономико-математическая модель формирования финального рудопотока с амплитудой колебаний содержания полезного компонента в гарантированных пределах на основе установленной зависимости прогнозной прибули горно-обогатительного комбината от стабильности этого содержания в рудопотоке при заданном значении среднеквадратичного отклонения с.п.к.

**Практическое значение** исследований заключается в установлении зависимости: увеличение среднеквадратичного отклонения содержания полезного компонента в финальном рудопотоке горно-обогатительного комбината на единицу – снижает прогнозную прибуль ГОКа на 100 млн. грн. в год.

*Ключевые слова:* финальный рудопоток, содержание полезного компонента, прогнозная прибуль комбината, среднеквадратическое отклонение, амплитуда колебаний качества

## ABSTRACT

**Purpose** of the research is to determine the impact of the qualitative characteristics of final ore-flow of the iron-ore mining processing plant on the indicators of the forecast profit of the plant. This is due to the fact that decrease in the total cost of production and the resulting increase in profits of the iron-ore mining processing plants can be achieved by minimizing the costs of enrichment by means of forming the final ore-flow with the specified quality indicators that ensure the optimal operating conditions for the iron ore mining processing plant.

**The methods** is to substantiate the simulation model based on statistical data and to obtain on its basis the interdependencies of the forecast values of the profit of the iron-ore mining processing plant on the root-mean-square deviation of the grade of ore in the final ore-flow.

**The influence** of the grade of ore in a given range of final ore-flows of the iron-ore mining processing plant on the forecast profit is investigated, taking into account the size of crushing. The influence of the grade of ore of the final ore-flows formed within the specified boundary range on the producing costs of the oredressing process is considered. The dependences of the forecast profit on the root-mean-square deviation, considering the size degradation, with the using of the simulation model were obtained for iron-ore mining processing plants in Ukraine.

**The scientific novelty** of the study dwells in the improvement of the economic-mathematical model of the formation of the final ore-flow with the amplitude fluctuations of the grade of ore within the pre-programmed range, as based on the established interdependence between the forecast profit of

the iron-ore mining processing plant and the stability of this grade of ore at the given value of the root-mean-square deviation.

**The practical importance** of the research lies in establishing that an increase by one unit in the root-mean-square deviation in the grade of ore in the final ore-flow of the ore mining processing plant causes losses of profit of up to 100 million UAH per year.

**Keywords:** *the final ore-flow, the grade of ore, the forecast profit of the mill, the root-mean-square deviation, amplitude fluctuations of the grade*

УДК 622.271

© О.А. Анисимов

## **ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ ОСНОВНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОММУНИКАЦИЙ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КАРЬЕРОВ КРУТОНАКЛОННЫМИ СЛОЯМИ**

© O. Anisimov

## **TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR PLACING MAIN TRANSPORT COMMUNICATIONS FOR THE FORMATION OF THE WORKING ZONE OF OPEN PITS BY STEEP DIPPING LAYERS**

**Целью работы** является создание и предложение новых схем транспортирования горной массы при разработке глубоких карьеров крутонаклонными слоями по породам вскрыши.

**Методы исследования.** Для принятия решений размещения основных транспортных коммуникаций при формировании рабочей зоны карьеров крутонаклонными слоями были использованы методы анализа существующих схем размещения транспортных путей. Предложены новые схемы развития горных работ и транспортных площадок внутри карьера.

**Результаты.** Предложены схемы размещения транспортных коммуникаций в условиях отработки глубоких карьеров крутонаклонными слоями указаны пути их развития при углубке горных работ. Последовательность отработки крутонаклонных слоев и размещение основных транспортных коммуникаций дает возможность планировать работы на карьерах и решать плановые задачи по выемке пород вскрыши и извлечению полезных ископаемых.

**Научная новизна.** Применение крутонаклонных слоев дает возможность снизить объемы выемки пустых пород. Предложены новые схемы развития транспортных коммуникаций, которые позволяют ускоренно производить выемку вскрышных пород и добычу полезных ископаемых на глубоких карьерах.

**Практическое значение.** Наличие съездов и транспортных площадок в зоне ведения горных работ с применением крутонаклонных слоев приводит к снижению производительности из-за необходимости переноса этих выработок и приводит к необходимости сооружения других грузопотоков в пределах глубоких карьеров.