

Криворізький національний університет  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

АЗАРЯН ВОЛОДИМИР АЛЬБЕРТОВИЧ

УДК 622.012:658.5:622.68

## ДИСЕРТАЦІЯ

ТЕХНОЛОГО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ  
ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ ГЕНЕРАЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ  
РУДОПОТОКІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

18 – виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ В.А. Азарян

Науковий консультант Жуков Сергій Олександрович, доктор технічних наук,  
професор

Кривий Ріг – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Азарян В.А.* Технологічно-теоретичні засади управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 «Відкрита розробка родовищ корисних копалин» (18 – виробництво та технології). – Виконана у Криворізькому національному університеті, захист у Криворізькому національному університеті Міністерства освіти і науки України, Кривий Ріг, 2019.

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-практичної проблеми забезпечення обумовленого рівня якості та стабілізації амплітудних коливань вмісту корисного компонента (в.к.к.) рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК).

Ідея роботи полягає в генералізації управління якістю залізовмісної сировини фінальних рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів як сукупності всіх засобів контролю, сортування і мікширування руд в єдиний, технологічно домінуючий в масштабі не тільки окремого кар'єру, але й всього ГЗК комп'ютеризований комплекс, підпорядкований загальній цільовій алгоритмізації.

Мета дисертаційної роботи – обґрунтування теоретичних та технологічних засад управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК з мінімізацією амплітудних і часових коливань вмісту корисного компонента в гарантованих межах інтервалу, що задається.

Завдання досліджень:

1. Виконати комплексний структурно-функціональний аналіз існуючих технологічних схем гірничо-транспортної диспетчеризації, систем контролю і управління якістю руд в умовах відкритих гірничих робіт.

2. Визначити основні «вузькі місця» і сформулювати цілі та завдання створення нової технології управління якістю інтегрованих рудопотоків ГЗК.

3. Дослідити залежності точності контролю й ефективності управління якістю рудопотоків від властивостей гірничої маси та технологічних факторів в умовах відкритих гірничих робіт.

4. Дослідити цільовим чином залежність прогнозних показників прибутку ГЗК від середньоквадратичного відхилення (СКВ) та значення мінімаксного коефіцієнта («minimax») вмісту корисного компонента в загальному рудопотоці.

5. Розробити методику обґрунтування періоду опробування в.к.к. в забоях кар'єру, що не знижує якісних характеристик сформованого рудопотоку. Дослідити взаємозв'язок між оперативністю зняття інформації про вміст корисного компонента в забоях кар'єру і показником прибутку ГЗК.

6. Обґрунтувати можливість і доцільність застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків ГЗК з урахуванням технологічного, екологічного, енергозберігаючого й економічного ефекту.

7. Розробити й обґрунтувати принцип генералізації управління якістю фінального інтегрованого рудопотоку в масштабах окремого ГЗК або їх групи.

8. Розробити принципову схему й алгоритм функціонування запропонованої нової технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК.

9. Розробити алгоритм оцінки ефективності застосування технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків в умовах залізорудних комбінатів України.

10. Розробити комплексний критерій оцінки ефективності технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, який пов'язує якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід з неї концентрату та собівартість переробки.

Об'єкт дослідження – процес формування фінального рудопотоку ГЗК із заданим показником в.к.к.

Предмет дослідження – технологія управління якістю рудопотоків залізорудних ГЗК.

У роботі застосовано комплексний метод досліджень, що включає техніко-економічний і компаративний аналіз результатів роботи гірничих підприємств, методи математичної статистики, математичне й імітаційне моделювання процесів та ін.

Методи досліджень – теоретичні й інструментальні: планування експериментів, математична обробка їх результатів; аналіз фізико-хімічного складу руд. У роботі застосовуються теорії гірничої справи, радіометрії й управління; методи чисельного та статистичного аналізу. Для математичної обробки результатів досліджень застосовано методи найменших квадратів і факторного аналізу, використано математичні методи моделювання та багатоваріантні розрахунки з використанням комп'ютерних програм, включаючи авторські, для визначення оптимальних технологічних рішень.

На захист виносяться наукові положення:

1. Комплексний критерій оцінки ефективності управління якістю мінеральної сировини загального рудопотоку як функція від множення модуля відношення планового і фактичного вмісту корисного компонента в сформованому потоці, його обсягу, собівартості процесу збагачення і виходу концентрату, забезпечує формування фінального інтегрованого рудопотоку ГЗК із заданим вмістом корисного компонента в гарантованому діапазоні амплітудних коливань.

2. Максимізацію прибутку ГЗК забезпечує технологія управління якістю залізозмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків, що базується на закономірностях впливу результатів оперативного контролю вмісту заліза в рудних покладах, забоях і локальних рудопотоках, залежностях амплітудних значень якості, величини і тривалості її відхилення від допустимого діапазону, а також на прогнозній оцінці результатів збагачення й обробці отриманої інформації для коригування за необхідності періоду опробування і навантаження на видобувні забої, та об'єднує усі засоби контролю, сортування і мікширування

руд ГЗК в єдину технологічно домінуючу в масштабі комбінату систему, підпорядковану загальній цільовій алгоритмізації.

3. Планування реструктуризації існуючої технології управління якістю рудопотоків у генералізовану має виконуватися з урахуванням динаміки скорочення обсягів видобутку руди у групі комбінатів залізорудного басейну при доробці ними покладів з можливістю перенаправлення частини або загального рудопотоку з одного ГЗК на інший, що визначається критерієм доцільності утримання або поетапного виводу з експлуатації на них РЗФ – співвідношенням витрат на утримання фабрики і доходу від реалізації кінцевої продукції.

4. Підвищення вмісту корисного компонента на 5 %, зниження засмічення на 12÷18 % і зменшення на 1,2 % частки гірничої маси, що направляється на збагачення, забезпечується включенням в технологію видобутку мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу, що відсікає некондиційну гірничу масу в забоях приконтатної зони «руда-порода» за встановленим критерієм бінарності середовища.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Уперше сформульовано й обґрунтовано ідею застосування в масштабах ГЗК технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків на основі поєднання усіх засобів контролю якості, сортування і шихтовки.

2. Уперше встановлено і теоретично обґрунтовано вплив періоду якісного опробування забоїв кар'єру на прогнозне значення прибутку ГЗК з урахуванням середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в рудопотоці, що дозволяє визначати інтервал зняття інформації про в.к.к., за якого значення прибутку ГЗК не знижується.

3. Набула подальшого розвитку методологія формування рудопотоку з в.к.к., обмеженим мінімаксним коефіцієнтом «*minimax*» на основі синергетичного ефекту від об'єднання систем контролю й управління якістю, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг фактичного в.к.к. в потоці з коригуванням навантаження на забої видобутку в разі виходу амплітуди коливань якості за межі заданого діапазону.

4. Аналітичним обґрунтуванням удосконалено економіко-математичну модель формування рудопотоку з амплітудою коливань в.к.к. в гарантованих межах на основі встановленої залежності прогнозного прибутку від стабільності цього вмісту в рудопотоці при заданому значенні середньоквадратичного відхилення в.к.к. Встановлено, що зростання середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку на одиницю зумовлює падіння річного прибутку ГЗК на 10÷12 %.

5. Уперше теоретично обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в залізорудному кар'єрі як елементу технології управління якістю рудопотоків, що виконує функцію якісного фільтру з відсікання некондиційної гірничої маси, видобутої в забоях приконтатної зони "руда-порода", за встановленим порогом сортування з урахуванням критерію бінарності середовища, що забезпечує тим самим технологічний, екологічний, енергозберігаючий та економічний ефект, підвищуючи якість рудного потоку мінімум на 5 % і знижуючи на 1,2 % частку некондиційної гірничої маси, яка направляється на збагачення.

6. Розвинуто теорію оцінки ефективності технології управління якістю рудопотоків на підставі комплексного критерію, що враховує співвідношення фактичного і планового значень в.к.к. сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід концентрату і собівартість збагачення.

Наукове значення роботи полягає в подальшому розвитку теорії управління якістю рудопотоків з обґрунтуванням технологіко-теоретичних засад управління якістю залізовмісної сировини вже на рівні генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК на основі встановлених залежностей, які впливають на точність контролю й ефективність даного управління.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено алгоритм роботи й обґрунтовано функціональну схему технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу фінальних інтегрованих рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

2. Розроблено методику визначення оптимальної тривалості періоду опробування забоїв кар'єрів на основі статистичних даних за критерієм мінімізації втрати інформації.

3. Розроблено алгоритм оцінки можливості та доцільності застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

4. Розроблено технологічну схему й обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків з метою зниження засмічення руд в приконтатних зонах покладів. Радіометричний модуль виготовлено в проблемно-галузевій лабораторії КНУ й випробувано на залізних рудах Криворізького басейну.

Розроблені й удосконалені автором математичні моделі процесів управління якістю рудопотоків були опубліковані окремими розділами в підручнику «Моделювання в гірничій справі».

Впровадження на гірничо-збагачувальних комбінатах Криворізького залізорудного басейну технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків дозволить за рік додатково отримати 990 тис. т концентрату на суму 1650 млн грн.

Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків і рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, підтверджується коректністю постановки і послідовністю рішення сформульованих завдань, використанням сучасних теорій і ретельно перевірених експериментальних даних, лабораторними і натурними випробуваннями з використанням стандартизованих еталонів, методик і сучасної високоточної апаратури; результатами аналітичних досліджень з побудовою математичних й імітаційних моделей досліджуваних об'єктів і процесів, відповідністю отриманих результатів математичного моделювання реальним значенням статистичної бази даних, а також чітко аргументованим обґрунтуванням застосування розробленої технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків в умовах залізорудних ГЗК України.

Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел із 147 найменувань на 20 сторінках та 9 додатків на 19 сторінках, містить 93 рисунки і 25 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 376 сторінок, з яких 303 – основний текст.

У першому розділі виконано аналіз існуючих систем гірничо-транспортної диспетчеризації та систем контролю якості у кар'єрах і на його основі зроблено висновки про те, що не достатній рівень достовірної інформації щодо вмісту корисного компонента в забоях кар'єру та сформованому рудопотоці, а також відсутність спеціального програмного забезпечення на серверах систем не дозволяє сформувати фінальний рудопоток ГЗК із гарантованим діапазоном вмісту корисного компонента.

У другому розділі обґрунтовано напрям досліджень, наведено методологічну побудову досліджень та структурну схему дисертаційної роботи, розвинуто ідею, що положена в основу досліджень та прийняті робочі гіпотези. Також визначені основні методи розрахунків, принципи дії і характеристики використаних апаратних засобів, лабораторних та інструментальних методів і методик визначення точності вимірювань та достовірності отриманих результатів.

У третьому розділі досліджено фактори, що впливають на точність контролю якості залізозмісної сировини в свердловинах (каротаж), в підірваній гірничій масі, на конвеєрній стрічці з використанням як гамма-гамма методів, так і магнітометричного способу контролю. На підставі досліджень отримано залежності, що дозволяють оцінити вплив стану гірничої маси (вологість, тріщинуватість, кавернозність, щільність) на показники точності контролю якості. Також досліджено технологічні фактори, що впливають на формування рудних потоків та вплив нестабільності вмісту корисного компонента фінального рудопотоку на показники збагачення. Розроблено імітаційну модель та з її використанням отримано залежності для всіх залізорудних комбінатів України між показником прогнозного прибутку ГЗК й амплітудою коливань якості фінального рудопотоку. Встановлено: чим меншою є амплітуда коливань вмісту



корисного компоненту у фінальному рудопотоці тим більший прогнозний прибуток комбінату.

У четвертому розділі розроблено математичні моделі керування якістю рудопотоків з використанням теорії управління та стабілізації коливань вмісту корисного компоненту. Досліджено й обґрунтовано залежність прибутку ГЗК від періоду опробовування забоїв кар'єру.

В п'ятому розділі теоретично обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу (МДСРК), що виконує функцію з відсікання некондиційної гірничої маси в забоях приконтатної зони «руда-порода» за встановленим порогом сортування з урахуванням критерію бінарного середовища, як частини генералізованого комплексу технології управління якістю. Застосування МДСРК забезпечує значний технологічний, економічний, енергозберігаючий та екологічний ефект.

У шостому розділі розроблено функціональну схему й алгоритм роботи технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, які ґрунтуються на застосуванні усереднення як способу управління якістю залізовмісної сировини з урахуванням достовірної та своєчасної інформації про стан якості як в забоях, так і в сформованому рудному вантажопотоці. Розроблено концепцію створення технології управління якістю генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудопотоків на основі синергії системи контролю якості та системи гірничо-транспортної диспетчеризації.

Удосконалено теорію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків та розроблено комплексний критерій  $F_1$ , який поєднує показник амплітудних коливань якості у загальному рудопотоці з виходом концентрату і собівартістю збагачення.

В сьомому розділі розроблено алгоритм обґрунтування застосування розробленої технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків на основі технологічної та економічної оцінки. Розглянуто аспекти екологічної безпеки при застосуванні технології управління якістю рудопотоків кар'єрів в масштабах ГЗК.

**Ключові слова:** фінальний рудопоток, генералізований комплекс, якість залізовмісної сировини, вміст корисного компоненту, контроль якості, управління якістю, період опробування забоїв кар'єру, амплітуда коливань якості..

## SUMMARY

*V. Azarian* Technological and theoretical principles of quality management of the iron-containing raw material in the generalized flows of iron ore at ore mining and concentrating plants. – Qualifying scientific work retaining its manuscripts rights. Dissertation for the degree of a Doctor of Technical Sciences specialized in Open development of mineral deposits (serial number 05.15.03; 18 – Production and technology). – Completed at the Kryvyi Rih National University, the defense at the Kryvyi Rih National University Kryvyi Rih, 2019.

The dissertation purports to solve an actual scientific and practical problem of ensuring the guaranteed quality levels and grade of ore amplitude fluctuations stabilization in ore flows of the mining and concentrating plants.

The idea of this dissertation dwells in generalization of the final ore flow quality management which is made up by the unification of all means of control, sorting and mixing ores into a single, technologically dominant complex not only a scale of a separate quarry, but in the entire system of ore-mining and processing complex, as subordinated to general target algorithmization.

The purpose of the dissertation is to substantiate the theoretical and technological principles of quality control of iron-containing raw materials of the generalized ore-mining and processing complex ore flows with minimization of amplitude and temporal fluctuations of the ore grade within the guaranteed boundaries of the given interval.

Research tasks:

1. To carry out the complex structural-functional analysis of the existing technological schemes of mining transport dispatching, and systems of control and quality management of ores in conditions of open mining operations.

2. Identify the main bottlenecks and define objectives for the creation of a new technology for managing quality of ore mining in the ore-dressing mills.

3. Investigate the dependence of the accuracy of the control and the efficiency of management of the quality of ore flow from the properties of the rock mass and technological factors in open mining conditions.

4. To purposefully examine the dependence of the estimated profit indicators of the ore dressing plants on the mean square deviation and the value of the minimax-coefficient of the useful component ratio in the general ore flow.

5. To develop a methodology for substantiating the period of useful component ratio testing in the well faces of the quarry which does not reduce the qualitative characteristics of the formed ore stream. It is also foreseen to investigate the correlation between the efficiency of probing the information about the useful component ratio in the quarries and the profit index of the mining plant.

6. To substantiate the possibility and evaluate the feasibility of the use of mobile crushing-sorting radiometric complex as a part of the ore flow quality management technology, while taking into account technological, ecological, energy-saving, and economic effects.

7. To develop and substantiate the principle of generalization of the final integrated ore flow quality management at a scale of an individual as well as a group of businesses.

8. To develop a basic scheme and algorithm of functioning of the proposed new technology for managing the quality of ore dressing plants.

9. To develop an algorithm for estimating the possibility of using generalized technology for managing the quality of ore flows in the existing conditions of iron ore plants in Ukraine.

10. To develop a comprehensive criterion for assessing the effectiveness of the developed technology of raw material quality control of the ore stream, which is based on the qualitative characteristics of the formed ore stream, the actual volume of ore aimed for enrichment, the output of the concentrate and the cost of processing iron ore raw materials.

The process of forming the final ore flow of the ore mining and processing plant with a specified index of the content of the useful component is the object of this research work, while the technology of management of the quality of ore-fluxes of iron ore mines is the subject thereof.

A complex method of research is applied while this work is being executed. It includes technical and economic as well as comparative analysis of the results of the work of mining enterprises, methods of mathematical statistics, mathematical and simulative process modelling, and more.

Theoretical and instrumental methods of research are applied, among them are planning of experiments, computation of the obtained results as well as analysis of physical and chemical composition of ores. Theories of mining, radiometry and management are used in this work along with methods of numerical and statistical analysis. The methods of least squares and factor analysis were applied for mathematical processing of research results.

Mathematical methods of modeling and multivariate calculations using computer programs, including author's own, were used to determine optimal technological solutions.

The scientific positions are put to defense:

1. The complex criterion for evaluating the efficiency of management of the quality of mineral raw materials of the total ore flow is estimated as a function of multiplying the module of the ratio of the planned and actual contents of the useful component in the formed stream, its volume, the cost of the process of enrichment and the output of the concentrate. The criterion purports ensuring the formation of the final integrated ore stream of the ore dressing plant with the specified content of useful component in the guaranteed range of amplitude fluctuations.

2. Maximization of the ore-dressing plant profits is provided by the generalized technology of quality management of the final integrated ore flow, based on the laws of the influence of the results of the operational control of the content of iron in the ore deposits, face wells, and local ore flows, the dependences of the amplitude values of quality, magnitude and duration of its deviation from the permissible magnitude and

duration of its deviation from the permissible range. It is as well based on the prediction of the results of the enrichment and processing of the information obtained to adjust, if necessary, the test period and the load on the face wells, and combines all means of ore control, sorting and mixing in the mining/processing enterprise into a single technologically dominant system. The system spans the entire scale of the plant, subordinated to the general target algorithmization.

3. The planning of the restructuring of the existing technology of management of the ore-bearing quality should take into account the dynamics of reduction of ore extraction in the basins of one of the iron ore mines in a system of mines, with the possibility of re-directing the flows of ore depending on the feasibility of such an action. Feasibility in this case is determined by the criterion of expediency or gradual withdrawal from operation of ore dressing plants, which in this case is calculated as the ratio of costs for the maintenance of the factory and income from the sale of final products.

4. Mobile crushing-sorting radiometric complex, which cuts down the non-conformal rock mass in the faces of the contact area of the ore-rock, can increase the content of the useful component by 5%, reduce clogging up by 12-18%, and bring a 1,2% reduction in proportion of non-concentrating rock mass directed to enrichment. The device operates in accordance with the pre-programmed criterion of 'binary environment', which is, in turn, determined by the effective atomic number of the iron ore raw material.

The scientific novelty of the results obtained is that:

1. The idea of application of the generalized ore flows quality management technology was established and substantiated for the first time in the conditions of an ore dressing enterprise while using a combination of all means of quality control, sorting and blending.

2. For the first time, the dependence of the influence of frequency of qualitative testing of quarry pits on the estimated value of the profit was determined and substantiated taking into account the standard deviation of the content of the useful component in the ore stream. This allows to optimally determine the interval between

the information probing of the useful component ratio which does not negative affect the profits of the plant.

3. Further was developed methodology of mining quarry formation based on useful component ratio calculation, limited by the minimax coefficient on the basis of the synergistic effect from the combination of monitoring and quality control systems, which allows to continuously monitor the actual content of the useful component in the stream with adjustment of the load. This is a promising technology for iron ore flows processing technology where fluctuations in qualitative properties of the iron ore flow can pass the desirable amplitude.

4. The analytical substantiation has improved the economic-mathematical model of the formation of the quarry mining quotient with the amplitude of the fluctuations of the useful component ratio in the guaranteed limits. It was established on the basis of the discovered dependence of the estimated profit on stability of this ratio in the ore flow at a given value of the mean-square deviation of useful component ratio. It was established that the growth of the mean square deviation of the content of the useful component in the general quarry ore stream per unit causes profits of the enterprize to lose up to 10–12 %.

5. For the first time use of a mobile crushing-sorting radiometric complex in iron quarry was justified as an element of technology of ore flows quality management. That serves as a qualitative filter for cutting off non-contiguous mining mass extracted in the well faces of the contact area of the ore-rock at the established threshold of sorting is guided by the criterion of the binary nature of the environment, thus providing a technological, ecological, energy saving and economic effect, increasing the quality of the ore stream by at least 5% and lowering by 1,2 % the share of non-contiguous mining mass, which is directed to enrichment.

6. The theory of the evaluation of the efficiency of the technology of management of the quality of ore-bearing quality has been developed on the basis of a complex criterion, taking into account the ratio of actual and planned values of the useful component ratio in the formed ore stream, the actual volume of ore going to enrichment, the output of the concentrate and the cost of enrichment.

The scientific significance of the work dwells in establishment of the main factors that influence the accuracy of control and the effectiveness of quality management in the formation of the final integrated ore flow of ore mining and processing enterprises.

The practical value of the results obtained are as follows:

1. The algorithm of work is developed while the functional scheme of the generalized technology of raw material quality control in ore dressing plants is substantiated.

2. The method of determination of the optimum duration of the period of quarry quadrants testing is developed on the basis of statistical data purported at minimization of information loss.

3. An algorithm for estimating the possibility and expediency of the application of ore quality management generalized technology has been developed for application in ore-dressing enterprises.

4. The technological scheme was developed and the use of a mobile crushing-sorting radiometric complex was developed in order to reduce the contamination of ores in the contact areas of the deposits as part of the ore quality management technology. The radiometric module has been developed in a laboratory specialized in industry's challenges at the National University of Kryvyi Rih and subdued field testing in the Kryvyi Rih iron ore basin.

The validity and reliability of scientific results, conclusions and recommendations is confirmed by the correctness of both statement and sequence of solving of posed questions. Modern theories and carefully checked experimental data were used for this research, as well as laboratory and field tests based on state-of-the-art standards, methods, and modern high-precision equipment. The results of analytical research on the construction of mathematical and simulation models of investigated objects and processes, the correspondence of the obtained results of mathematical modeling to the real value of the statistical database, and also the clearly substantiated justification of the application of the developed technology of ore flows quality management in the conditions of iron ore mines confirm the credibility of the results obtained.

The dissertation consists of abstract, introduction, seven sections, conclusions, bibliography, counting 147 titles in 20 pages and 9 appendices on 19 pages, contains 93 figures and 25 tables. The total volume of the dissertation is 376 pages, of which 303 are the main text.

The first section analyzes the existing systems of mining transport dispatching and quality control systems in the quarries. On the basis of this analysis it is concluded that the current level of reliable information on the content of the useful component in the quarry's pits and the formed ore stream is insufficient. The absence of special software on the server system does not allow forming the final ore flow with a guaranteed range of content of the useful component.

In the second section, the direction as well as methodological concepts of research were established along with a structural scheme of the dissertation. Working hypotheses and the cornerstone idea of the research have also been outlined. Finally, primary methods of calculation, operational principles and characteristics of the used hardware, laboratory and instrumental methods and determination of accuracy of measurements have been determined.

In the third section, factors influencing the accuracy of quality control of iron ore raw materials in the wells (logging) in a blasted rock mass are being investigated as it goes on a conveyor belt using gamma-gamma methods and magnetometric control method. On the basis the obtained calculations, conclusions were reached regarding the influence of the state of the rock mass (humidity, fissure, cavity, density) on the indicators of accuracy of quality control. Also, technological factors influencing the formation of ore streams and the effect of the instability of the content of the useful component of the final ore flow on the enrichment rates have been investigated. The simulation model has been developed and its dependence has been obtained for all iron ore factories in Ukraine between the indicator of the estimated profit of the ore dressing plant and the amplitude of the quality fluctuations in the ore-mining quarry. It has been established that the smaller the amplitude of the fluctuations of the useful component ratio in the final ore flow is, the higher does estimated profit get.



In the fourth section, mathematical models of ore flow quality management are developed with the use of control theory and stabilization of the fluctuations of the useful component ratio. The dependence of the enterprise's profit from the period of the quarry inspection was investigated and substantiated.

In the fifth section, the use of mobile crushing and sorting radiometric complex (MDRSK) is theoretically established. The device cuts off non-contiguous mining mass in the faces of the contact area of the "ore-rock" at the established threshold of sorting taking into account the criterion of the binary environment. The use of MDRSK introduces a significant technological, economical, energy saving, and environmental advantage.

In the sixth section, a basic functional scheme and algorithm of generalized technology for ore flow quality management are developed. They are based on the application of averaging as a way of controlling the quality of mineral raw materials, taking into account reliable and timely information about the quality of both in face wells and in the formed stream. The concept of the creation of the generalized raw materials quality management system for the integrated ore flows, based on the synergy of the quality control system and the quality management system, has been developed. The theory of evaluation of the efficiency of management of the quality of ore-bearing quality has been improved and a complex criterion  $F_l$  has been developed, which combines the index of amplitude fluctuations of quality in the total ore flow with the output of the concentrate and the cost of enrichment.

In the seventh section an algorithm for the justification of the application of the developed technology of management of quality of ore-streams on the basis of technological and economic evaluation is developed. The aspects of eco-safety and sustainability are considered in the application of quality of ore management technology on the scale of an ore-dressing plant.

**Key words:** final ore flow, generalized complex, quality of iron-containing raw materials, ore grade, quality control, quality management, period of testing of quarry faces, amplitude of quality fluctuations.

### Список публікацій здобувача

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Азарян В.А. Определение содержания общего железа на конвейерной ленте методом рассеянного гамма-излучения на горнодобывающих предприятиях Кривбасса / В.А. Азарян // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2006. – Вип.11. – С. 198–201.
2. Азарян В.А. Цели и задачи создания комплексной системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 2007. – №91. – С. 207–209.
3. Азарян В.А. Математические методы планирования комплексной системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян, П.Д. Могилевский, В.И. Бурка // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2008. – Вип.22. – С. 177–180.
4. Азарян В.А. Система автоматического контроля качества железистых кварцитов / А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига и др. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – №1. – С. 138–140.
5. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений : сб. науч. тр. – Кривой Рог. – 2010. – Вып.93. – С. 33–36.
6. Азарян В.А. Комплексное обогащение руд черных металлов – путь к экономии минерально-сырьевых ресурсов / В.А. Азарян, Ю.Є. Цыбулевский, А.В. Аниськов // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2010. – Вип. 26. – С. 284–286.
7. Азарян В.А. Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины / Ю.Г. Вилкул, А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Горная промышленность : науч.-технич. журнал. – Москва, 2011. – С. 13–15.
8. Азарян В.А. Исследование оптимального размера монокристалла NaI для регистрации интегрального потока гамма-излучения / А.А. Азарян, Г.Н. Лисовой, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Вісник КТУ : зб. наук. праць / М-во освіти і науки,

молоді та спорту України, Криворізький технічний університет. – Кривий Ріг, 2011. – Вип.29. – С. 266–269.

9. Азарян В.А. Выбор параметров микропроцессорной системы оперативного контроля качества и веса горной массы железорудного сырья на конвейере / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Горный журнал. – Москва. – 2011. – №7. – С. 62–64.

10. Азарян В.А. Состояние проблемы контроля качества при добыче и переработке железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, Г.Н. Лисовой // Горный вестник : зб. наук. пр. – Кривой Рог. – 2012. – №95(1). – С. 132–135.

11. Азарян В.А. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины / А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Азарян, В.А. Колосов // Metallургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2012. – №5(277). – С. 1–4.

12. Азарян В.А. Обоснование применения мобильных дробильно-сортировочных радиометрических комплексов в условиях железорудных карьеров Кривбасса / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2013. – Вип.34. – С. 28–31.

13. Азарян В.А. Модель динамической стабилизации колебаний качества в рудопотоке / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип.37. – С. 22–26.

14. Азарян В.А. Разработка мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса для железорудных карьеров / В.А. Азарян // Черная металлургия : бюллетень научно-технической и экономической информации. – Москва : Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии, 2014. – №5(1373). – С. 23–26.

15. Азарян В.А. Обоснование оптимального периода опробования забоев карьера / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип.38. – С. 7–11.

16. Азарян В.А. Исследование влияния дискретности измерения содержания полезного компонента на показатели прибыли горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян, В.М. Серебrenиков // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип.40. – С. 156–160.

17. Azaryan Vladimir. Use of Bourger-Lambert-Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials / Albert Azaryan, Vladimir Azaryan // Metallurgical and Mining Industry : Ukrmetallurginform "STA" Ltd. Украина, 2015. – No.1. – С. 4–8.

18. Азарян В.А. Проблема генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера и ее алгоритмизация / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки : зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП, 2016. – Вип.4(76). – С. 115–125.

19. Азарян В.А. От процессов транспорта и контроля качества руды – к проблеме генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №50. – С. 17–26.

20. Азарян В.А. Алгоритм технологической и экономической оценки применения технологии управления качеством рудопотоков карьеров / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог : ФЛП Чернявский Д.А, 2017. – С. 125–134.

21. Азарян В.А. Обоснование периода опробования забоев карьера / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №51. – С. 8–18.

22. Азарян В.А. Системные принципы и оценочный критерий генерализации управления качеством рудопотоков / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №52 – С. 41–46.

23. Азарян В.А. Исследование влияния периода опробования забоев железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян, С.А. Жуков, В.А. Стриха // Вісник Національного університету

водного господарства та природокористування. Технічні науки : зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП. 2017. – Вип.3(79). – С. 42–52.

24. Азарян В.А. Підвищення точності оперативного контролю якості залізистих кварцитів при відкритій розробці / В.А. Азарян // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – №53 – С. 8–17.

25. Азарян В.А. Дослідження впливу якості фінального рудопотоку на прогнозний прибуток гірничо-збагачувального комбінату / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – №54 – С. 19–28.

26. Азарян В.А. Контроль и управление качеством рудопотоков железорудных горно-обогатительных комбинатов / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2018. – Вип.46. – С. 159–163.

27. Азарян В.А. Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / В.А. Азарян, С.О. Жуков // Вісник Житомирського державного технологічного університету : наук. журнал. – Житомир. – 2018. – Вип.1(81). – С. 240–245.

28. Азарян В.А. Розвиток теорії управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів / В.А. Азарян, С.О. Жуков // Вчені записки Таврійського національного університету ім. Вернадського : наук. журнал. – Київ. – 2018. – Т.29(68). №3 – С. 89–94.

29. V. Azaryan "The Methodology of Use of the Mobile Crushing-and-Sorting Radiometric Complex in the Iron-Ore Pit", Solid State Phenomena, Non Traditional Technologies in Mining Industry Vol.277, p. p. 90–99, 2018.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

30. Азарян В.А. Обоснование геометрических и технологических параметров устройства ПАКС-4М для оперативного контроля качества товарной руды и продуктов обогащения / А.А. Трачук, В.А. Азарян // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (III; 2007; Варна, Болгария): III Международная конференция (1-8 июня 2007 г.): материалы : / М-

во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2007. – Т.1. – С. 487–491.

31. Азарян В.А. Применение методов оперативного контроля для повышения эффективности систем управления качеством в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Материалы VII Конгресса обогатителей стран СНГ, 2–4 марта 2009 г. [Электронный ресурс]. – Москва. – 2009. Режим доступа: Studmed.ru\_materialy-vii-kongressa-obogatiteley-stran-sng\_a3c9caa8595.rar.

32. Азарян В.А. Пути повышения точности оперативного контроля качества железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Іноземна мова як засіб мобільності майбутніх фахівців у контексті болонської декларації : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 18.03.2010 р. : тези доп. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. – С. 106–107.

33. Азарян В.А. Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / В.А. Азарян // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (VI; 2010; Варна, Болгария): VI Международная конференция (4-10 июня 2010 г.): материалы : в 2-х т. / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2010.– С. 52–57.

34. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс (МДСРК) / В.А. Азарян // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. (26.02 – 01.03.2013 г.) // Сб. материалов Т.1. – М.: МИСиС, 2013. – С. 47–50.

35. V.A. Azaryan "Model of sway stabilization of actual grade recovered from an ore after processing in the pit" European Science and Technology : materials of the V international research and practice conference, Vol. 1 Munich, October 3-4, 2013 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2013. – p. p. 331–336.

36. Азарян В.А. Разработка функциональной и структурной схемы технологии управления качеством рудопотоков / В.А. Азарян // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "The goals of the World Science

2017" (January 31, 2017, Dubai, UAE). сб. тр. №2(18), Vol.1, February 2017. – С. 20–24.

37. Азарян В.А. Анализ структурных особенностей породных массивов как фактора формирования грансостава и качества взорванной горной массы / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Розвиток промисловості та суспільства : научн. конф., 24–26 травня 2017 р. : тези доп. – Кривий Ріг, 2017. – С. 27.

38. Азарян В.А. Интегральный поток интенсивности рассеянного гамма-излучения как функция от параметров геометрии измерения / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.Н. Гриценко, А.А. Трачук // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Achievements and Their Practical Application" (October 31, 2017, Dubai, UAE). сб. тр. №11(27), Vol.1, November 2017. – С. 18–24.

39. Азарян В.А. Розробка й обґрунтування критерію, враховуючого при доробці кар'єру співвідношення витрат на утримання власної РЗФ ГЗК і прибутку від реалізації збагаченої продукції / В.А. Азарян, С.О. Жуков // 2-а Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Іноваційний розвиток гірничодобувної галузі», 2017: тези доп. – Кривий Ріг, 2017.– С. 81.

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

40. Азарян В.А. Разработка системы оперативного контроля качества железорудного сырья в условиях горно-обогатительных комбинатов Украины / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. –Кривой Рог : Минерал, 2005. – С. 143–148.

41. Азарян В.А. Анализ методов оценки управления качеством в рудопотоках карьеров / В.И. Бурка, В.А. Азарян, П.Д. Могилевский // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. — Кривой Рог : Минерал, 2008. – С. 240–243.

42. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. — Кривой Рог : Октан-принт, 2011. – С. 60–63.

43. Азарян В.А. Комплексная система контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами : сб. науч. тр. – Кривой Рог : Дионат, 2012. – С. 145–152.

44. Азарян В.А. Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества при добыче железорудного сырья в условиях карьеров / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.Н. Гриценко и др.] // Інженерія програмного забезпечення : наук. журнал. Національний авіаційний університет – Київ. – 2012. – №2 (10). – С. 17–25.

45. Азарян В.А. Модель системы управления качеством рудопотока карьера с использованием теории управления / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог : Дионат, 2014. – С. 101–112.

46. Азарян В.А. Исследование влияния качества рудопотока железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип.100. – С. 58–61.

47. Азарян В.А. Система контроля и управления качеством в рудопотоках железорудных карьеров / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2016. – Вип.41. – С. 170–173.

48. Азарян В.А. Моделирование в горном деле : учебное пособие / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук. – Кривой Рог : Дионат, 2016. – 272 с.

49. Азарян В.А. Исследование парных операционных перегрузочных узлов в цепи стабилизации качества при формировании бинарного рудопотока / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Науково-дослідний гірничо-рудний інститут ДВНЗ «Криворізький національний університет» Технічні науки : зб. наук. пр. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – Вип.56. – С. 173–181.

50. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс как часть технологии управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2017. – Вип.45 – С. 3–7.



51. Пат. №36662 Україна, G01R 33/12. Пристрій для автоматичного визначення вмісту магнетитового заліза на конвеєрі / Азарян А.А., Азарян В.А., Дрига В.В., Лісовий Г.М., Цибулевський Ю.Є., Шаров В.В., Швидкий О.В.; заявл. 29.12.07; опубл. 10.11.08, Бюл. №21.

52. Пат. 50668 Україна, G01R 33/12. Система автоматичного контролю і керування масовою часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці / Азарян А.А., Азарян В.А., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю.Є.; заявл. 02.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. №12.

53. Пат. №73793 Украина, G 06Q 50/02. Система оперативного контролю якості товарної руди при відвантаженні споживачам / Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А.; заявл. 18.03.12; опубл. 10.10.12, Бюл. №19.

54. Пат. №85053 Украина, B07B 1/00. Мобільний подрібнювально-сортувальний пристрій / Азарян А.А., Азарян В.А., Цибулевський Ю.Є.; заявл. 26.04.13; опубл. 11.11.13; Бюл. №21.

55. Пат. №78996 Україна, G01N 23/203. Пристрій оперативного контролю керування технологічними параметрами при переробці мінеральної сировини / Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А., Серебренников Е.В.; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.13; Бюл. №7.

56. Пат. №78997 Україна, E21C 41/22. Спосіб усереднення двох типів руд з різним вмістом заліза магнітного / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.Г. Кучер та ін.]; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.13; Бюл. №7.

57. Пат. №95477 Україна, E21B 43/00. Спосіб ідентифікації рудних потоків / Вілкул Ю.Г., Азарян А.А., Ступнік М.І., Моркун В.С., Азарян В.А.; заявл. 04.07.2014; опубл. 25.12.14; Бюл. №24.

58. Пат. №111622 Україна, E21C 41/26. Спосіб комбінованого відокремлення порід від масиву при відкритих гірничих роботах / Азарян В.А., Качан Д.О.; заявл. 14.07.14; опубл. 25.11.16; Бюл. №22.

59. Пат. №119777 Україна, G01V 5/00. Пристрій оперативного контролю вмісту корисного компонента у мінеральній сировині / [А.А. Азарян, В.А. Азарян,

А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник та ін.]; заявл. 05.04.17; опубл. 10.10.17; Бюл. №19.

60. Пат. №119778 Україна, G01N 23/203. Спосіб визначення вмісту чорних і важких металів у порошкових пробах руд / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник та ін.]; заявл.05.04.17; опубл. 10.10.2017; Бюл. №19.

61. Пат. №123234 Україна, G01V 5/12. Свердловинний пристрій для селективного гамма-гамма каротажу / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник та ін.]; заявл.05.04.17; опубл. 26.02.2018; Бюл. №4.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>ВСТУП</b>                                                                                                                                                | 32  |
| <b>РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ Й УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ</b>                                 | 43  |
| 1.1. Аналіз існуючих технологічних систем управління якістю рудопотоків                                                                                     | 43  |
| 1.2. Особливості фізико-хімічних властивостей залізних руд України                                                                                          | 73  |
| 1.3. Критичний огляд та узагальнення існуючих систем з контролю якості залізних руд при веденні відкритих гірничих робіт                                    | 79  |
| 1.4. Основні цілі та завдання управління якістю рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату                                                               | 90  |
| Висновки до розділу 1                                                                                                                                       | 98  |
| <b>РОЗДІЛ 2 ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ЇХ ПРОВЕДЕННЯ</b>                                                                  | 101 |
| 2.1. Обґрунтування вибору напрямку досліджень                                                                                                               | 101 |
| 2.2. Методологічна побудова дослідження та його структура                                                                                                   | 103 |
| 2.3. Розвиток ідеї, покладеної в основу дослідження, та прийняті робочі гіпотези                                                                            | 114 |
| 2.4. Основні методи розрахунків, принципи дії і характеристики використаних апаратних засобів, лабораторних та інструментальних методів і методик           | 116 |
| 2.5. Програмне забезпечення                                                                                                                                 | 130 |
| <b>РОЗДІЛ 3 ДОСЛІДЖЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ</b> | 131 |
| 3.1. Класифікація факторів, що впливають на точність вимірів при каротажі вибухових свердловин в кар'єрах                                                   | 131 |

|                                                                                                                                                   |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.2. Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізовмісної сировини в забоях кар'єру                                                | 136 |
| 3.3. Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізовмісної сировини на конвеєрній стрічці                                           | 139 |
| 3.4. Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізовмісних кварцитів в забої, на конвеєрній стрічці та в порошкових пробах          | 152 |
| 3.5. Дослідження технологічних факторів, що впливають на якість залізовмісної сировини рудопотоків                                                | 161 |
| 3.6. Вивчення ступеня впливу нестабільності якості залізовмісної сировини фінального рудопотоку на показники збагачення                           | 166 |
| 3.7. Дослідження парних операційних перевантажувальних вузлів у ланцюзі стабілізації сировинної якості при формуванні бінарного рудопотоку        | 173 |
| 3.8. Дослідження впливу якісних характеристик фінальних рудопотоків на техніко-економічні показники гірничо-збагачувальних комбінатів             | 178 |
| Висновки до розділу 3                                                                                                                             | 192 |
| <b>РОЗДІЛ 4 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ СИРОВИННОЇ ЯКОСТІ РУДОПОТОКІВ</b>                                                             | 195 |
| 4.1. Розробка математичної моделі технології управління якістю рудопотоків з використанням теорії управління                                      | 195 |
| 4.2. Математична модель процесу стабілізації якісних характеристик рудопотоку                                                                     | 209 |
| 4.3. Дослідження випадкового процесу, що описує вміст корисного компоненту в рудопотоці з метою його прогнозування і подальшого зниження коливань | 214 |
| 4.4. Обґрунтування періоду опробування якості в забоях кар'єру на основі статистичних даних                                                       | 222 |
| 4.5. Оптимізація періоду опробування забоїв за критерієм мінімізації втрат інформації                                                             | 231 |
| 4.6. Дослідження впливу періоду опробування забоїв кар'єру на показник прибутку гірничо-збагачувального комбінату                                 | 247 |

Висновки до розділу 4

251

## **РОЗДІЛ 5 МОБІЛЬНИЙ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ЯК ЧАСТИНА ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДОПОТОКІВ**

253

5.1. Дослідження впливу ефективного атомного номеру гірських порід на процес радіометричного сортування залізорудної сировини в кар'єрі 253

5.2. Розробка функціональної схеми й алгоритму роботи мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу 265

5.3. Розробка методології роботи мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу 269

5.4. Мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс як частина і компоновочний елемент технології управління якістю рудопотоків 274

5.5. Обґрунтування доцільності та умов застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в залізорудному кар'єрі 278

Висновки до розділу 5

280

## **РОЗДІЛ 6 СИНЕРГІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯК ОСНОВА ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ ГЕНЕРАЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ РУДОПОТОКІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ**

284

6.1. Розробка функціональної схеми технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів 284

6.2. Розробка структурної та функціональної схеми технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів 289

6.3. Алгоритмізація функціонування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів 294

6.4. Концепція створення технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах гірничо-збагачувального комбінату комплексу рудопотоків 297

|                                                                                                                                                          |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.5. Обґрунтування критеріїв оцінки точності оперативного контролю якості й ефективності управління якістю рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів | 308 |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Висновки до розділу 6 | 316 |
|-----------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>РОЗДІЛ 7 АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ Й ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ ГЕНЕРАЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ РУДОПОТОКІВ В УМОВАХ ГЗК УКРАЇНИ</b> | 318 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.1. Обґрунтування умов застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів | 318 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.2. Розробка алгоритму технологічної та економічної оцінки застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів | 320 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                  |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.3. Екологічна оцінка використання технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів | 328 |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4. Забезпечення радіаційної безпеки при застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів | 329 |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| Висновки до розділу 7 | 332 |
|-----------------------|-----|

|                 |     |
|-----------------|-----|
| <b>ВИСНОВКИ</b> | 334 |
|-----------------|-----|

|                                   |     |
|-----------------------------------|-----|
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ</b> | 337 |
|-----------------------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток А</b> | 357 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток Б</b> | 358 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток В</b> | 359 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток Г</b> | 360 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток Д</b> | 361 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток Е</b> | 362 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
| <b>Додаток Ж</b> | 363 |
|------------------|-----|

|                  |     |
|------------------|-----|
|                  | 31  |
| <b>Додаток З</b> | 364 |
| <b>Додаток И</b> | 368 |

## ВСТУП

Проблема управління якістю рудопотоків актуалізувалася наприкінці 20-го сторіччя, коли вміст корисного компонента (в.к.к.) в руді почав стійко знижуватися після відпрацювання найбільш багатих ділянок залізорудних родовищ.

Рудопотік – це вантажопотік, сформований шляхом змішування руди з видобувних забоїв, який характеризується вхідними показниками: обсягом руди і вмістом корисного компонента з кожного забою; а також вихідними показниками: загальним обсягом потоку, вмістом корисного компонента й амплітудою його коливань.

Фінальний рудопотік гірничо-збагачувального комбінату (ГЗК) – це інтегрований вантажопотік, який формується з рудопотоків одного або декількох кар'єрів та інших джерел сировини і фактично є вхідною рудою збагачувального виробництва.

В умовах гірничого виробництва практично неможливо точно забезпечити необхідне значення вмісту корисного компоненту в потоці руди, тому розрахунковою величиною задається діапазон з мінімальним і максимальним значенням – допустима амплітуда коливань сировинної якості. У свою ж чергу якість продукції гірничо-збагачувальних комбінатів (ГЗК) є головним чинником формування відпускної ціни на останню і безпосередньо залежить від характеристик фінального рудопотоку, що надходить на збагачення.

Оптимальні режими збагачення досягаються тільки за жорстко обумовлених значеннях в.к.к. в рудопотоці, дозволяють виробляти концентрат потрібної якості, мінімізувати втрати корисного компонента й отримати ресурсо- й енергозберігаючий ефект. Таким чином, якість фінального рудопотоку безпосередньо впливає на техніко-економічні показники ГЗК.

Технологічну ефективність стабілізації якості рудної сировини доведено дослідженнями таких видатних вчених, як Ю.І. Аністратов, С.Я. Арсеньєв, П.П. Бастан, В.Ф. Бизов, Ф.Г. Грачов, Ю.Є. Капутін, Г.Г. Ломоносов,



А.К. Порцевський, А.Д. Прудовський, В.В. Ржевський, М.С. Четверик, Б.П. Юматов, а також багаторічною практикою роботи гірничо-збагачувальних комбінатів.

Вирішення проблеми формування фінального рудопотоку ГЗК із заданим вмістом корисного компонента вимагає виконання комплексу заходів щодо управління якістю з урахуванням динаміки коливань, обумовленої просторовою нерівномірністю в.к.к. по кар'єрному полю, різними показниками збагачуваності, неритмічною роботою устаткування в забоях, аварійно-ремонтними збоями, амплітудно-частотною пульсацією трактів ЦПТ тощо.

Управління якістю рудної сировини ГЗК є неможливим без оперативного контролю якості в усіх технологічних процесах гірничого виробництва. При цьому до завдань контролю належать не лише вибір та обґрунтування засобів і систем з належним рівнем точності вимірювань, але й визначення оптимального періоду опробування забоїв кар'єру. Слід зазначити, що жоден ГЗК в Україні не має системи контролю якості, яка інтегровано охоплює всі основні технологічні процеси.

Забезпечення заданого рівня якості руди та стабілізація його амплітудних коливань у фінальному рудопотоці за важливістю, складністю і масштабами є **актуальною науково-практичною проблемою** тому, що оптимальні режими збагачення можуть бути забезпечені тільки за жорстко обмежених відхиленнях якості у фінальному рудопотоці ГЗК.

До теперішнього часу ця проблема розглядалася переважно у рамках дослідження вантажопотоків з окремих забоїв і формування з них загальнокар'єрних, незважаючи на наявність у частини ГЗК декількох кар'єрів при єдиних збагачувальних фабриках. А виключно значима неминучість уже в найближчому майбутньому наростаючого по мірі доопрацювання кар'єрних полів продукційного дисбалансу серед гірничо-збагачувальних комбінатів – зовсім ігнорується, попри те, що на окремих з них падіння продуктивності з певного моменту зробить утримання власних збагачувальних потужностей нерентабельним і змусить збувати як кінцеву власну продукцію – лише товарну

руді, що спрямовується в інтегровані рудопотоки інших ГЗК регіону як сировина із зовнішніх джерел.

Вирішення цієї проблеми вимагає створення відповідної науково-методичної бази шляхом постановки і розв'язання ряду наукових завдань, що визначає актуальність представленої роботи.

В ході виконаних досліджень було розроблено і теоретично обґрунтовано технологію управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудних вантажопотоків різного ступеня інтеграції, включаючи нові технічні засоби і системи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами.** Обраний науковий напрям забезпечувався виконанням наступних науково-дослідних робіт, в яких автор брав безпосередню участь: «Розроблення теорії векторного поля розсіяного гамма-випромінювання та перетворення хвиль Лява і Стоунлі в магнітному полі для керування якістю мінеральної сировини» (№ ДР 0109U002335); «Розроблення методу визначення мінералого-технологічних різновидів залізної руди з використанням надвисокочастотного електромагнітного випромінювання, гамма-випромінювання, та високоенергетичного ультразвуку» (№ ДР 0115U003030), а також госпугод ДВНЗ «КНУ»: «Дослідження фізико-хімічних властивостей залізистих кварцитів і каротаж вибухових свердловин» (№ 2-825-10); «Дослідження впливу обводненості на результат каротажу вибухових свердловин» (№ 26-945-13); «Виконання підготовчих робіт для розробки та впровадження системи програмного забезпечення управління якістю руди при видобутку та переробці» (№ 26-947-13); «Дослідження основних і додаткових факторів, що впливають на точність каротажу вибухових свердловин» (№ 2-35-15); «Розробка функціональної, принципової схеми і комплексного алгоритму роботи інтелектуальних датчиків для оперативного контролю вмісту магнітного і загального заліза у підірваній, здрібненій та подрібненій гірничий масі» (№ 26-57-16); «Обґрунтування застосування мобільних дробильно-сортувальних радіометричних комплексів в умовах залізорудних кар'єрів Кривбасу» (ініціативна прикладна НДР № ДР 0116U001808).

**Мета і завдання досліджень.** *Мета* дисертаційної роботи – обґрунтування теоретичних та технологічних засад управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК з мінімізацією амплітудних і часових коливань вмісту корисного компонента в гарантованих межах інтервалу, що задається.

Відповідно до усебічного вивчення визначеної проблеми та реалізації ідеї сформульовано *завдання досліджень*:

1. Виконати комплексний структурно-функціональний аналіз існуючих технологічних схем гірничо-транспортної диспетчеризації, систем контролю і управління якістю руд в умовах відкритих гірничих робіт.

2. Визначити основні «вузькі місця» і сформулювати цілі та завдання створення нової технології управління якістю інтегрованих рудопотоків ГЗК.

3. Дослідити залежності точності контролю й ефективності управління якістю рудопотоків від властивостей гірничої маси та технологічних факторів в умовах відкритих гірничих робіт.

4. Дослідити цільовим чином залежність прогнозних показників прибутку ГЗК від середньоквадратичного відхилення (СКВ) та значення мінімаксного коефіцієнта («*minimax*») вмісту корисного компонента в загальному рудопотоці.

5. Розробити методику обґрунтування періоду опробування в.к.к. в забоях кар'єру, що не знижує якісних характеристик сформованого рудопотоку. Дослідити взаємозв'язок між оперативністю зняття інформації про вміст корисного компонента в забоях кар'єру і показником прибутку ГЗК.

6. Обґрунтувати можливість і доцільність застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків ГЗК з урахуванням технологічного, екологічного, енергозберігаючого й економічного ефекту.

7. Розробити й обґрунтувати принцип генералізації управління якістю фінального інтегрованого рудопотоку в масштабах окремого ГЗК або їх групи.

8. Розробити принципову схему й алгоритм функціонування запропонованої нової технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК.

9. Розробити алгоритм оцінки ефективності застосування технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків в умовах залізорудних комбінатів України.

10. Розробити комплексний критерій оцінки ефективності технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, який пов'язує якісні характеристики сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід з неї концентрату та собівартість переробки.

*Ідея* роботи полягає в генералізації управління якістю залізовмісної сировини фінальних рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів як сукупності всіх засобів контролю, сортування і мікширування руд в єдиний, технологічно домінуючий в масштабі не тільки окремого кар'єру, але всього ГЗК комп'ютеризований комплекс, підпорядкований загальній цільовій алгоритмізації. Реалізація цієї ідеї вимагає розробки і теоретичного обґрунтування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків: від геологічного картування, технологічного зонування рудних покладів та опробування видобувних забоїв – до контролю кінцевого потоку збагачувальної фабрики, що охоплює усю організаційно-керуючу систему ГЗК з відповідними технічними й інформаційними засобами.

*Об'єкт дослідження* – процес формування фінального рудопотоку ГЗК із заданим показником в.к.к.

*Предмет дослідження* – технологія управління якістю рудопотоків залізорудних ГЗК.

**Методи досліджень.** Для досягнення поставленої мети в роботі було використано комплексний метод досліджень, що включає в себе теоретичні й інструментальні методи: планування експериментів, математичну обробку їх результатів; аналіз фізико-хімічного складу руд в залежності від варіацій технологічних чинників. У роботі використано теорії гірничої справи, радіометрії

та управління; методи чисельного і статистичного аналізу; застосовано комплексний підхід, що включає техніко-економічний та компаративний аналіз результатів роботи гірничих підприємств, методи математичної статистики, математичне й імітаційне моделювання процесів та ін.

Для математичної обробки результатів досліджень застосовано методи найменших квадратів і факторного аналізу, використано математичні методи моделювання та багатоваріантні розрахунки з використанням комп'ютерних програм, включаючи авторські, для визначення оптимальних технологічних рішень.

*Обґрунтованість і достовірність* наукових результатів, висновків і рекомендацій, викладених у дисертаційній роботі, підтверджується коректністю постановки і послідовністю рішення сформульованих завдань, використанням сучасних теорій і ретельно перевірених експериментальних даних, лабораторними і натурними випробуваннями з використанням стандартизованих еталонів, методик і сучасної високоточної апаратури; результатами аналітичних досліджень з побудовою математичних й імітаційних моделей досліджуваних об'єктів і процесів, відповідністю отриманих результатів математичного моделювання реальним значенням статистичної бази даних, а також чітко аргументованим обґрунтуванням застосування розробленої технології управління якістю залізозмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів України.

### **Наукова новизна отриманих результатів.**

*Наукові положення*, які виносяться на захист:

1. Комплексний критерій оцінки ефективності управління якістю мінеральної сировини загального рудопотоку як функція від множення модуля відношення планового і фактичного вмісту корисного компонента в сформованому потоці, його обсягу, собівартості процесу збагачення і виходу концентрату, забезпечує формування фінального інтегрованого рудопотоку ГЗК із заданим вмістом корисного компонента в гарантованому діапазоні амплітудних коливань.

2. Максимізацію прибутку ГЗК забезпечує технологія управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків, що базується на закономірностях впливу результатів оперативного контролю вмісту заліза в рудних покладах, забоях і локальних рудопотоках, залежностях амплітудних значень якості, величини і тривалості її відхилення від допустимого діапазону, а також на прогнозній оцінці результатів збагачення й обробці отриманої інформації для коригування за необхідності періоду опробування і навантаження на видобувні забої, та об'єднує усі засоби контролю, сортування і мікширування руд ГЗК в єдину технологічно домінуючу в масштабі комбінату систему, підпорядковану загальній цільовій алгоритмізації.

3. Планування реструктуризації існуючої технології управління якістю рудопотоків у генералізовану має виконуватися з урахуванням динаміки скорочення обсягів видобутку руди у групі комбінатів залізорудного басейну при доробці ними покладів з можливістю перенаправлення частини або загального рудопотоку з одного ГЗК на інший, що визначається критерієм доцільності утримання або поетапного виводу з експлуатації на них РЗФ – співвідношенням витрат на утримання фабрики і доходу від реалізації кінцевої продукції.

4. Підвищення вмісту корисного компонента на 5 %, зниження засмічення на 12÷18 % і зменшення на 1,2 % частки гірничої маси, що направляється на збагачення, забезпечується включенням в технологію видобутку мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу, що відсікає некондиційну гірничу масу в забоях приконтатної зони "руда-порода" за встановленим критерієм бінарності середовища.

*Наукова новизна* отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Уперше сформульовано й обґрунтовано ідею застосування в масштабах ГЗК технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків на основі поєднання усіх засобів контролю якості, сортування і шихтовки.

2. Уперше встановлено і теоретично обґрунтовано вплив періоду якісного опробування забоїв кар'єру на прогнозне значення прибутку ГЗК з урахуванням

середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в рудопотоці, що дозволяє визначати інтервал зняття інформації про в.к.к., за якого значення прибутку ГЗК не знижується.

3. Набула подальшого розвитку методологія формування рудопотоку з в.к.к., обмеженим мінімаксним коефіцієнтом "minimax" на основі синергетичного ефекту від об'єднання систем контролю й управління якістю, що дозволяє здійснювати постійний моніторинг фактичного в.к.к. в потоці з коригуванням навантаження на забої видобутку в разі виходу амплітуди коливань якості за межі заданого діапазону.

4. Аналітичним обґрунтуванням удосконалено економіко-математичну модель формування рудопотоку з амплітудою коливань в.к.к. в гарантованих межах на основі встановленої залежності прогностичного прибутку від стабільності цього вмісту в рудопотоці при заданому значенні середньоквадратичного відхилення в.к.к. Встановлено, що зростання середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку на одиницю зумовлює падіння річного прибутку ГЗК на 10÷12 %.

5. Уперше теоретично обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в залізорудному кар'єрі як елементу технології управління якістю рудопотоків, що виконує функцію якісного фільтру з відсікання некондиційної гірничої маси, видобутої в забоях приконтатної зони "руда-порода", за встановленим порогом сортування з урахуванням критерію бінарності середовища, що забезпечує тим самим технологічний, екологічний, енергозберігаючий та економічний ефект, підвищуючи якість рудного потоку мінімум на 5 % і знижуючи на 1,2 % частку некондиційної гірничої маси, яка направляється на збагачення.

6. Розвинуто теорію оцінки ефективності технології управління якістю рудопотоків на підставі комплексного критерію, що враховує співвідношення фактичного і планового значень в.к.к. сформованого рудопотоку, фактичний обсяг руди, що направляється на збагачення, вихід концентрату і собівартість збагачення.

*Наукове значення* роботи полягає в подальшому розвитку теорії управління якістю рудопотоків з обґрунтуванням технологічно-теоретичних засад управління якістю залізовмісної сировини вже на рівні генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК на основі встановлених залежностей, які впливають на точність контролю й ефективність даного управління.

**Практичне значення** отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено алгоритм роботи й обґрунтовано функціональну схему технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу фінальних інтегрованих рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

2. Розроблено методику визначення оптимальної тривалості періоду опробування забоїв кар'єрів на основі статистичних даних за критерієм мінімізації втрати інформації.

3. Розроблено алгоритм оцінки можливості та доцільності застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

4. Розроблено технологічну схему й обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків з метою зниження засмічення руд в приконтактних зонах покладів. Радіометричний модуль виготовлено в проблемно-галузевої лабораторії КНУ й випробувано на залізних рудах Криворізького басейну.

Розроблені й удосконалені автором математичні моделі процесів управління якістю рудопотоків були опубліковані окремими розділами в підручнику "Моделювання в гірничій справі".

**Особистий внесок здобувача.** Здобувач є автором наукових ідей, теоретичних й експериментальних досліджень, включаючи теоретичні результати та наукові положення, винесені на захист. Окремі дослідження виконано зі співвиконавцями у рамках НДР. У спільних публікаціях за темою дисертаційної роботи автор обґрунтовував напрям і методи досліджень, здійснював розробку



математичних та імітаційних моделей, алгоритмів управління, формулював й узагальнював висновки та визначав подальші напрями досліджень.

Наукові результати роботи отримано автором самостійно. Розробка і виготовлення радіометричного модулю, а також його випробування здійснювалося при безпосередній участі автора.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи й отримані результати досліджень доповідалися автором й обговорювалися на наукових форумах різних рівнів: III міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (м. Варна, 2007 р.); VII Конгресі збагачувальників країн СНД (м. Москва, 2009 р.); міжнародній науково-технічній конференції «Гірничо-металургійний комплекс: досягнення, проблеми та перспективи розвитку-2010» (м. Кривий Ріг, 2010 р.); VI міжнародній конференції «Стратегія якості в промисловості і освіті» (м. Варна, 2010 р.); VIII конгресі збагачувальників країн СНД (м. Москва, 2011 р.); IX конгресі збагачувальників країн СНД (м. Москва, 2013 р.); V міжнародній науково-практичній конференції «Європейська наука і технології» (European Science and Technology) (м. Мюнхен, 2013 р.); III міжнародній науково-практичній конференції «Цілі всесвітньої науки» (Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «The goals of the World Science 2017») ОАЕ (м. Дубай, 2017 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Розвиток промисловості та суспільства» (м. Кривий Ріг, 2017 р.); IV міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні наукові досягнення та їх практичне застосування» «Modern Scientific Achievements and Their Practical Application» (м. Дубай, 2017 р.); II міжнародній науково-технічній інтернет-конференції «Іноваційний розвиток гірничодобувної галузі» (м. Кривий Ріг, 2017 р.).

**Публікації.** Основний зміст дисертації опубліковано в 61 роботі (у тому числі 23 одноосібних), зокрема: 29 наукових статей опубліковано в спеціалізованих наукових виданнях, 5 статей – у виданнях, що індексуються в наукометричних базах; 4 наукових статті – у закордонних наукових журналах; 10 – у збірниках тез наукових конференцій. Новизна наукових положень дисертації

також підтверджується 11 патентами України на корисну модель. Серед інших публікацій – підручник «Моделювання в гірничій справі».

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел із 147 найменувань на 20 сторінках та 9 додатків на 19 сторінках, містить 93 рисунки і 25 таблиць. Загальний обсяг дисертації складає 376 сторінок, з яких 303 – основний текст.

Автор висловлює глибоку подяку керівникові докторантури професору Бизову В.Ф., науковому консультанту професору Жукову С.О., керівникові науково-дослідної лабораторії професору Азаряну А.А., а також колективу кафедри відкритих гірничих робіт Криворізького національного університету за допомогу при реалізації наукових розробок й упровадженні їх у виробництво.

## РОЗДІЛ 1

### ХАРАКТЕРИСТИКА СТАНУ ПРОБЛЕМИ КОМПЛЕКСНОГО ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ Й УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

#### 1.1. Аналіз існуючих технологічних систем управління якістю рудопотоків

На сьогоднішній день розроблено й упроваджено в гірниче виробництво різні системи, які мають елементи управління якістю рудопотоків кар'єрів. Це – системи диспетчеризації «ВІСТ Груп» і «АДІС», система диспетчеризації автотранспорту та контролю рудопотоку «Інтегра» – «НЕВОД», автоматизована корпоративна система управління геотехнологічним комплексом на відкритих розробках «Джетигара», а також різні системи гірничого проектування і планування.

Основою функціональної схеми системи диспетчеризації «КАР'ЄР» компанії «ВІСТ Груп» є автоматизована система управління гірничо-транспортним комплексом (АСУ ГТК). Дана система призначена для управління виймально-навантажувальним обладнанням, автомобільним і залізничним транспортом, буровими верстатами, моніторингу основного і допоміжного обладнання, контролю й управління обсягами і якістю руди, що надходить на переробку.

Система диспетчеризації «КАР'ЄР» використовується в Україні на наступних гірничо-збагачувальних залізорудних комбінатах: ПАТ «Полтавський ГЗК», ПрАТ «Інгулецький ГЗК», Гірничий департамент ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ГЗК «Укрмеханобр» ММК ім. Ілліча, ПрАТ «Північний ГЗК», а також СП «Ерденет» в Монголії [1].

Реалізація АСУ ГТК «КАР'ЄР» здійснюється, як правило, в три етапи:

1. Управління екскаваторно-автомобільним комплексом, склад якого визначає парк автосамоскидів і паливозаправників, а також парк екскаваторів.

2. Управління залізничним комплексом, що складається з тепловозів, електровозів, думпкарів і допоміжної залізничної техніки.

3. Управління роботою бурового і допоміжного обладнання, що включає бурові верстати, бульдозери, трактори, скрепери й автогрейдери.

На першому етапі система АСУ ГТК «КАР'ЄР» повинна забезпечувати наступні основні функції: управління обладнанням в режимі реального часу й управління якістю руди при навантаженні та розвантаженні на складі; контроль переміщення обсягів руди і розкриву, контроль маршрутів руху, а також завантаження автосамоскидів; моніторинг роботи двигунів і вузлів автосамоскидів, експлуатації шин, заправок і витрати пального, часу технічного обслуговування обладнання і т.д.

На другому етапі формування АСУ ГТК «КАР'ЄР» додається можливість моніторингу місця розташування залізничного транспорту, його завантаження та розвантаження, простоїв і кількості відвантажених думпкарів, а також контролю за дотриманням швидкісних режимів поїздів, витрат пального тепловозами, обсягів і якості руди, яка подається на дробильно-збагачувальну фабрику, що дозволяє оперативно контролювати цифрову транспортну модель кар'єру по ділянках залізничних колій та підсумковий графік руху технологічних поїздів за зміну.

На третьому етапі досягається можливість самонаведення бурових верстатів на проектну точку без попереднього маркшейдерського знімання, а також передача координат пробурених свердловин в маркшейдерську службу і дільницю буропідливних робіт для можливості своєчасного коригування проектів на буріння і вибух. Також ведеться моніторинг і контроль в реальному масштабі часу, як параметрів процесу буріння, так і технічного стану бурових верстатів.

Одним з основних завдань системи диспетчеризації гірничо-транспортного обладнання «КАР'ЄР» є моніторинг стану великовантажних автосамоскидів в режимі реального часу (завантаження, витрати пального, швидкість, місце розташування). Система здійснює облік цих параметрів, а також простоїв і порушень технологічних режимів експлуатації автосамоскида [1].

Модернізація системи диспетчеризації «КАР'ЄР» йде за наступними напрямками:

- розвиток бортового обладнання транспортно-навантажувального комплексу;
- розвиток програмного забезпечення диспетчерського центру;
- розвиток засобів організації передачі даних в диспетчерський центр [1].

Розширення функціональних можливостей програмного забезпечення диспетчерського центру досягається за рахунок постійного нарощування числа спеціалізованих автоматизованих робочих місць, яке відбувається при розширенні кола користувачів системи (функціональних служб гірничого підприємства) при переході до повномасштабного управління гірничо-транспортним комплексом. Так, якщо на першому етапі програмне забезпечення диспетчерського центру включає в себе п'ять автоматизованих робочих місць (АРМ) користувача, а саме: гірничого диспетчера, диспетчера автобази, маркшейдера, системного адміністратора, технічного директора, то на момент завершення третього етапу диспетчерський центр (що розглядається як розподілене інформаційне середовище) може бути оснащений додатково АРМами: начальника зміни рудоуправління, виробничого відділу рудоуправління, дільниці буропідливних робіт, начальника зміни бурової дільниці, диспетчера управління залізничним транспортом, служби ПММ, інженера ТО, геологорозвідувального відділу, виробничого відділу, директора з виробництва [1].

Залучення до системи управління гірничо-транспортним комплексом нових користувачів, що охоплюють практично всі організаційно-технічні служби комбінату, є неможливим без постійного розвитку гнучкості системи, підвищення її функціональності та зручності роботи, що реалізується завдяки спеціальній багатокомпонентній структурі програмного забезпечення і застосування нових технологій програмування. Програмне забезпечення сервера додатків за допомогою спеціально розробленої технології UMP.NET обробляє вхідну інформацію, як отриману від мобільних об'єктів, так і введену користувачами; результати цієї обробки зберігаються в базі даних. При цьому на сервері бази

даних ORACLE зберігається вся інформація про роботу обладнання, включаючи повну історію руху і показників датчиків кожного мобільного об'єкта; дані про рейси, в тому числі – відстань транспортування, масу і вид вантажу, що був перевезений; дані про зупинки і порушення швидкісного режиму, підсумкова інформація по зміні та за добу і тощо. Програмне забезпечення робочих місць, побудоване на базі програмного продукту XRTL Explorer, взаємодіє з базою даних через сервер додатків [1].

Управління гірничотранспортним комплексом є неможливим без розвитку методів автоматизованої диспетчеризації обладнання і виробничих процесів гірничого підприємства. В першу чергу це відноситься до оптимізації роботи автомобільно-екскаваторного комплексу. З метою обчислення оптимального розподілу автосамоскидів за маршрутами (до екскаваторів та до пунктів розвантаження) відповідно до заданих критеріїв оптимізації, зокрема, для підтримки певного процентного вмісту корисного компонента при шихтовці руд, розроблено для системи диспетчеризації «КАР'ЄР» принципи роботи модуля оптимізації гірничих робіт в кар'єрі.

Модуль «Оптимізація гірничих робіт» АСУ ГТК надає можливість використання великої кількості критеріїв оптимізації, в тому числі таких, як:

- якість шихтовки руди (максимальна відповідність реального значення процентного вмісту корисного компонента в руді до розрахункового показника);
- загальна продуктивність кар'єра за корисними копалинами;
- відповідність показників паспортної та розрахункової продуктивності екскаваторів;
- показник переваги екскаваторів (облік вказівок диспетчера) [1].

При роботі модуля «Оптимізація гірничих робіт» кожен критерій оптимізації оцінюється чисельно: він проходить етап порівняння з його «вагою», тобто числовим коефіцієнтом, що відображає його значимість (наприклад, якість шихтовки має істотно більшу «вагу», ніж близькість паспортної та обчисленої продуктивності екскаваторів). При цьому в якості початкової інформації в модуль вводяться наступні основні дані: довжини маршрутів, кількість екскаваторів і

пункти розвантаження, максимальна продуктивність екскаваторів та якість руди, кількість автосамоскидів, а також вибирається один або декілька критеріїв оптимізації, та вказуються переваги при виборі екскаваторів при розподілі автосамоскидів [1].

Ефективність та зручність використання такого підходу пов'язані з наявністю цифрової геологічної моделі та моделі поверхні кар'єру. В цьому випадку система повинна визначати поточний процентний вміст корисного компонента в руді за розташуванням екскаватора та, відповідно, кількість самоскидів, що завантажуються цим екскаватором. За відсутності такої моделі дані про процентний вміст корисного компонента в руді слід заносити вручну [1].

У продовж робочої зміни модуль «Оптимізація гірничих робіт» АСУ ГТК запускається автоматично після кожного розвантажування самоскида, тобто тоді, коли виникає необхідність у визначенні наступного маршруту для автомобіля. При цьому модуль здатний автоматично врахувати велику кількість чинників і прийняти оптимальні рішення в режимі реального часу, що робить його надзвичайно важливим засобом для підвищення ефективності виробництва.

Функція диспетчера при обслуговуванні роботи модуля «Оптимізація гірничих робіт» АСУ ГТК зводиться до того, що він повинен протягом робочої зміни вручну вносити дані про основні показники, які можуть вплинути на розподіл автосамоскидів за екскаваторами: поломки (і завершення ремонту) екскаваторів і самоскидів, зміни в процентному вмісті руди при переміщенні забоїв тощо.

Аналіз виробничої діяльності гірничих підприємств показав, що при переході до оперативного управління гірничо-транспортним комплексом розширення видів транспортних засобів, що контролюються системою диспетчеризації, підвищує вимоги до технології і якості передачі даних від мобільних об'єктів до диспетчерського центру.

Технології циклічного опитування транспортних засобів мають обмеження, пов'язані зі зниженням частоти опитування кожної одиниці мобільної техніки при збільшенні загального парку устаткування, що охоплюється системою

диспетчеризації. Крім цього, для кожного виду гірничого устаткування існують свої вимоги щодо частоти передачі інформації про роботу. Для подолання цих обмежень було використано «подійний» підхід щодо організації передачі інформації до диспетчерського центру. За такого підходу інформація про роботу автосамоскидів, екскаваторів, локомотивів та ін. передається до диспетчерської по мірі настання певних, властивих даному виду техніки, подій. Такими подіями можуть бути: зміни координат об'єкту, початок і завершення навантажувально-розвантажувального циклу, різке зменшення кількості пального тощо. Таким чином, значна частина функцій обробки інформації було перекладено з програмного забезпечення диспетчерського центру на бортовий контролер. Перехід до подійної системи, в якій усі значущі для управління ГТК події (простої, рейси й інші виробничі цикли, порушення режимів роботи і т.п.) формуються і зберігаються в пам'яті бортового комп'ютера, а не в диспетчерському центрі, як у випадку циклічного опитування, є більш прогресивним, оскільки суттєво підвищується надійність фіксації і передачі інформації. Подійна система дозволяє за рахунок подальшого розвитку програмного забезпечення диспетчерського центру та системи зв'язку транспортного засобу з диспетчерським центром (наприклад, транкінгова система радіозв'язку TETRA у ВАТ «Південний Кузбас») зберігати інформацію навіть в тих випадках, коли транспортний засіб потрапляє в так звані радіотіньові зони, або радіозв'язок взагалі тимчасово пропадає (наприклад, при увімкненні широкоповідомлювального голосового режиму) [1].

На ГЗК «Укрмеханобр» ММК ім. Ілліча (м. Кривий Ріг) встановлено оновлене програмне забезпечення АСУ ВМД «КАР'ЄР» версії 2 (подійна система). Основною відмінністю програмного забезпечення нової версії є обробка даних безпосередньо в бортовому контролері СКЗ, запобігання втрат даних під час руху об'єктів в зонах нестійкої роботи радіозв'язку.

Програмне забезпечення диспетчерського центру версії 2 дозволяє вирішувати наступні завдання:

- робота з базою даних системи;



- оперативне управління кар'єром (моніторинг, видача і змінення змінного завдання, зв'язок з мобільними об'єктами);
- автоматична і/або автоматизована оптимізація вантажопотоків в кар'єрі, вирішення задачі усереднення якості;
- аналіз інформації, що була оброблена (результуючих даних, рейсів, простоїв, перевищень швидкості);
- створення і друк рапортів за різні звітні періоди.

Система диспетчеризації «КАР'ЄР» дозволяє виконувати повний моніторинг показників роботи кар'єрних автосамоскидів протягом певного періоду часу. З заданою дискретністю вимірюється гірнича маса, яка перевозиться (з похибкою  $\pm 3\%$ ), швидкість руху самоскида в навантаженому і порожньому напрямі, витрати пального за зміною його рівня в баку (з похибкою  $\pm 3\%$ ). Підсумки роботи за зміну відбиваються в диспетчерському рапорті.

За всіх переваг, АСУ ГТК «КАР'ЄР» має явні недоліки з точки зору здійснення управління якістю рудопотоків кар'єру:

- відсутність достовірної інформації про вміст корисного компонента і динаміку його зміни внаслідок відсутності оперативного контролю якості в забоях кар'єру;
- відсутність системи оперативної передачі інформації про вміст корисного компонента в забоях на центральний сервер;
- відсутність безперервного контролю якості в сформованому рудопотоці;
- відсутність програмного забезпечення на центральному сервері, що дозволяє в автоматичному режимі проводити обробку інформації про якість в забоях і рудопотоці та про працездатність виймально-навантажувального і транспортного устаткування в кар'єрі та на підставі отриманих результатів змінювати навантаження на забої і маршрути руху транспортних засобів. Наслідком цього є необхідність ручного введення даних диспетчером при зміні ситуації: поточні значення вмісту корисного компонента в забоях, вихід з ладу устаткування або зупинка будь-якого забою.

Відомо, що для гірничої промисловості розроблено цілий ряд систем з діалоговим режимом. Ці системи мають ті ж можливості, що і системи з «режимом поради», але працюють вони, виходячи з принципів заздалегідь заданих критеріїв (умов), які диспетчер може змінювати в режимі реального часу в залежності від ситуації.

Останнє покоління АСУ ГТК, як правило, містить засоби оптимізації процесів, які мають, крім «режиму поради», повністю автоматичний режим, що допускається для тих чи інших операцій на основі заданих критеріїв оптимізації та вагових коефіцієнтів цих критеріїв. У цьому режимі диспетчер лише відстежує результати прийнятих системою рішень, тільки за необхідності втручаючись в управління.

Систему «Карат» було розроблено Центральним науково-дослідним інститутом комплексної автоматизації (ЦНДІКА, Росія) і призначено для вирішення наступних завдань гірничого виробництва:

- оперативне планування обсягів видобутку руди екскаваторами в режимі усереднення її якості;
- оптимальне планування транспортних засобів і розподілу їх за пунктами навантаження і розвантаження;
- збір первинної інформації, її обробка і видача результатів розрахунку оперативних показників роботи екскаваторного-автомобільного комплексу для аналізу, розробки рішень і планування роботи на наступні зміни.

Система «Карат» здійснює ряд функцій з управління та контролю технологічних процесів у кар'єрі:

- розподіл потоку технологічного транспорту за пунктами навантаження для виконання змінного плану гірничих робіт і забезпечення необхідного вмісту корисного продукту в рудах, що поставляються на збагачувальну фабрику;
- вибір пункту навантаження і маршруту слідування кожного автосамоскида з метою зменшення сумарних простоїв навантажувального і транспортного устаткування;
- облік роботи екскаваторів і автосамоскидів;

- облік обсягів гірничої маси за пунктами розвантаження і з усього кар'єра в цілому.

Система дозволяє розпізнавати номери автосамоскидів на контрольних пунктах, зважувати автосамоскиди, інформувати про перевезений обсяг гірничої маси водіїв автосамоскидів і оператора, контролювати автосамоскид при сходженні його з лінії. За різких змін виробничої ситуації (наприклад, вихід з ладу навантажувальних екскаваторів, перевантажувальних пунктів, збагачувальних фабрик, зміна вмісту руди в забоях і т.д.) проводиться перезакріплення автосамоскидів в ручному режимі введення. Дану систему «Карат» було впроваджено на кар'єрі «Мир» (республіка Саха, Росія).

У плані функціональних завдань система «Карат» практично не відрізняється від системи АСУ ГТК «КАР'ЄР».

Основна функція модернізованої системи «Карат-М» полягає в оперативному управлінні зміною потоку транспортних одиниць. В результаті диспетчер отримує можливість безпосередньо впливати не тільки на окремі автосамоскиди, а й на екскаватори, а тим самим – на якісні та кількісні параметри вихідного потоку руди, на швидкість посування видобувних і розкривних забоїв.

На відміну від системи «Карат», система «Карат-М» працює в так званому «діалоговому» режимі, тобто диспетчер отримує від системи рекомендації, але рішення приймає самостійно.

Упровадження цієї системи дозволило знизити простої автотранспорту в очікуванні навантаження в середньому на 15–20 %, простої екскаватора в очікуванні транспорту – на 20 %, підвищити однорідність якості руди, що надходить на збагачувальну фабрику, збільшити коефіцієнт використання вантажопідйомності автотранспорту на 17 %, підвищити культуру виробництва.

У той же час «Карат-М» і аналогічні їй системи не дозволяли здійснювати контроль багатьох важливих експлуатаційних характеристик роботи автосамоскидів, що призводило до завищених витрат на паливно-мастильні матеріали, автомобільні шини, ремонти і технічне обслуговування. В даний час через застарілу елементну базу системи подібного типу не використовуються.

Система «Кварцит», яку було впроваджено на ПрАТ «Інгулецький ГЗК», функціонує в «ручному режимі». Разом з функціями обліку роботи екскаваторів і автосамоскидів вона дозволяє виробляти ручне адресування автосамоскидів на навантаження і розвантаження відповідно до плану-графіка, розрахованого в інформаційному обчислювальному центрі. До її складу входять автомобільні ваги, датчик номера автосамоскиду, пристрій розпізнавання транспортного засобу і диспетчерський пульт. На запам'ятовувальний регістр диспетчерського пульта з автомобільних ваг надходить інформація про кількість гірничої маси, про номер автосамоскиду – через пристрій введення, про номер навантажувального екскаватора і про місце розвантаження – з набірною поля диспетчерського пульта. Сформована інформація виводиться на світлове табло автомобільних ваг. При в'їзді автосамоскиду в кар'єр на світловому табло висвічується адреса навантаження і розвантаження, що набирається вручну диспетчером на набірному полі пульта.

Більш досконалими системами, які пройшли дослідно-промислову експлуатацію, є «Комплекс-АТ» і «Гермес», що належать до класу інформаційно-керуючих систем, які реалізують, як інформаційно-обчислювальні, так і керуючі функції.

Система «Гермес», упроваджена на ПАТ «Північний ГЗК», реалізує широкий спектр інформаційно-обчислювальних функцій: збір інформації про масу вантажів, що перевозяться автосамоскидами; про стан екскаваторів і технічних засобів; підготовку інформації для АСУ верхнього рівня; контроль і реєстрацію відхилень від заданого режиму; відображення інформації.

Автоматизовану систему управління вантажно-транспортними роботами «Комплекс-АТ» було впроваджено на Соколовському кар'єрі (Росія).

Аналіз функціональних можливостей розглянутих систем «Гермес» і «Комплекс-АТ» показує, що облік техніко-економічних експлуатаційних показників здійснювався в основному за рахунок скорочення часу простоїв завдяки раціональному адресуванню транспортних засобів до навантажувального

обладнання і перевантажувальних пунктів, де вирішується завдання усереднення якісного складу руди.

Результати використання розглянутих систем управління автотранспортом показали, що системи «Карат» і «Пуск» доцільно застосовувати на кар'єрах з річною продуктивністю 5–10 млн т сирової руди, а системи «Комплекс-АТ» і «Гермес» – понад 10 млн т на рік.

У Казахському політехнічному інституті (Республіка Казахстан) було розроблено систему гірничо-транспортної диспетчеризації «Авто». Її функціональна структура включає в себе підсистеми планування роботи екскаваторно-автомобільного комплексу кар'єра за зміну, оперативного надання інформації про маршрут прямування автосамоскиду, обліку видобутої і перевезеної гірничої маси за зміну з наростаючим підсумком, контролю виконання планових завдань екскаваторами й автосамоскидами, контролю та обліку обсягу і якості руди на внутрішньокар'єрних перевантажувальних складах, формування звітних даних і техніко-економічних показників з поданням їх оперативно-керуючому персоналу.

Планування й управління в системі здійснюється в режимі усереднення якості руди на внутрішньокар'єрних перевантажувальних складах з мінімізацією транспортного пробігу.

Після дослідної перевірки працездатності систему «Авто» було впроваджено на комбінаті «Кустанайасбест», що дозволило збільшити змінну продуктивність парку автосамоскидів в кар'єрі за рахунок скорочення простою гірничо-транспортного устаткування. У той же час, контроль і облік власне експлуатаційних витрат кар'єрних автосамоскидів безпосередньо не здійснювався.

Більш сучасною з точки зору архітектури та функціональних завдань є система диспетчеризації автотранспорту та контролю рудопотоку компанії ТОВ «Інтегра» – «НЕВОД», яка являє собою нове покоління систем контролю за пересуванням і станом автосамоскидів (АС), а також роботою екскаваторів. Вона заснована на супутниковій навігаційній системі (GPS), гіромагнітній навігаційній

системі та дубльованій системі телекомунікацій. Така побудова системи дозволяє її застосування в глибокому кар'єрі [2].

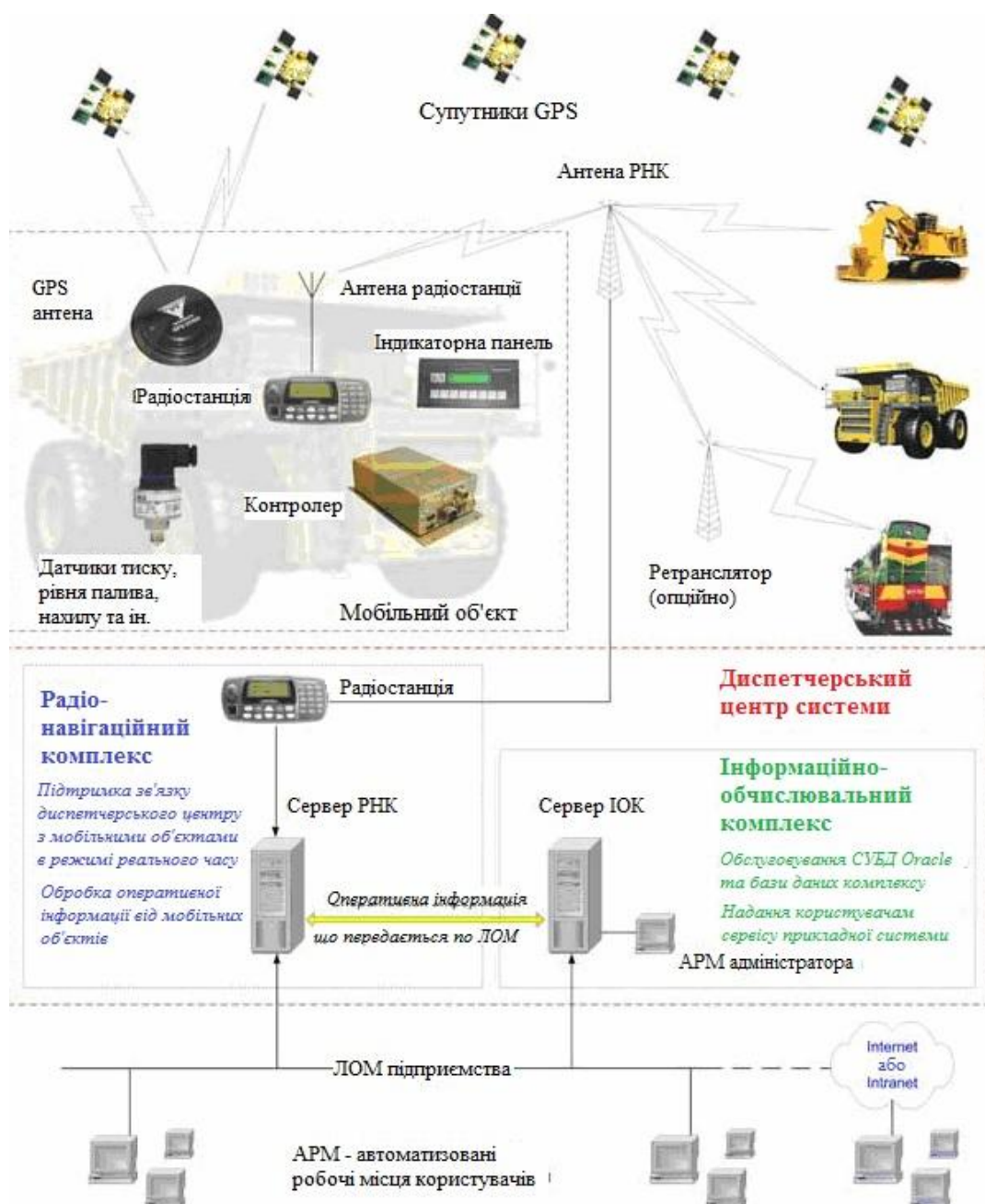


Рис. 1.1. Загальна схема системи автоматизованого диспетчерського управління гірничо-транспортним устаткуванням у кар'єрі

Усі електронні модулі інтегровано в компактному антивандальному корпусі, призначеному для спілкування з диспетчерським центром та прийому виробничих завдань з використанням графічних даних.

Диспетчер рудника отримує за запитом або періодично (в заданий інтервал) інформацію про статус АС і ГРМ (місце розташування, швидкість, напрямок, завантаження, запас пального, пробіг і т.д.). Програмне забезпечення диспетчерського центру візуалізує отриману інформацію в зручному для оператора вигляді (на тлі електронної карти кар'єру і в табличній формі). При отриманні цифрового повідомлення від водія АС і ГРМ на моніторі диспетчера з'являється текст повідомлення, що супроводжується звуковим сигналом. Аналогічним чином передається цифрове повідомлення від диспетчера до водія або від комп'ютера до водія.

Система забезпечує диспетчера голосовим зв'язком з операторами гірничих машин. Оперативна інформація, яка циркулює в системі (звіти про місцезнаходження і стан ГРМ, доставку гірничої маси, команди диспетчерів й ін.), архівується сервером диспетчерського центру, що дозволяє проводити аналіз роботи кар'єру за будь-який минулий проміжок часу (перегляд маршрутів руху автосамоскидів, роботи екскаваторів та дій диспетчера).

Автоматизована система управління «НЕВОД» дозволяє вирішувати широкий спектр завдань. У тому числі:

- реєстрація стану гірничих робіт на кар'єрі;
- автоматичний облік рейсів, які виконуються автосамоскидами в реальному часі, виявлення порушень при виконанні рейсів, вимір ваги корисного навантаження, пробігу, контроль витрати пального;
- оптимальне керування автосамоскидами, автоматизована відправка команд на дисплеї мобільних комплектів, сигналізація про порушення виконання команд;
- контроль доставки руди різних сортів від екскаватора на склади, сигналізація про порушення;
- видача завдань та контроль роботи бульдозерів, грейдерів, візуалізація процесу виконання завдань;
- видача завдань та контроль роботи підсобної техніки;

- взаємодія АСУ ГТ з системою планування гірничих робіт та геолого-маркшейдерським забезпеченням робіт;
- підвищення трудової дисципліни персоналу.

Практикою роботи ТОВ «Інтегра» встановлено, що ефективність використання гірничого транспорту за рахунок упровадження системи АСУ «НЕВОД» може бути підвищеною до 30 % [3].

В даний час ТОВ "Інтегра" реалізувала систему контролю за місцезнаходженням мобільних об'єктів (СКММО) для кар'єрів. Система використовує метод побудови бездротової мікростільникової мережі, що складається з модулів малої потужності, призначених для:

- визначення положення рухомих об'єктів;
- передачі текстових повідомлень між рухомими об'єктами;
- передачі на пульт параметрів рухомих об'єктів;
- передачі повідомлень на рухомі об'єкти про небезпеку зіткнень між ними.

Дана система є новітньою розробкою та за деякими параметрами випереджає аналоги зарубіжних модифікацій, при відносно невеликій її вартості [3]. В основі даної системи лежить розробка колективу ТОВ «Інтегра», інтелектуальну власність на яку закріплено патентом на винахід [4]. Винахід відноситься до автоматизованого управління, зокрема – до способів та систем для автоматизованого управління гірничо-транспортними роботами в кар'єрах родовищ кольорових, поліметалічних та золотоносних руд з використанням екскаваторно-автомобільного комплексу. Технічний результат винаходу – підвищення якості руди при неможливості використання прямих методів контролю гірничої маси в процесі видобутку.

Оскільки завдання оперативного керування рудопотоками належить до класу задач оперативного керування, то всі методики, які застосовуються до даного класу задач – застосовуються і до неї.

У загальному випадку задача керування може складатися з наступних етапів:

- отримання інформації про динаміку ситуації;



- прогноз розвитку ситуації;
- розробка керуючих рішень;
- імітація впливу розроблених рішень на об'єкт керування методами, які не беруть участі у розробці рішень;
- прийняття рішення;
- передача рішення на об'єкт керування;
- контроль реалізації рішення.

Важливою особливістю завдань оперативного керування є необхідність прийняття рішення практично завжди в режимі цейтноту. Це накладає певні обмеження на методи, що використовуються для вирішення цього завдання.

Вимоги до всіх систем гірничо-транспортної диспетчеризації, як правило, є стандартними: надійність, можливість налаштування, секретність, авторизація змін, наявність засобів первинного аналізу, наявність можливості доступу до даних з інших систем тощо.

Місце завдання збору інформації в загальній системі керування так само не викликає питань (щоб ефективно керувати об'єктом – треба знати про нього якомога більше). Система «НЕВОД» в цьому плані повторює проблеми АСУ ГТК «ВІСТ Груп» – відсутність оперативного контролю якості в забоях і контролю якості в сформованому рудопотоці для отримання достовірних даних про фактичні показники вмісту корисного компонента і порівняння їх з розрахунковими.

Керування якістю в системі «НЕВОД» побудовано на прогнозних значеннях. Власне, прогноз розвитку ситуації займає ключове місце в загальній системі оперативного керування об'єктом, передбаченою системою диспетчеризації автотранспорту і контролю рудопотоку «НЕВОД». В основу загальної системи оперативного керування покладено твердження розробників: не вміючи прогнозувати поведінку об'єкта керування, ми не можемо ефективно керувати ним, оскільки все керування, яке не ґрунтується на прогнозуванні, є тільки реакцією на поточний стан, являючись, по суті, локальною оптимізацією

стану по визначенню, і не може забезпечити досягнення загальносистемного оптимуму [4].

Відомо, що для коректного вирішення завдання прогнозування системи гірничо-транспортної диспетчеризації можливим є застосування декількох підходів:

- математичне моделювання;
- імітаційне моделювання;
- статистичний аналіз;
- методи штучного інтелекту.

Математичне моделювання застосовується для вирішення досить простих або добре вивчених задач. Математичні методи моделювання мають високу швидкість. Завдання, вирішення яких стає відомим із застосуванням математичних методів, практично не мають конкурентів щодо доцільності застосування.

Імітаційне моделювання застосовується, як правило, в задачах багатокритеріальної оптимізації, коли необхідно змоделювати поведінку якоїсь сукупності об'єктів, де на перше місце виходять проблеми не моделювання внутрішніх властивостей об'єктів, а проблеми взаємодії об'єктів в єдиній системі. У певних випадках з'являється можливість методом імітації роботи системи передбачати її стан на досить тривалий проміжок часу.

Статистичний аналіз застосовується, як правило, для знаходження закономірності в масиві числових значень (який може бути описаним безперервною функцією). Статистичний аналіз дозволяє будувати екстраполяції на будь-який інтервал часу. Точність таких екстраполяцій – теоретично обгрунтована.

Методи штучного інтелекту застосовуються для знаходження закономірності в масиві дискретних значень. Здатність будувати екстраполяції також має теоретичне обгрунтування. Окремим напрямком виділяються нейромережеві технології, які позитивно зарекомендували себе в задачах інтерполяції числових рядів.

Вироблення керуючих рішень несе на собі наступне функціональне навантаження в пропонованій системі: особі, що приймає рішення, пропонується кілька варіантів рішень для конкретної ситуації з деякою певною їх оцінкою.

Для вирішення завдання розробки керуючих рішень придатним є застосування декількох підходів:

- методологія ситуаційного керування;
- методи штучного інтелекту;
- експертні системи.

Методологія ситуаційного управління заснована на логіко-лінгвістичних моделях управління (ЛЛУ), в яких логічні засоби обробки використовуються для перетворення даних, представлених в лінгвістичній формі. На основі керуючих рішень будуються так звані правила кореляції. Ці правила встановлюють відповідність між окремими рішеннями і ознаками ситуацій на об'єкті керування.

У загальному випадку рішення виглядає наступним чином: для об'єкта керування в наявному переліку рішень знаходиться те, що відповідає поточній ситуації. Якщо таке рішення знайдено – воно пропонується особі, що приймає рішення. Якщо рішення не знайдено – можливим є багатокроковий його пошук. Якщо і в цьому випадку рішення не вдалося знайти, то в систему рішень вводиться нове рішення.

Експертні системи – це одна з найбільш вживаних в даний час технологій для вироблення рішень в задачах, пов'язаних з керуванням об'єктом. Особливо висока її застосовність в задачах діагностики станів.

Імітація впливу рішень на об'єкт керування застосовується для вирішення завдань прогнозу результатів керуючих рішень. Завдання керування є тісно пов'язаним із завданням прогнозування розвитку ситуації. Методи вирішення цього завдання – аналогічні до методів, що застосовуються в задачах прогнозування розвитку ситуації.

Технологія прийняття рішення – наступна: змінюємо опис стану системи відповідно до передбачуваного керуючим рішенням – прогнозуємо поведінку об'єкта керування на певний термін, тобто визначаємо зміну цільової функції. На

підставі результатів, отриманих в процесі імітації впливу різних рішень на об'єкт керування особою, яка приймає рішення, визначається доцільність застосування того чи іншого рішення.

Передача рішення на об'єкт керування є заключним етапом керування цим об'єктом, та єдиним пунктом у переліку виконуваних дій, без якого саме керування не може існувати як поняття [4].

Але в рамках цієї роботи дана технологія не представляє особливого інтересу з точки зору оптимізації керування об'єктами (рудопотоками залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів).

Компанія «ІНТЕГРА» також розробила комплексну систему керування якістю руд при експлуатації Джерой-Сардарінського родовища фосфоритів. Мета розробки: забезпечення власною фосфорною сировиною потужностей з виробництва фосфорних добрив (Кокандський суперфосфатний завод, Самаркандський хімічний завод, Алмаликський ВО «Амофос») [5].

Розробці системи передувало проведення науково-дослідних і дослідно-промислових робіт, результати яких показали можливість упровадження нових ефективних технологій збагачення фосфоритових руд, що дозволяють не тільки збільшити в них вміст  $P_2O_5$ , а й знизити шкідливі домішки.

Було визначено основні напрямки розробки комплексної системи керування якістю руд при експлуатації Джерой-Сардарінського родовища фосфоритів:

1. Технологія побудови математичної моделі Джерой-Сардарінського родовища у вигляді пакету комп'ютерних програм, що дозволяють з високою точністю оцінити не тільки запаси, а й визначити: оптимальну глибину фрезерування комбайном "Вірген-2100". Ці дані є необхідними для подальшого селективного відпрацювання фосфоритових пластів, а також розрахунку очікуваних показників селективної виїмки і посамоскидного сортування, а також для довгострокового і середньострокового планування гірничих робіт. Модель будується на основі даних секційного випробування керну і результатів диференціальної інтерпретації гамма-каротажу свердловин експлуатаційної розвідки.

2. Технологія геофізичних досліджень експлуатаційно-розвідувальних свердловин з використанням виготовленої за технічними вимогами комбінату підприємством «СІГМА» (м. Кара-Балти, Киргизстан) комп'ютеризованої каротажної станції «КОБРА-М». Використання цієї технології дозволило повністю автоматизувати процес проведення геофізичних досліджень: від налаштування і градування апаратури – до обробки отриманих результатів; скоротити час проведення робіт безпосередньо на свердловині (в середньому в 2 рази); поліпшити якість і достовірність отриманих результатів; скоротити час простою бурових бригад.

3. Технологія селективного виїмки різних сортів руд (за вмістом  $P_2O_5$ ). Встановлено, що фосфоритові пласти мають закономірну шарувату концентрацію фосфатних зерен. Ця закономірність є сприятливою обставиною для селективного відпрацювання пластів тонкими регульованими за товщиною шарами комбайном «Вірген-2100». При цьому, виїмка різних за вмістом  $P_2O_5$  шарів проводиться за результатами автоматизованого радіометричного опробування. Для реалізації радіометричного опробування спільно з фахівцями НВП «Доза» було розроблено і проведено дослідно-промислові випробування гамма-спектрометричного апаратного комплексу «Гамма-сенсор». Упровадження технології селективної виїмки забезпечило зниження перемішування при виїмці руд різних сортів і, тим самим, збільшило вихід товарних руд, які не потребують подальшого збагачення.

4. Технологія радіометричного сортування фосфоритових руд в автосамоскидах з використанням в якості розподілюючої ознаки рівня природної радіоактивності. Відомо, що вміст радіоактивних елементів в фосфоритових рудах незначно перевищує фоновий і добрива, отримані з них, можуть бути використані в сільському господарстві без обмеження. Разом з цим, існує функціональна пряма кореляційна залежність між вмістом в фосфоритах  $P_2O_5$  і природною гамма-активністю, що дозволяє використовувати її для експрес-оцінки вмісту  $P_2O_5$  в видобутих фосфоритових рудах і подальшої реалізації посамоскидного сортування з високою технологічною ефективністю.

Встановлено, що фосфоритові руди мають достатню крупнопорціону контрастність, що робить можливим їх попереднє збагачення посамоскидним сортуванням. Розроблено робочий проект та здійснено будівництво пересувної автомобільної рудоконтрольної станції (РКС). РКС обладнано сцинтиляційними блоками детектування великого обсягу, що дозволяє визначати вміст  $P_2O_5$  в фосфоритовій руді з високою точністю. Для повної автоматизації РКС, за технічними вимогами, розробленими фахівцями комбінату, підприємством «СІГМА» виготовлено автоматизований програмно-керований комплекс, що дозволяє експлуатувати РКС в повністю автоматичному режимі, без присутності оператора. В даний час РКС проходить дослідно-промислові випробування. Очікується, що в результаті впровадження посамоскидного радіометричного сортування з видобутих руд буде виділено близько 30 % відвальних хвостів (мінералізованої маси). За рахунок цього вміст корисного компонента – п'ятиокису фосфору в фосфоритовій руді, яка залишилася, збільшиться на 2,5–3 % абс. з 17,5 до 20–21 %. Крім того, посамоскидне сортування дозволить виділити близько 20–25 % збагаченого сорту руди з вмістом в ній п'ятиокису фосфору на рівні 24 %, яка не вимагає подальшого збагачення і є прийнятною після випалення для отримання амофосу [5].

Комплексна система керування якістю руд Джерой-Сардарінського родовища фосфоритів має всі ознаки системи контролю та управління якістю, охоплюючи процеси підготовки, виїмки та транспортування видобутої мінеральної сировини. Однак система не має чіткого фактора керування. Відсутність центрального сервера як головного вузла обробки інформації та приймання керуючих рішень суттєво знижує ефективність даної системи.

Крім цього, викликає сумнів ефективність посамоскидного сортування з використанням РКС через те, що відомим мінусом даного способу сортування є відсутність можливості узагальнення даних, отриманих з продетектированного шару і загального обсягу вантажу автосамоскида (обсяг інформаційного шару руди, вміст в якому виміряно за допомогою детекторів рудокотнролюючої станції,

становить не більше 3 % від загального обсягу руди в кузові транспортного засобу і не може вважатися за достовірну інформацію для прийняття рішення).

Системи гірничо-транспортної диспетчеризації також активно впроваджувалися й використовувалися за кордоном – в США, Канаді та інших країнах з розвиненою гірничою промисловістю.

В системі, що застосовується на мідному кар'єрі в районі м. Туссон (США), для фіксування переміщення автосамоскидів застосовувалися точки, з яких інформація надходила на пункт загального контролю. Туди ж з екскаваторів надходила інформація про початок і закінчення навантаження. В системі було передбачено голосовий зв'язок, але адреса пункту призначення передавалася водію автосамоскида на цифрове табло.

Слід зазначити наступні особливості даної системи:

- використання «оптимізації», що полягає у вирішенні задач лінійного програмування: постановка завдань змінюється відповідно до календарного плану, погодних умов і кількості задіяних мобільних об'єктів;

- робота в діалоговому режимі: спочатку вводяться нові вихідні дані, потім ЕОМ вирішує завдання оптимізації, після чого оптимальний розподіл ТЗ передається водіям по радіозв'язку.

Таким чином, застосовується відкритий цикл. Практика показала, що при цьому продуктивність обладнання підвищується на 20 % і більше.

Система компанії «Quebec Cartier Mining» (Канада) має центральний обчислювальний центр, що керує як самоскидами, що рухаються за визначеними маршрутами, так і 90 групами обладнання фабрики, а крім того – дробильним відділенням і процесами збагачення залізної руди. Дана система має ознаки глобальної системи управління.

Однією з сучасних розробок в області гірничо-транспортної диспетчеризації є комп'ютерна система RAN фірми «Pincot, Allen and Holt Inc.» (США).

Запам'ятовуючий пристрій комп'ютерної системи RAN здатен зберігати статистичні відомості, що стосуються 30 вантажних механізмів, 30

розвантажувальних пунктів, 120 автосамоскидів різної вантажопідйомності, 30 автоматичних заправних станцій і 5 великих рудних складів.

Система RAN здійснює безпосередній зв'язок між центральним комп'ютером і працюючим гірничим обладнанням. В результаті видаються точні, отримані в реальному масштабі часу відомості про вантажопотоки, час руху кожного автосамоскиду і т.д. Все це сприяє кращому використанню устаткування, завдяки чому на 25 % зросла продуктивність кар'єру і значно знизилися капітальні та експлуатаційні витрати.

Також у США розроблено систему автоматичного управління автосамоскидом (CAUA) компанії «Unit Rig Equipment», що характеризується відсутністю водія в кабіні.

Система має в своєму складі дорожнє устаткування, що включає підземний кабель з глибиною залягання 0,45 м і блоки управління. По кабелю подаються сигнали, що управляють швидкістю, напрямом руху, розвантаженням автосамоскидів, звуковими сигналами й іншими параметрами. Визначається відстань між автосамоскидами. Місцезнаходження кожного автосамоскиду відображається на центральному табло диспетчерського пункту.

Техніко-економічну ефективність цієї системи було перевірено в умовах виробництва на міднорудному кар'єрі, де працювали 10 екскаваторів і 54 автосамоскиди. Коефіцієнт використання екскаваторів було підвищено на 7 %, коефіцієнт використання автосамоскидів виріс на 25 %.

В результаті застосування системи парк автосамоскидів було зменшено і скорочено експлуатаційні витрати на 25 %.

Однією з ранніх розробок в цій галузі є система Dispatch американської компанії «Modular Mining Systems» (Арізона, США), введена в 1980 р. на кар'єрі Tiron (США). Ця система – багаторазово модернізована та діє по теперішній час.

Система «Dispatch» функціонує в реальному масштабі часу, є динамічною і тому є можливість безперервного керування автосамоскидами для вибору



оптимального маршруту. Оптимізація маршруту проводиться відповідно до обраного критерію шляхом застосування методів лінійного програмування.

Система використовує супутникову навігацію. Дані відображаються на дисплеї в зручній графічній формі. Є динамічні засоби оцінки ефективності використання автосамоскидів.

Завдяки застосуванню системи «Dispatch» продуктивність вантажно-транспортного комплексу підвищилася в середньому на 11 %. Система виключила неправильне призначення автосамоскидів за рахунок візуального контролю на дисплеях.

На даний час розробками компанії «Modular Mining Systems» скористалося понад 105 кар'єрів і 25 шахт. Ця компанія є провідною, її частка на ринку систем диспетчеризації становить близько 90 %.

Починаючи з 1983 року, випускає свою АСУ ГТК канадська компанія «Wenco International Mining Systems».

Її сучасна модифікація використовує супутникове визначення координат мобільних об'єктів за допомогою GPS приймачів, здійснює моніторинг стану та диспетчеризацію мобільних об'єктів.

Система автоматично і з високою точністю фіксує всі складові вантажно-транспортного циклу в реальному часі: «навантаження – рух в навантаженому стані – очікування розвантаження – розвантаження – рух порожняком – очікування завантаження», фіксуються дані про продуктивність, для кожного навантаження ведеться облік місця навантаження, номера екскаватора, номера автосамоскида, табельних номерів операторів, кількості завантаженої маси, якості сировини, пункту розвантаження; враховуються простой з різних причин: заправка паливом, перезмінка, перерва на обід т.д .

Вся інформація, що стосується роботи мобільних об'єктів, відображається в режимі реального часу в диспетчерському центрі й офісі рудника. Керівник і диспетчер можуть вести моніторинг всіх подій, що відбуваються в кар'єрі, в т.ч. вони можуть доручити системі оптимізувати процес виробництва на основі

ефективного розподілу автосамоскидів або самостійно приймати рішення на основі отриманої інформації.

Різні модифікації системи диспетчеризації компанії «Wenco International Mining Systems» застосовуються на багатьох гірничо-видобувних підприємствах. Наприклад, на рудниках Кумтор (Киргизія) і Syncrude (Канада), на залізорудному підприємстві «Steel Minntac Mine» (Міннесота, США), на одному з кар'єрів АК «АЛРОСА» (Росія).

Усі перераховані вище системи гірничотранспортної диспетчеризації в змозі виконувати функцію управління вантажопотоками кар'єру. Але відсутність ефективного загальнокар'єрного контролю якості, що дозволяє мати достовірну та своєчасну інформацію про вміст корисного компонента в забоях і в потоці, що формується, не дозволяє вважати їх за повноцінні системи управління якістю рудопотоків.

Сегментом систем управління якістю руд на відкритих розробках можуть вважатися системи гірничого проектування і планування [6].

На світовому ринку програмного забезпечення в даний час пропонується понад 10 інтегрованих систем (ІС), які містять приблизно однаковий стандартний набір функцій:

- керування базами даних;
- інтерактивна 3-вимірна графіка і картування;
- статистична та геостатистична обробка інформації;
- тривимірне каркасне і блочне моделювання геологічних об'єктів і поверхонь;
- проектування відкритих і підземних гірничих робіт;
- планування розвитку рудників і календарне планування;
- маркшейдерські розрахунки.

У системах різних компаній зазвичай пропонуються численні додатки до стандартного набору, які помітно розширюють можливості програмного продукту. Більшість ІС працюють з різними операційними системами (Windows, Unix і т.д.), на будь-яких платформах, а також мають інтерфейси для роботи з

практично будь-якою периферією (плоттерами, дигитайзерами, сканерами, стримерами і т.д.). Вони надають користувачеві колосальний набір інструментів і коштують досить дорого (від 70 тис. доларів США і більше, в залежності від кількості модулів і числа користувачів). Більшість систем розраховано на роботу в багатокористувальницькому режимі в мережах. Така конфігурація дозволяє дуже швидко обробляти значні обсяги інформації, одночасно запускати кілька програм, а також в повній мірі використовувати всі можливості тривимірної динамічної графіки.

Звичайний набір засобів для складання гірничих планів будь-якої тривалості та їх оптимізації складається з наступних перерахованих нижче блоків:

- блок моделювання виконує ефективно та точно тривимірне моделювання нестратифікованих родовищ, використовуючи вбудовану систему автоматизованого проектування «MineScape» для візуалізації та управління моделями. Генерує тривимірні моделі родовищ з інтерпретацією геологічних даних для створення каркасів та експортом даних в зовнішні оптимізаційні інструменти типу Whittle 4D.

- геологічна База Даних (GDB). Опрацьовуючи дані по свердловинах: інклінометрія, літологію та результати опробування, створює «стандартні», задані користувачем звіти та необхідні ілюстрації. GDB показує на кресленнях літологію, інтервали опробування, геофізику та кореляцію, а також має функції композування та розрахунку параметрів показника збагачуваності руд.

- моделювання пластових родовищ. В інтерактивному режимі оперує з 3-вимірними елементами моделей, включаючи 3-вимірні зображення в будь-якій орієнтації. Модуль забезпечує гнучкість, багатогранність і точність, яка вимагається геологами, щоб створити оптимальну модель. Обсяги та запаси руди можуть також бути легко розраховані.

- буріння та підривання. Використовує інтерактивне 3D CAD оточення, щоб швидко створити оптимальний шаблон розміщення вибухових свердловин в блоці та обчислити всі параметри вибуху для цього шаблону.

- проектування доріг в 3D інтерактивному режимі. Визначає вимоги щодо виїмки та заповнення для оптимізації та балансування мас, які переміщуються. Автоматично створює звіт для маркшейдерів і будівельників в графічному або текстовому форматі.

- блок «Кар'єри» створює та перевіряє гірничі проекти для короткострокових планів роботи виробництва та довгострокових техніко-економічних обґрунтувань. Використовує 3D CAD інструменти MineScape для візуалізації та графічної взаємодії з проектом на будь-якій стадії. Потужна підсистема оцінки запасів гарантує, що обсяги, тонаж та вміст кожного компонента в межах проекту – розраховані точно та можуть бути надійно використані в інших модулях системи.

- блокування вмістів в інтерактивному режимі створює блоки вмістів, використовуючи найточнішу доступну інформацію для обчислення запасів та формування графічних сигналів гірничому планувальникові. Дозволяє виробничому персоналу оптимально контролювати класифікацію гірничої маси та її рух у кар'єрі.

- маркшейдерія автоматично генерує маркшейдерські інструкції з наявного гірничого плану. Вводить результати маркшейдерських зйомок з інструментів або польових книжок безпосередньо в Базу даних MineScape. Створює виробничі звіти, плани та використовує інформацію бази даних для подальшого відновлення та порівняння даних короткострокового планування. Система підтримує повний діапазон виробничих вимог маркшейдерів. Цей модуль контролює управління та використання польових маркшейдерських даних. Підтримуються всі формати вхідних даних, починаючи з записної книжки, та закінчуючи даними, що створюються сучасними маркшейдерськими приладами [6].

Введення даних – можливим є ручне введення або автоматичне завантаження даних безпосередньо з польових приладів з кодами автоматичної обробки, які визначені маркшейдером. Підтримуються всі типи інструментів, від мірних ланцюгів та набору точок виміру, до найсучаснішого обладнання, включно з GPS та роботизованими інструментами. Можуть бути імпортовані дані з інших

маркшейдерських та геодезичних систем, включаючи аерофотозйомку. При цьому 3D завантажує дані в 3D простір та негайно робить їх доступними для CAD редагування.

Функція COGO (COordinate GeOmetry – Геометрія Координат) – забезпечує додаткову кількість потужних COGO CAD-функцій.

Розрахунок об'ємів включає триангуляційні вибірки, обчислення виїмок та заповнень, а також розрахунки, засновані на перетинах (кінцевих областях).

Завантаження даних підтримує завантаження будь-яких проектів MineScape назад в польові пристрої або у вигляді графічних інструкцій без необхідного копіювання. Завантаження проектної інформації (з будь-якого джерела MineScape) є дуже легким, позиціонування інформації для будь-якої мети – як у вигляді кордонів на планах, так і за безпосереднім записом інформації в польові прилади;

- календарне планування оптимізує метод видобутку та послідовність відпрацювання запасів, забезпечуючи прогноз руху матеріальних потоків та роботу гірничих машин для довгострокових і короткострокових операцій;

- моделювання родовищ. Цей модуль забезпечує всі можливості для побудови, перегляду, оцінки та редагування блочних моделей родовищ. Інтерполяція вмісту металів та інших показників відбувається традиційними та геостатистичними методами;

- каркасне моделювання просторових тіл та поверхонь. Включає в себе набір напівавтоматичних та інтерактивних тривимірних інструментів для створення, модифікації, демонстрації й оцінки замкнених та топографічних каркасних моделей;

- моделювання складчастих структур – технологія розрахунку характеристик та моделювання геологічних об'єктів зі складчастою структурою за допомогою їх розгортання;

- маркшейдерські побудови та розрахунки включають в себе набір спеціалізованих програм для маркшейдерів, що автоматизує практично всі обчислення, процес створення та виведення необхідної графіки;

- проектування та планування відкритих гірничих робіт. Включає в себе напівавтоматичні та інтерактивні тривимірні інструменти для створення, модифікації, показу проектів та планів відкритих гірничих робіт. Забезпечує контроль кутів відкосу уступів та кар'єрних доріг при їх проектуванні;

- календарне планування гірничих робіт. Містить в собі інструменти, необхідні для різноманітної та ефективної розробки короткострокових, середньострокових або довгострокових планів розвитку гірничих робіт. План може містити велику кількість різних рудопотоків, а також задану кількість цілей та обмежень;

- оптимізація процесу усереднення руди. За допомогою цього модуля можна оптимізувати характеристики рудопотоків підприємства для заданих критеріїв якості руди та наявних гірничих обмежень;

- короткострокове планування відкритих гірничих робіт. Включає в себе інструменти для проектування розміщення буропідричних свердловин в межах блоків на кар'єрах. Там є також програма, що дозволяє планувати послідовність відпрацювання цих блоків для отримання рудопотоків необхідної якості;

- система управління запасами руди на складах – дозволяє оптимізувати рудопотоки на збагачувальну фабрику;

- оптимізація розміщення виймальних блоків на кар'єрах та підземних рудниках методом плаваючого конусу. Цей модуль дозволяє швидко та легко визначити геометрію та найкращу позицію економічно доцільних забоїв в межах рудного тіла. Процес працює за відомим алгоритмом плаваючого конусу, який використовується для оптимізації кар'єрів [7].

Деякі з перерахованих вище блоків і модулів інтегрованих систем можуть бути використані як елементи в системі управління якістю рудопотоків кар'єра та гірничо-збагачувального комбінату.

В Інституті гірничої справи ім. Д.А. Кунаєва (Республіка Казахстан) спільно зі співробітниками АТ «Костанайські мінерали» було розроблено методику оперативного моніторингу й управління рудопотоком, реалізовану в рамках автоматизованої інформаційної системи моніторингу «Рудопотік»

(AICM «Рудопотік») [8]. Дана система є одним з модулів автоматизованої системи оперативного моніторингу стану геотехнологічного комплексу, яка, в свою чергу, функціонує в структурі автоматизованої корпоративної системи управління геотехнологічним комплексом на відкритих розробках «Джетигара» [9].

Методика оперативного моніторингу й управління рудопотоком ґрунтується на достовірній оперативній інформації, що отримується за допомогою автоматизованої системи диспетчеризації гірничо-транспортних робіт АСД ГТР «АДІС» для кар'єрів з автомобільним, залізничним і комбінованим видами транспорту [10].

Вихідні дані моніторингу рудопотоку азбестової сировини використовуються при поточному й оперативному плануванні гірничо-транспортних робіт (ГТР), що здійснюється за допомогою інформаційного програмно-методичного комплексу «Календарне планування ГТР» (ІПМК «Календарне планування ГТР»). Взаємодія з АІСМ «Рудопотік» дозволяє будувати плани ГТР з урахуванням забезпечення необхідного загального вмісту корисного компонента в рудопотоці, а також вмісту азбестового волокна в 2-му і 3-му ситах контрольного апарату. Висока точність планування ГТР досягається, крім описаного вище, завдяки застосуванню програмного комплексу імітаційного моделювання роботи гірничо-транспортних систем кар'єрів «СЕВАДАН» (ІПМК «СЕВАДАН») для кар'єрів з автомобільним, залізничним і комбінованим транспортом [11].

Таким чином, розроблена методика дозволяє в автоматизованому режимі проводити в режимі реального часу моніторинг, і на його інформаційній основі здійснювати більш якісне управління характеристиками рудопотоку, що в істотній мірі полегшує роботу диспетчерів та начальників змін гірничовидобувних підприємств. Вплив людини на процес усереднення руди знаходиться під жорстким контролем і тим самим забезпечується можливість безперервної роботи збагачувальної фабрики з постійним вмістом корисного компонента в руді, тим самим знижуючи збитки, які несе підприємство за рахунок

підвищених енерговитрат на переробку додаткових обсягів гірничої маси, або за рахунок скорочення обсягів корисного компонента в хвостах переробки [12].

В остаточному результаті це впливає на собівартість готової продукції й ефективність підприємства в цілому. Принциповою новизною даної методики є її базування на об'єктивній, достовірній та оперативно отриманій інформації про якісні характеристики рудопотоку [13].

Різниця в системах контролю й управління якістю азбесту і залізорудної сировини не дозволяє в повному обсязі використовувати існуючий досвід застосування автоматизованої корпоративної системи управління геотехнологічним комплексом «Джетигара» на залізорудних кар'єрах ГЗК України.

Деякі системи гірничо-транспортної диспетчеризації можуть бути в подальшому використані як елементи технології управління якістю рудопотоків кар'єрів та гірничо-збагачувальних комбінатів. Проте, відсутність в структурі даних систем засобів контролю якості в забоях і потоці, надійних каналів передачі даних, а в деяких випадках – і центральних серверів зі спеціальним програмним забезпеченням, не дозволяє їм гнучко реагувати, як на зміну вмістів корисного компонента в забоях, так і контролювати фактичні показники якості в сформованому рудопотоці, що зводить ефективність їх роботи з керування якістю рудопотоків до мінімуму.

Якісні характеристики руди, що надходить на збагачення, як правило, істотно відрізняються від розрахункових значень, що позначається на показниках виходу концентрату і його втратах, а також на показниках собівартості збагачення, що в свою чергу негативно впливає на основні техніко-економічні показники всього гірничо-збагачувального комбінату.

Таким чином, внаслідок невідповідності сировинної якості фінального рудопотоку, який фактично є вхідною рудою рудозбагачувального виробництва, ГЗК несе значні технологічні та фінансові втрати.



## 1.2. Особливості фізико-хімічних властивостей залізних руд України

В Україні розвідано понад 80 родовищ залізорудної сировини. Основні запаси – 70 % і видобуток більше, ніж 80 %, припадає на Криворізький залізорудний басейн. Його продовженням на північ є Кременчуцький залізорудний район. Разом з рудними районами Запорізької, Кіровоградської та Полтавської областей Криворізький басейн становить залізорудну провінцію – Великий Кривий Ріг [14].

У Криворізькому залізорудному басейні знаходиться близько 90 підприємств різних галузей чорної металургії.

З десяти найбільших залізорудних підприємств України сім розташовані у Криворізькому регіоні: ПрАТ «Інгулецький ГЗК», ПАТ «Південний ГЗК», гірничий департамент ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Центральний ГЗК», ПАТ «Північний ГЗК», ПАТ «Кривбасзалізрудком» та ПАТ «Суха Балка». Ці підприємства криворізького залізорудного басейну забезпечують понад 90 % потреб металургійних підприємств України у сировині.

Балансові запаси країни становлять понад 30 млрд т залізної руди, що забезпечить роботу підприємств ще приблизно на 95–100 років.

На рис. 1.2 наведено розподіл запасів залізної руди між країнами. На першому місці Україна – 18 %, далі Росія – 16 %, Китай і Бразилія – по 13 %, Австралія – 11 %, Індія і США – по 4 %, решта 20 % – інші країни [15].

Частка України у світовому виробництві залізної руди становить близько 6 %. Підприємства галузі випускають весь спектр залізорудної сировини: залізну руду грудчасту і дрібну, залізорудний концентрат, окатиші та агломерат.

На даний час на внутрішньому ринку реалізується приблизно 60 % української залізорудної сировини. На експорт відправляється близько 23 млн т.

Основними країнами-імпортерами української залізної руди є Польща, Чехія, Словаччина, Китай, Австрія, Румунія та Сербія [15].

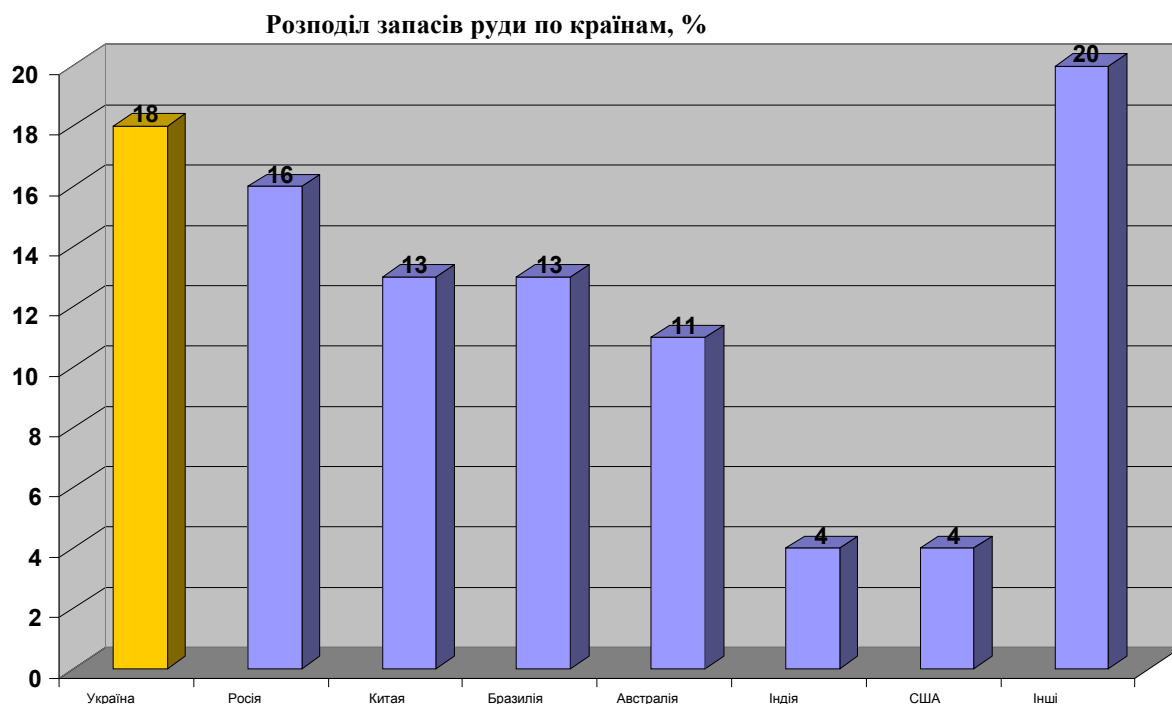


Рис. 1.2. Розподіл загальносвітових запасів залізної руди

На рис. 1.3 наведено запаси у перерахунку на вміст заліза по країнах від загальносвітового обсягу [18].

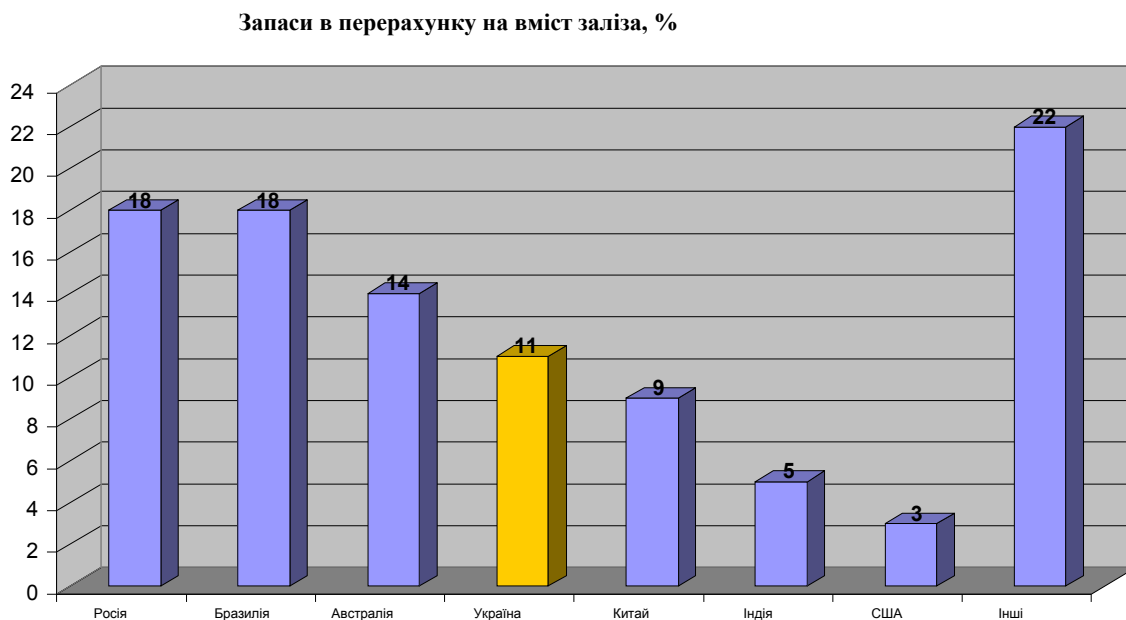


Рис. 1.3. Запаси залізної руди у перерахунку на вміст заліза по країнах від загальносвітового обсягу

Багаті залізні руди і залізисті кварцити видобуваються на родовищах Криворізького, Кременчуцького та Білозерського залізорудних басейнів, до 1992 р. розроблялися також «тютюнові» руди Керченського басейну.

В цілому залізні руди представлено трьома основними типами: багатими мартитовими, залізистими кварцитами та бурими залізняками.

Станом на 01.01.2005 р. балансові запаси залізорудної сировини на діючих підприємствах України становили: 1394,1 млн т природно-багатих руд, у тому числі 684,0 млн т у проектних контурах; 11711,9 млн т магнетитових кварцитів (у проектних контурах – 6473,7 млн т); 1027,8 млн т окислених магнетитових кварцитів (у проектних контурах – 753,4 млн т).

В даний час видобуток залізних руд на території України здійснюють десять гірничовидобувних підприємств, з них шість розробляють залізисті кварцити і чотири – багаті руди.

Залізисті кварцити, які є основним резервом розвитку сировинної бази Криворізького басейну, відносяться до Скелеватського геолого-промислового типу.

За мінеральним складом серед них виділяються наступні основні різновиди: неокислені магнетитові, залізослюдко-магнетитові, силікат-магнетитові, сідерит-магнетитові та окислені мартитові, залізослюдко-мартитові, гетит-гідроgetит-мартитові, дисперсногематит-мартитові.

Залежно від складності схеми, що застосовується для переробки кварцитів, і питомих витрат на їх збагачення, неокислені (магнетитові) кварцити відносяться до легкозбагачуваних, а окислені (мартитові) – до важкозбагачуваних. Показники збагачуваності є важливою характеристикою рудної сировини, від якої безпосередньо залежать такі показники, як вихід концентрату і величина собівартості збагачення.

Прогнозні запаси залізистих кварцитів зосереджені в 41 родовищі Криворізького басейну. З огляду на технологічні та структурно-морфологічні особливості неокислених і окислених залізистих кварцитів, а також глибини поширення, оцінка їх перспективності проводиться окремо.

Кар'єр ПАТ «Південний ГЗК», сировинною базою якого є Скелеватське родовище магнетитових кварцитів, забезпечений запасами руд категорій А+В+С на 75 років.

Кар'єри Гірничого Департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» забезпечені запасами бідних залізних руд категорій А+В+С Новокриворізького і Валявкінського родовищ на 73 роки.

ПАТ «Центральний ГЗК» забезпечено запасами бідних залізних руд категорії А+В+С родовищ «Велика Глеюватка» і Петровське на 86 років.

ПАТ «Північний ГЗК» – запаси бідних залізних руд категорій А+В+С Першотравневого та Аннівського родовищ на 69 років.

ПрАТ «Інгулецький ГЗК» володіє запасами бідних залізних руд категорії А+В+С Інгулецького родовища на 46 років відпрацювання.

Збільшення запасів магнетитових кварцитів Криворізького басейну є можливим на всіх зазначених родовищах за рахунок залучення до відпрацювання на відомих родовищах магнетитових кварцитів за межами проектних контурів кар'єрів до глибини 500 м, що приведе до збільшення запасів на 5890 млн т. Збільшення глибини відпрацювання на родовищах, які експлуатуються, може дати приріст запасів в інтервалі глибин 500-800 м приблизно на 10,2 млрд т.

Загальні прогностні запаси неокислених кварцитів, що відповідають за якістю існуючим кондиціям, до глибини 800 м складуть 16,1 млрд т.

Також збільшення запасів магнетитових кварцитів є можливим за рахунок зниження бортового вмісту  $Fe_{\text{магн}}$  до 10 %. З урахуванням залучення нових площ, це призведе до збільшення розвіданих запасів при глибині підрахунку 800 м на 22,4 млрд т (табл. 1.1).

Залізисті смугасті породи докембрію – залізисті кварцити, в даний час у світовій гірничовидобувній промисловості є найбільш важливим промисловим типом руд.

За провідним рудним мінералом виділяються кварцити чотирьох типів: магнетитові, гематитові, лимонітові і сідеритові. Магнетитові (неокислені)

залізисті кварцити є основним типом руд, що видобуваються залізорудними ГЗК України.

Таблиця 1.1

Розвідані, прогнозні запаси, перспективні ресурси магнетитових кварцитів та їхній спосіб видобутку у Криворізького залізорудного басейні

| Родовища залізних руд             | Розвідані запаси, млн т | Прогнозні запаси при бортовому вмісті Fe <sub>магн</sub> , млн т |          |           |          |          |           |          | Перспективні ресурси при глибині підрахунку 800–1500 м, млн т. |
|-----------------------------------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|----------|-----------|----------|----------|-----------|----------|----------------------------------------------------------------|
|                                   |                         | 20 %                                                             | 16 %     |           | 14 %     | 10 %     |           |          |                                                                |
|                                   |                         | 500–1500 м                                                       | до 500 м | 500–800 м | до 800 м | до 500 м | 500–800 м | до 800 м |                                                                |
| Експлуатуються відкритим способом | 13053                   |                                                                  | 2490     | 9490      | 11980    | 2570     | 10040     | 12620    | 12000                                                          |
| Експлуатуються підземним способом | 3100                    | 10900                                                            |          |           | -        | -        | -         | -        | -                                                              |
| Не експлуатуються                 | -                       | -                                                                | 3400     | 760       | 4160     | 5980     | 830       | 6810     | 2000                                                           |
| Нові перспективні площі           | -                       | -                                                                | -        | -         | -        | 2690     | 270       | 2950     | 5000 **                                                        |
| Всього                            | 16153 (4019)*           | 10900                                                            | 5890     | 10250     | 16140    | 11240    | 11140     | 22380    | 19000                                                          |

\* Позабалансові запаси

\*\* Перспективні ресурси, обчислені в інтервалі глибин 0–1500 м.

Короткий опис геологічної будови найбільших у басейні родовищ залізистих кварцитів, придатних для розробки, їх якісна і технологічна характеристика, а також техніко-економічні умови експлуатації наводяться у табл. 1.2.

Головні мінерали залізистих кварцитів родовищ України: магнетит, гематит, мартит, залізна слюдка, мінерали гідроксиду заліза, залізовмісні силікати (хлорити, амфіболи, біотити), карбонати заліза і кальцію, кварц.

Другорядні мінерали: сульфід заліза, апатит, доломіт, мусковіт.

Таблиця 1.2

Якісна і технологічна характеристика окислених кварцитів і умови відпрацювання родовищ Криворізького залізрудного басейну

| Вид розробки | Розвідані запаси, млн т | Прогнозні запаси при бортовому вмісті Fe 32 %, млн т | Глибина підрахунку прогнозних запасів, м | Перспективні ресурси при глибині підрахунку 1500–3500 м, млн т |
|--------------|-------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| Відкрита     | 2904                    | 5300                                                 | 800                                      | —                                                              |
| Підземна     | —                       | 14300                                                | 1500                                     | 8000                                                           |
| Всього       | 2904                    | 19600                                                | 0–1500                                   | 8000                                                           |

Основними текстурними ознаками кварцитів є смугатість, обумовлена чергуванням рудних, змішаних і нерудних прошарків. Рудні прошарки складаються з магнетиту, гематиту, змішані – з магнетиту, гематиту, кварцу, іноді в невеликій кількості присутні карбонати, хлорити та амфіболи. Нерудні прошарки – трьох видів: кварцові, сланцеві та карбонатні. Відмінності: кварцові прошарки – світло-сірого, сірого кольору («запорошені» окисними мінералами заліза), рожевого або червоного кольору за рахунок розвитку в них дисперсного гематиту. Сланцеві шари складені хлоритом, біотитом, амфіболом, іноді містять розсіяні кристали магнетиту або мартиту. Карбонатні шари складені в основному залізистими карбонатами.

Залежно від наявності тих чи інших прошарків, магнетитові залізисті кварцити поділяються на ряд різновидів, кожен з яких має різну технологічну цінність:

- магнетитові кварцити, які майже не містять силікатів і карбонатів;

- силікатно-магнетитові кварцити, що мають підпорядковану кількість силікатних прошарків;
- гематит-залізолюдково-магнетитові кварцити, що мають підпорядковану кількість гематитових прошарків;
- магнетит-силікатні кварцити, що мають підпорядковану кількість магнетитових прошарків, бідні кварцити, що перебувають на межі промислового значення;
- карбонат-магнетитові кварцити;
- силікат-карбонат, або карбонат-силікатні магнетитові кварцити.

Розглядаючи хімічний склад залізистих кварцитів, можна зробити висновок, що єдиним мінералом заліза, який представляє промислову цінність за існуючих технологій магнітного збагачення, є магнетит. Тому оконтурювання родовищ корисних копалин у просторі проводиться за так званим бортовим вмістом заліза магнетитового. Бортний вміст – це вміст заліза в крайній пробі, який становить 16 % заліза, пов'язаного з магнетитом.

Для ефективного застосування методів і засобів оперативного контролю й управління якістю залізорудної сировини при відкритому видобутку важливо знати ступінь окислення залізистих кварцитів в залежності від їх фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей. Зокрема, для застосування геофізичних методів оперативного контролю якості особливе значення мають показники щільності, вмісту корисного компонента і величини магнітної складової.

### 1.3. Критичний огляд та узагальнення існуючих систем з контролю якості залізних руд при веденні відкритих гірничих робіт

На родовищах низки корисних копалин (вугілля, деякі будівельні гірські породи) якісні характеристики змінюються у контурах кар'єру або в великих блоках незначно, що дозволяє відносно просто видобувати мінеральну сировину досить однорідного складу. У більшості ж випадків показники якості корисної копалини в обсягах родовищ варіюють в значних межах. Опробування на таких

родовищах виконують, як на стадіях детальної та експлуатаційної розвідки, так і у процесі видобувних робіт для виявлення й уточнення контурів родовищ, визначення характеру розподілу в масиві типів корисних копалин та їх якісних характеристик, а також для контролю зміни якості корисних копалин у технологічних процесах.

Дані проведеної до експлуатації родовищ детальної розвідки про форму родовищ та окремих рудних тіл, їх розміри, запаси та хіміко-мінералогічний склад корисних копалин у цілому та окремо за великими ділянками та блоками є основою для проектування та перспективного планування гірничих робіт.

Підвищення достовірності геологічних даних здійснюється шляхом проведення експлуатаційної розвідки. Дані експлуатаційної розвідки, а також дані випробування вибухових свердловин (каротаж), що екстраполюються, є основою для складання річного та квартальних планів гірничих робіт.

В цілому промислові контури корисних копалин з поділом на типо-сорт та окремі їх блоки виділяються за допомогою буріння розвідувальних свердловин з подальшим випробуванням шламу або керна, випробуванням шламу вибухових свердловин, бороздовим випробуванням або випробуванням за допомогою різних геофізичних засобів.

Керновий спосіб відбору проб є найбільш представницьким, оскільки дозволяє простежити характер якості руди у будь-якій точці за глибиною свердловин; у той же час він є найбільш трудомістким і має високу собівартість. Тому кернове опробування експлуатаційно-розвідувальних свердловин економічно вигідно застосовувати при видобутку високоцінних руд.

Шламаний спосіб відбору проб з розвідувальних та вибухових свердловин широко застосовується на кар'єрах та є одним з найбільш поширених способів опробування. Інтервал взяття шламаних проб з свердловин у приконттактних зонах складає 2–3 м на залізорудних кар'єрах, 1–2 м – на кар'єрах кольорової металургії, 3–5 м на фосфоритових та флюсових кар'єрах. На однорідних ділянках з вибухових свердловин зазвичай відбирається одна проба.



Бороздове опробування проводиться, як правило, по покрівлі уступу поперек фронту робіт на ширину блоку, що підривається, або – на всю потужність покладу. Різновидом цього способу є задиркове випробування, що проводиться вручну або за допомогою екскаватора через 4–12 м по висоті уступу. Ширина бороздових проб становить 20–30 см, а глибина – 10–20 см. Цей спосіб дає досить повне уявлення про стан контактів на оголених поверхнях уступу, але без виявлення контурів рудного тіла в обсязі блоку, і застосовується в основному при розробці пластових і жильних родовищ. Можливим є поєднання бороздового і шламового опробування.

Буріння експлуатаційно-розвідувальних свердловин є обов'язковим при відпрацюванні родовищ корисних копалин відкритим способом. Інші методи опробування (шламовий з вибухових свердловин, бороздовий) є додатковими, уточнюючими конфігурацію покладу і якість корисних копалин.

Достовірність інформації при опробуванні експлуатаційно-розвідувальних свердловин залежить від густоти їх сітки, але з її згущенням зростають витрати на процес опробування.

Загальним недоліком розглянутих способів опробування є зниження достовірності інформації через поділ операцій відбору й аналізу проб, велика трудомісткість і відсутність оперативності.

Окремим видом опробування є фізико-технічні методи, за яких використовуються ядерно-фізичні, магнітні, електричні та інші фізичні властивості порід і елементів. Вони дозволяють оперативно, без відбору і лабораторних аналізів проб, визначати якість корисних копалин безпосередньо в місцях їх залягання, підвищують кількість точок випробування і дозволяють економити значні кошти [16].

Розглянемо детальніше фізико-технічні методи опробування.

Магнітний каротаж – метод геофізичного дослідження в свердловині, заснований на вивченні магнітної сприйнятливості гірничих порід. При проведенні магнітного каротажу датчиком є пристрій індуктивності з феромагнетним осердям, при пересуванні якого його індуктивний опір змінюється

пропорційно до магнітної сприйнятливості порід. Реєстрація значень магнітної складової ведеться на поверхні в пульті синхронно з пересуванням датчика.

Магнітний каротаж застосовують для уточнення глибини залягання і потужності покладів залізної руди, визначення в них вмісту заліза, пов'язаного з магнетитом, а також для інтерпретації даних магніторозвідки.

Радіоактивний каротаж (РК) – сукупність геофізичних методів дослідження свердловин, заснованих на вимірі інтенсивності природної та штучно створеної радіоактивності гірських порід.

Основні види РК, що застосовуються в промисловій геофізиці:

- гамма-каротаж (ГК) – базується на вимірюванні інтенсивності природної гамма-активності порід;

- гамма-гамма-каротаж (ГГК) – базується на вимірюванні інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання, що виникає при первинному опроміненні порід джерелом гамма-квантів;

- нейтронний каротаж (НК) – базується на вивченні ефекту взаємодії потоку нейтронів з речовиною, з якої складаються гірські породи.

Особливості радіоактивного каротажу:

- мала глибина дослідження (10–30 см – так званий «інформаційний шар»);
- можливість проведення досліджень, як у відкритому, так і у обсадженому стволі свердловини.

Для вимірювання інтенсивності радіоактивних випромінювань використовуються свердловинні радіометри, які, як правило, є комплексними приладами, що дозволяють реєструвати одночасно два-три параметри РК.

Гамма-каротаж (ГК) базується на вимірюванні вздовж осі свердловини інтенсивності природного гамма-випромінювання, яке виникає в результаті самочинного розпаду радіоактивних елементів, що містяться у гірських породах.

Зв'язок, що існує між радіоактивністю порід та їх літологією, між інтенсивністю гамма-випромінювання і вмістом корисного компонента, дозволяє за кривими ГК виділяти в розрізі свердловини глинисті інтервали, кількісно

оцінювати вміст в породі глинистого матеріалу, а в комплексі з іншими методами каротажу – літологічно розчленовувати розріз.

ГК застосовується також при роботі з радіоактивними ізотопами.

Гамма-гамма-каротаж (ГГК) – один з видів радіоактивного каротажу, заснований на вимірюванні інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання, що виникає в результаті опромінення гірських порід джерелом гамма-квантів у свердловинах.

ГГК має малий інформаційний шар (10–15 см навколо діаметра свердловини), тому на його показники мають вплив свердловинні умови: зміна діаметру свердловини, товщина глинистої кірки, щільність промивальної рідини і т.д. Для зменшення цього впливу застосовують спеціальні двозондові прилади [16].

Нейтронний каротаж (НК) – сукупність методів радіоактивного каротажу, заснованих на вивченні ефекту взаємодії швидких нейтронів з речовиною гірської породи.

Залежно від ефекту, що вивчається при взаємодії нейтронів з гірською породою, розрізняють наступні методи НК:

- каротаж нейтрон-нейтронний (ННК), заснований на вимірюванні щільності нейтронів, які сповільнилися до надтеплових (одиниці eV) і теплових енергій;

- гамма-каротаж нейтронний (ГКН), заснований на вимірюванні інтенсивності гамма-випромінювання радіаційного захвату;

- каротаж нейтронний активаційний (КНА), заснований на вимірюванні інтенсивності зниження гамма-випромінювання штучних радіоактивних ізотопів, що виникли в результаті опромінення породи джерелом швидких нейтронів;

- каротаж нейтронний імпульсний (КНІ), заснований на вивченні швидкості становлення поля теплових нейтронів [17,18].

НК використовується для вирішення різноманітних завдань, пов'язаних з пошуками і розвідкою родовищ нафти і газу та з контролем експлуатації цих родовищ. Методи НК мають невелику глибину дослідження, на їх результати

великий вплив мають діаметр свердловини, властивості рідини, що її заповнює, характер глинистої кірки. Для зменшення цього впливу також застосовуютьс~~я~~ двозондове устаткування НК [19].

Рентгенорадіометричний метод (PPM) – ядерно-геофізичний метод дослідження елементного складу речовини гірських порід і руд, за якого досліджуваний об'єкт опромінюють потоком квантів іонізуючого випромінювання, що випускається радіоізотопним джерелом або рентгенівською трубкою, і судять про вміст аналізованих хімічних елементів в ньому за інтенсивністю характеристичного флуоресцентного рентгенівського випромінювання, що збуджується в речовині. Вторинне характеристичне випромінювання при цьому реєструється за допомогою спектрометричних детекторів іонізуючого випромінювання (сцинтиляторів, пропорційних газових лічильників або твердотільних напівпровідникових детекторів) і амплітудних аналізаторів імпульсів.

Метод дозволяє проводити неруйнівний аналіз, результати якого не залежать від хімічного і агрегатного стану об'єкта, що аналізується.

Основні переваги РРА в порівнянні з рентгенівським спектральним аналізом:

- висока стабільність і монохроматичність збуджуваного випромінювання;
- простота проведення багатеlementного аналізу і аналізу важких елементів за більш інтенсивними К-лініями рентгенівського спектра;
- компактність, надійність і економічність аналізуючої апаратури.

Розроблено варіанти портативних приладів, забезпечених різними типами датчиків, що дозволяють проводити визначення елементів без відбору проб на місці проведення геологічних вишукувань, у продуктах переробки мінеральної сировини, в сплавах, в біологічних та інших об'єктах.

При відкритій розробці корисних копалин для отримання достовірної та оперативної інформації про вміст корисного компонента проводиться опробування гірничої маси на вміст корисного компонента.

Опробування може проводитися в статиці – в масиві, у вибухових свердловинах (каротаж), в забої у підірваній гірничій масі (в розвалі), в транспортних засобах, в бункерах і на рудних складах. В динаміці, тобто в потоці, опробування проводиться на конвеєрних лініях.

Засоби контролю, як правило, об'єднують в системи для отримання достовірної і своєчасної інформації про вміст корисного компонента на всіх основних етапах гірничого виробництва.

Для моніторингу зміни якісних характеристик залізорудної сировини в часі контроль якості залізних руд здійснюють через певні проміжки часу. Існують також системи контролю якості, що поєднують в собі як елементи контролю, так і елементи прогнозування та моделювання [20].

Дані системи і принципи їх організації на гірничих підприємствах щодо регулярного узгодження (Reconciliation) прогнозних і фактичних показників обсягу і вмісту в руді, що видобувається і переробляється, і організація на гірничому підприємстві системи контролю вмістів (Grade Control System), методи контролю якості підготовки та аналізу проб, статистичного і геостатистичного аналізу результатів випробування, описані і мають практичне застосування на відкритих гірничих роботах [20].

Ці ж системи використовуються для оцінки видобутих запасів на родовищах корисних копалин. Розроблено методологію використання геостатистичного умовного стохастичного моделювання для вирішення ряду важливих завдань, пов'язаних з ефективним використанням мінеральних ресурсів: оптимізації розмірів блоків в моделях ресурсів/запасів, щільності розвідувальної мережі, оцінки ризику прийнятих рішень тощо.

Дані системи контролю вмістів (Grade Control System) мають в своїй основі технологію створення блочних моделей контролю вмістів на відкритих гірничих роботах, а також методи оптимальної класифікації «руда-порода» при короткостроковому гірничому плануванні та управлінні процесом видобутку руди. Ними обґрунтовується доцільність використання геостатистичного умовного стохастичного моделювання для створення геологічних моделей

(геологічної інтерпретації) і моделей вмістів, що дозволяють точно класифікувати запаси й оцінювати ризик невірної класифікації блоків моделі [20].

Основним недоліком систем, що містять прогнозне і стохастичне моделювання, є безумовна наявність допуску в величині похибки оцінки, що призводить в результаті до неминучих втрат достовірності інформації про вміст корисного компонента. Нестачу засобів контролю дані системи компенсують завдяки моделюванню і прогнозуванню, що має право на застосування, але в умовах виробництва має бути підкріплено достовірними даними в реальному режимі часу [21].

Раніше неодноразово зазначалося про створення систем контролю якості рудопотоків залізрудних кар'єрів [22]. Однак при проведенні аналізу було встановлено, що заявлені системи не забезпечують точність контролю якості відповідно до паспортних характеристик обладнання; контролюють вміст заліза, пов'язаного з магнетитом, ігноруючи показник вмісту загального заліза, і при цьому не охоплюють всі етапи гірничого виробництва. Також дані системи не можуть забезпечувати принцип отримання повних і достовірних даних про вміст корисного компонента в режимі реального часу [23,24].

Підприємство ТОВ «УралРудоАвтоматика», заявляючи про «безконтактний контроль рудопотоків», пропонує в якості засобів контролю систему автоматичного контролю якості залізрудної сировини на конвеєрі – СКРП [25], яка при експлуатації на ПрАТ «Центральний ГЗК» показала низьку надійність і невідповідність фактичних показників точності контролю щодо паспортних значень. При цьому СКРП може бути застосованою тільки в умовах обмеженої крупності матеріалу (-20 мм) в умовах збагачувального виробництва і – непридатна для контролю якості рудопотоку кар'єра.

Запропонована цим же підприємством станція безконтактного методу контролю якості руди в кузові кар'єрних самоскидів СКРТ [25] не може бути ефективно використаною в умовах кар'єру, оскільки товщина інформаційного шару (контрольована глибина шару руди) – всього 0,05 м, що на два порядки менше висоти кузова кар'єрного автосамоскиду, а з урахуванням площі

випробування датчика, становить менше 1 % від загального обсягу гірничої маси в кузові.

Виходячи з цього, дані про вміст заліза, пов'язаного з магнетитом у відносно невеликому обсязі гірничої маси, залежно від загального обсягу кузова, не можуть вважатися достовірними стосовно всього обсягу рудної маси і не можуть використовуватися для сортування «руда-порода» для кожної машини.

Використання недостовірних або недостатніх даних неминуче призводить до зниження ефективності роботи систем контролю якості руд, що в підсумку знижує якісні показники сировини в рудопотоці, який формується.

Для повноцінного функціонування системи контролю якості необхідною є наявність засобів контролю якості на всіх етапах гірничого виробництва. При цьому показники контролю повинні бути достовірними, проби – представницькими, а період випробування – обґрунтованим [26,27].

Також необхідно, щоб інформація про вміст корисного компоненту з усіх точок контролю надходила для обробки на центральний сервер з достатньою швидкістю і без викривлення даних [28].

Охоплюючи всі етапи гірничого виробництва – від забою до складу готової продукції, система контролю якості рудопотоків кар'єру дозволить мати достовірну картину зміни якісних характеристик в масиві, в розвалі підірваної гірничої маси, а також в сформованому фінальному рудопотоці.

Засоби і системи з контролю якості, розроблені колективом проблемно-галузевої лабораторії Криворізького національного університету, на сьогоднішній день найповніше охоплюють всі основні етапи ведення гірничих робіт [29].

На рис. 1.4 наведено загальну схему системи контролю якості залізорудного комбінату. Дана система дозволяє проводити контроль, як дискретно, так і в потоці на конвеєрі [30].

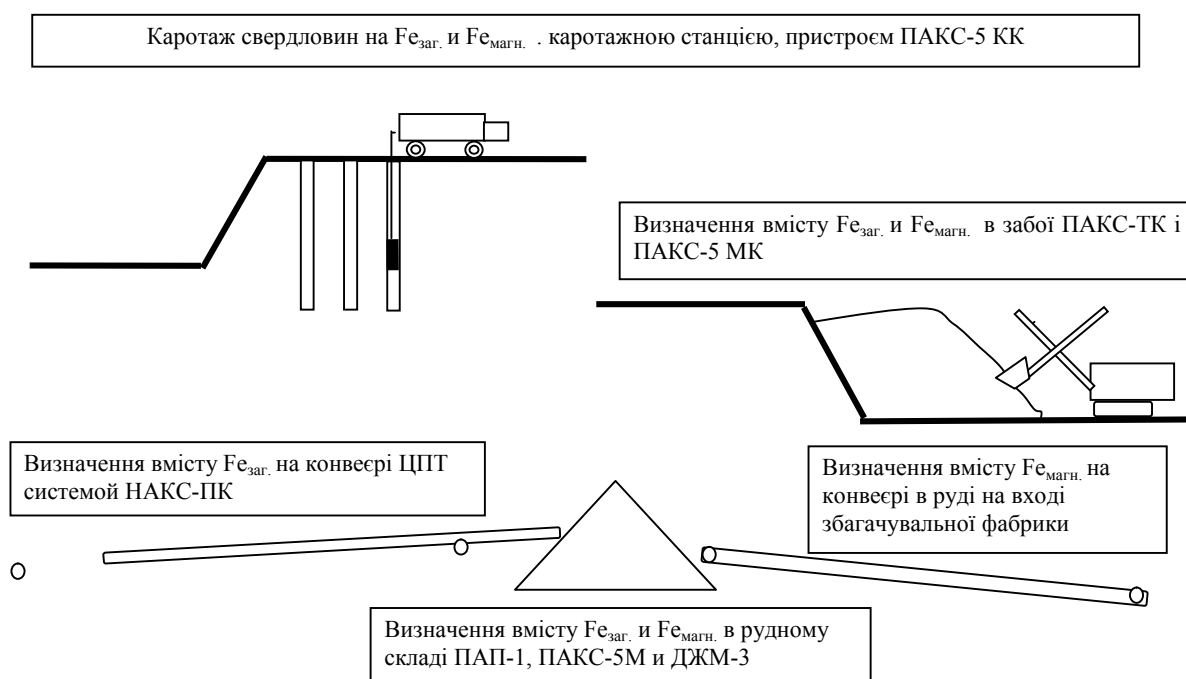


Рис. 1.4. Система контролю якості залізорудного кар'єру

Елементи системи охоплюють основні етапи відкритих гірничих робіт, їхня точність та швидкість отримання результатів опробувань дозволяє стверджувати про можливість та доцільність поєднання всіх систем з контролю якості та приладів в єдину генералізовану в масштабах ГЗК структуру (рис. 1.5).

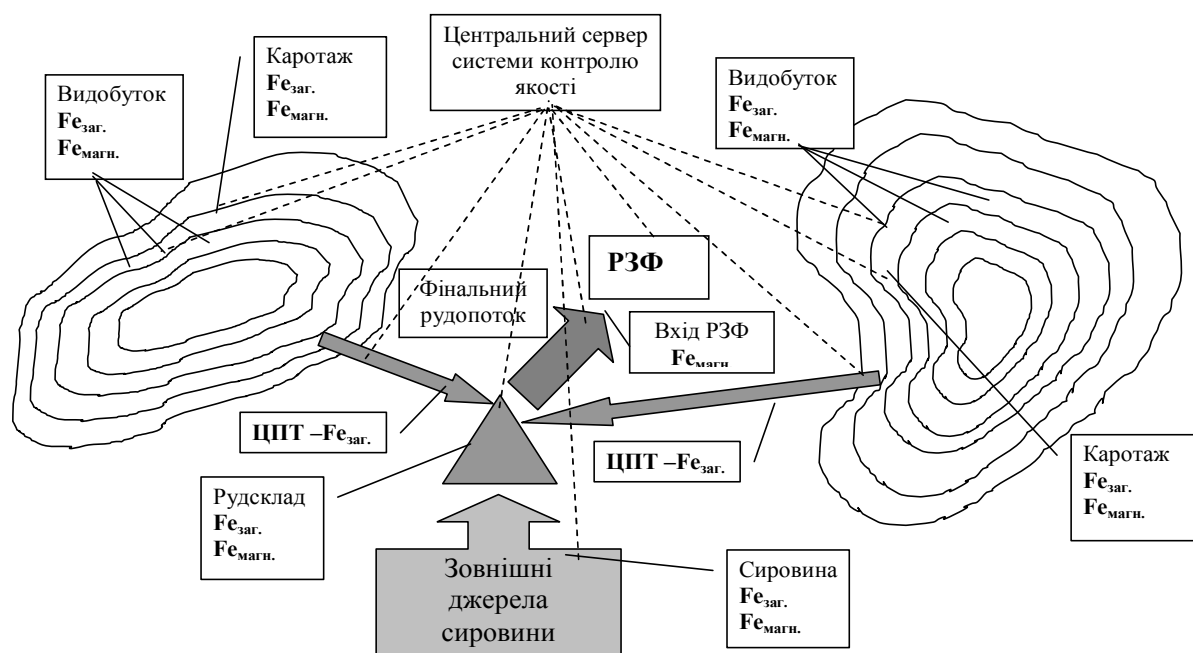


Рис. 1.5. Система контролю якості залізорудного ГЗК



Інформація про вміст корисного компонента, зібрана на різних етапах, дозволяє здійснювати аналіз і приймати оперативні технологічні рішення з управлінням якістю рудопотоку [31].

Засоби з контролю якості, що входять в систему контролю, можна класифікувати в такий спосіб:

- контроль якості залізорудної сировини в природному заляганні (каротаж) на залізо загальне і залізо, пов'язане з магнетитом;
- контроль якості у підірваній гірничій масі – залізо загальне і магнітне;
- контроль якості в рудопотоці ЦПТ – залізо загальне;
- контроль якості на рудному складі – залізо загальне і магнітне;
- контроль якості на вході збагачувальної фабрики в потоці на конвеєрі (залізо, пов'язане з магнетитом).

На рис. 1.6. показано схему збору та передачі інформації про вміст корисного компонента в залізорудних кар'єрах [32].

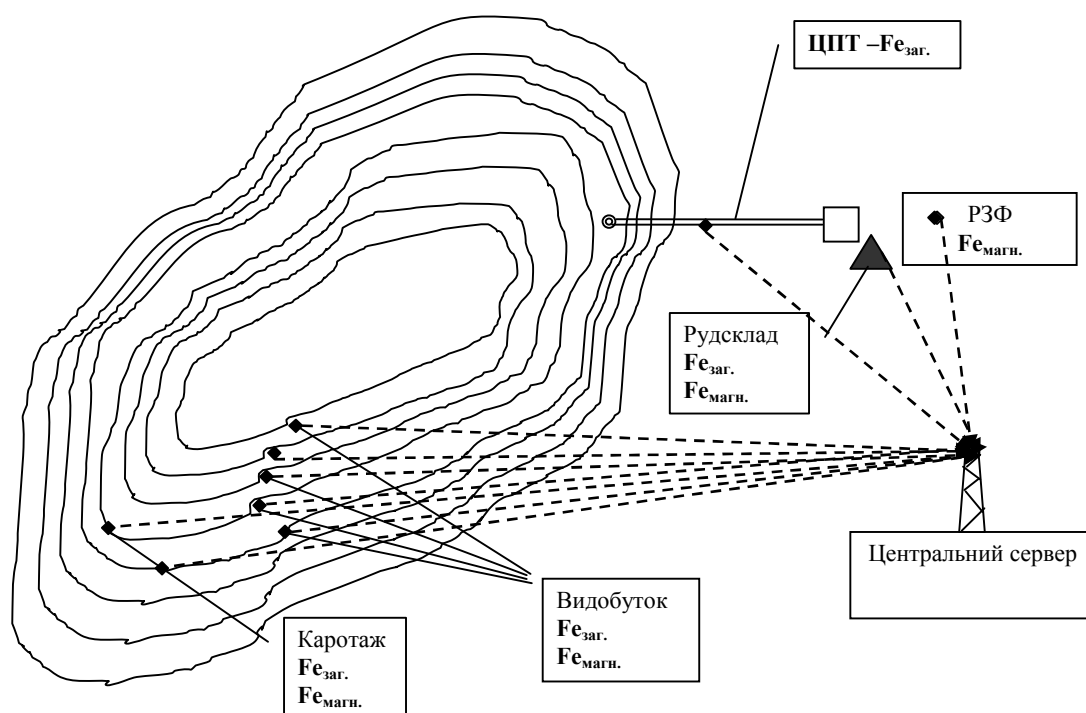


Рис. 1.6. Загальна схема збору та передачі інформації про вміст корисного компонента в залізорудних кар'єрах

Для забезпечення ефективного процесу передачі та обробки інформації про вміст корисного компонента на різних етапах гірничого виробництва всі пристрої та системи контролю якості повинні бути об'єднані в єдину мережу.

Інформація про вміст корисного компоненту передається лініями зв'язку з кожного пристрою на центральний сервер, який виконує її фіксацію, обробку й аналіз. Результати аналізу використовуються, як для оцінки показників відповідності сформованого рудопотоку розрахунковим значенням змінного завдання, так і для перерахунку цього завдання при виході значень вмісту корисного компонента за межі заданого діапазону [33].

Об'єднання різних точок контролю якості в єдину систему може бути реалізованим тільки за наявності надійних каналів передачі інформації і центрального сервера зі спеціальним програмним забезпеченням.

Швидкість передачі інформації та її захист є при цьому дуже важливим фактором, так як затримка в часі між випробуванням і внесенням даних в сервер спотворює реальну картину якісних показників в кар'єрі [33].

#### 1.4. Основні цілі та завдання управління якістю рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату

Відомо, що якісні показники сировини, яка видобувається, зумовлюють ціну на кінцеву продукцію гірничо-збагачувальних комбінатів та їх конкурентоспроможність. Процес формування й управління рудопотоками гірничо-збагачувального підприємства досліджувався і раніше [34,35,36,37], але в цих роботах не було враховано, що для формування потоку необхідним є гранично достовірна та своєчасна інформація про вміст корисного компонента, як в забоях, так і в потоці. Згідно з теорією, інформаційне забезпечення є основою будь-якого процесу управління. Тому відсутність інформації унеможливорює ефективне управління сировинною якістю з метою формування рудопотоку із заданими значеннями вмісту корисного компоненту.

Забезпечення обумовленого рівня якості руди і стабілізація амплітуди її коливань у фінальному рудопотоці ГЗК за важливістю, складністю і масштабами являє собою вельми актуальну проблему. Необхідність суворої та стійкої відповідності якості сформованого рудопотоку заданим якісним показникам обумовлюється тим, що оптимальні режими збагачення можуть забезпечуватися тільки за жорстко обмежених відхиленнях вмісту корисного компонента саме в цьому потоці, а не за кожною окремою його складовою, що є характерним для сучасних ГЗК.

Необхідність відповідності якості сформованого рудопотоку заданим показникам обумовлюється тим, що оптимальні режими збагачення можуть підтримуватись лише за умов повного забезпечення цих показників за вмістом корисного компонента у вхідному рудопотоці РЗФ, який і є фінальним рудопотоком ГЗК [38]. При цьому фактичні показники виходу концентрату і втрат в хвостах – близькі за значеннями до розрахункових, енергоресурси та витратні матеріали використовуються раціонально.

В реальних умовах гірничого виробництва амплітуда коливань якості в рудопотоці подекуди буває невиправдано високою, що відображено на рис. 1.7.

В даному випадку руда, що надходить на збагачення з кар'єру №3 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», має показник середньоквадратичного відхилення  $\sigma=0,59$  за дисперсії  $D=0,35$ . Причому це навіть не внутрішньозмінні коливання, а – середньодобові. Якщо ж розглянути фактичну величину коливань якості впродовж однієї години, то вона більше, ніж в два рази перевищить наведені вище значення середньоквадратичного відхилення і дисперсії.

Таким чином, необхідність перегляду наукових засад обґрунтування технології управління якістю рудопотоків відкритих розробок залізрудних родовищ при веденні відкритих гірничих робіт зумовлена об'єктивними факторами, так як у кар'єрах необхідний вміст корисного компонента забезпечується, як правило, лише в середньому значенні в деякому часовому інтервалі (доба, місяць). Усередині ж цього інтервалу вміст корисного компонента коливається, постійно виходячи за межі допустимого діапазону.

Вміст Fe магн., %

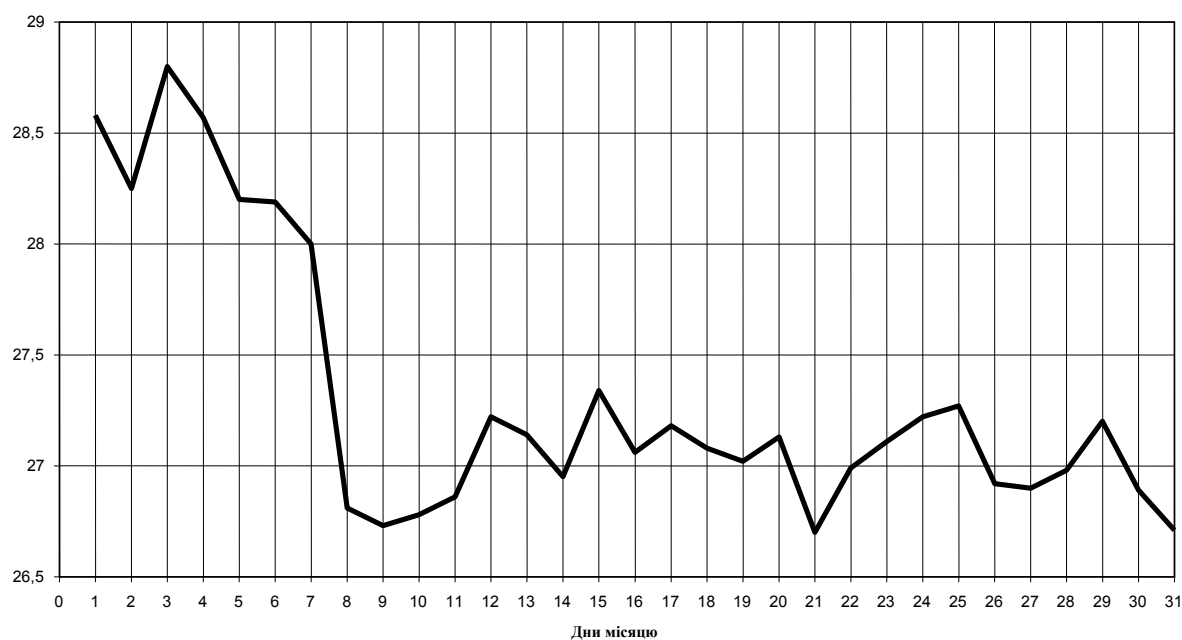


Рис. 1.7. Коливання вмісту заліза магнітного в рудопотоці кар'єру №3 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за січень 2012 р.

Тому основним завданням управління якістю рудопотоків є забезпечення планового якості руди, що надходить з кар'єру, і мінімізація амплітудних коливань вмісту корисного компонента в потоці в межах заданого діапазону [38].

Застосування управління якістю дасть можливість оперативно реагувати на зміну стану видобувних забоїв, коригуючи роботу виймально-навантажувального і транспортного обладнання для забезпечення виконання планового завдання. Виконання плану за показником сировинної якості контролюється шляхом опробування сформованого рудопотоку, як безперервно, на конвеєрі, так і дискретно.

Технологія, що дозволяє здійснювати ефективне управління якістю рудопотоків кар'єру, може бути створена на основі синергії двох систем: системи оперативного контролю якості та системи управління якістю [39]. При цьому контроль якості повинен проводитися геофізичними і магнітними методами, як дискретно, так і безперервно, на всіх етапах виробництва, а управління якістю здійснюватися методом усереднення.





Рис. 1.9. Тижднева погодинна продуктивність східного тракту ЦПТ

ПрАТ «Інгулецький ГЗК»

Відповідно за східним трактом:

- обладнання східного тракту – послідовне і працює в одному режимі, який відстежується по дробарці ККД № 5 – 180м;
- середня продуктивність 1-ї стадії подрібнення становить 2 155 т/год, або 45 %;
- конвеєр 7 П 1 завантажений в середньому на 83 % своєї потужності, але є піки, за яких він перевантажений понад потужності, до 136 %.

Загальнокар'єрна технологія управління якістю рудопотоків виконує функцію впливу на виймально-навантажувальне і транспортне обладнання з урахуванням неодночасного початку роботи забоїв, планових і позапланових простоїв техніки, змін відстаней транспортування до перевантажувальних пунктів ЦПТ, зміни вмісту корисного компонента в забоях, а також дозволяє відстежувати справжні показники якості в рудопотоці та співставляти їх з плановими показниками. При відхиленні показників за межі заданого діапазону центральний сервер буде здійснювати перерахунок розподілу навантаження на забої, забезпечуючи тим самим стабільність якості рудопотоків [39,95].

Теоретичні роботи з управління якістю продукції гірничовидобувних та переробних підприємств, проведені в Криворізькому національному університеті під керівництвом академіка В.Ф. Бизова, і практичні розробки наукового колективу проблемно-галузевої лабораторії контролю й управління якістю мінеральної сировини кафедри відкритих гірничих робіт Криворізького

національного університету створили об'єктивні передумови для обґрунтування об'єднаної системи контролю й управління якістю залізорудних рудопотоків кар'єрів, які є основою генералізованої технології управління сировинною якістю рудопотоків ГЗК [32, 40].

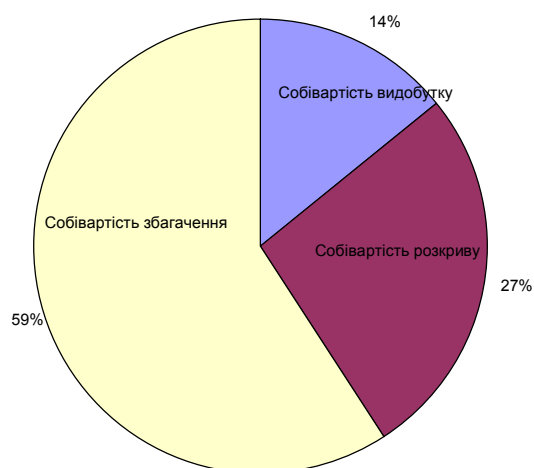
Технологія управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків спрямована на вирішення основної проблеми – забезпечення заданої величини вмісту корисного компонента та мінімізації амплітуди її коливань в певному граничному діапазоні, і об'єднує в собі вирішення низки локальних задач:

- забезпечення дискретного оперативного контролю якості в забоях методами геофізичного опробування та безперервного контролю якості в рудопотоці з метою отримання достовірних даних про вміст заліза;
- створення нових технічних засобів контролю та сортування сировини;
- створення каналів надійного зв'язку для передачі інформації про результати оперативного контролю якості на центральний сервер;
- прив'язка всіх виймально-навантажувальних і транспортних одиниць обладнання до системи глобального позиціонування GPS з метою контролю їх положення і подальшого управління ними;
- створення об'єднаних каналів зворотного зв'язку диспетчерського пункту системи з екскаваторами і автосамоскидами з метою управління процесом формування рудопотоків;
- програмне коригування навантаження при відхиленні якості в забоях від розрахункового значення або у фінальному рудопотоці від планового;
- оптимізація процесу збагачення за рахунок стабілізації якісних показників фінального рудопотоку, що позитивно вплине на режим енергозбереження, дозволить знизити собівартість кінцевої продукції та підвищити прибуток гірничо-збагачувального комбінату.

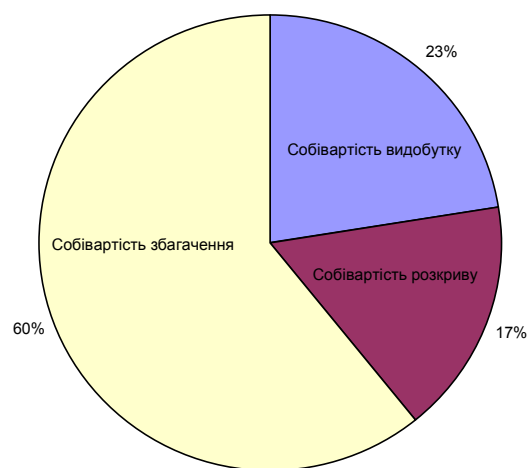
Відомо, що стабілізація якісних показників рудопотоку виводить витрати енергоресурсів в оптимальний режим [41].

На рис. 1.10. наведено розподіл витрат за основними технологічними процесами: розкривні роботи, видобувні роботи та збагачення для ПАТ «Північний ГЗК», ПАТ «Центральний ГЗК», ПАТ «Південний ГЗК» і ПАТ «Полтавський ГЗК». З діаграм видно, що більшу частину у витратах кожного з цих комбінатів становлять витрати на збагачення [38].

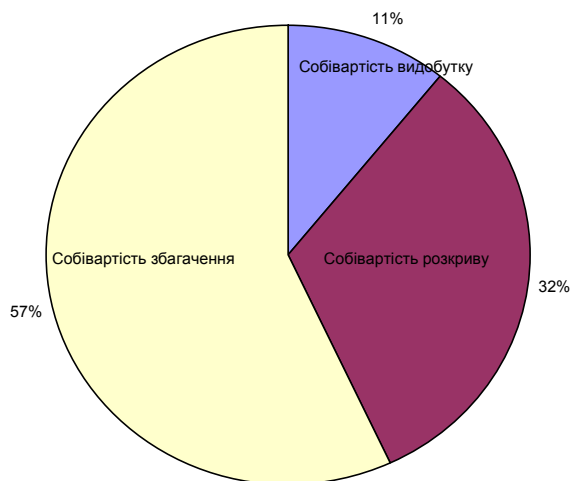
Діаграма собівартості ПАТ "Полтавський ГЗК" за 2010 р.



Діаграма собівартості ПАТ "Центральний ГЗК" за 2010 р



Діаграма собівартості ПАТ "Південний ГЗК" 2010 г.



Діаграма собівартості ПАТ "Північний ГЗК" 2010 г.

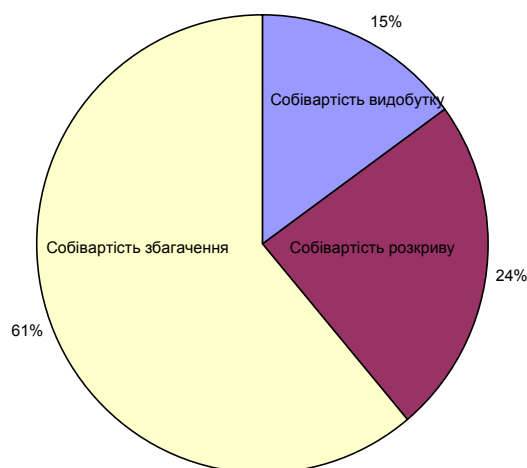


Рис. 1.10. Діаграми собівартості залізорудних ГЗК України

Для попередньої оцінки ефективності технології управління сировинною якістю подекуди стає доцільним застосувати методику, запропоновану раніше



академіком В.Ф. Бизовим, яка ґрунтується на тому, що ефективність організації управління якістю за критерієм  $F$  є максимальною за мінімізації збитку підприємства від коливань якості корисних копалин в рудопотоці [41].

Критерій  $F$  безпосередньо залежить від величини втрат руди внаслідок коливань якості, тобто від того, наскільки значною є різниця між розрахунковим і фактичним показниками виходу концентрату

$$F = (C_1 + C_2 + C_3) \times Q_n + (\gamma_p - \gamma_{\text{факт}}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – собівартості при видобутку, транспортуванні та розподілі 1 т руди, грн/т;

$Q_n$  – втрати руди внаслідок коливань якості, т;

$\gamma_p, \gamma_{\text{факт}}$  – розрахунковий і фактичний показник виходу концентрату;

$Q_p$  – фактичний обсяг руди, що надходить на збагачення, т;

$C_4$  – собівартість збагачення, грн/т.

Різниця між значеннями  $\gamma_p$  та  $\gamma_{\text{факт}}$  зумовлюється амплітудою коливань якості в рудопотоці кар'єру.

Значення виходу концентрату є прямо пропорційним вмісту корисного компонента в початковій руді, виходячи з формули (1.2):

$$\gamma = \varepsilon \times \frac{\alpha}{\beta}, \quad (1.2)$$

де  $\varepsilon$  – витяг, частки од.,

$\alpha$  – вміст корисного компонента в руді на вході РЗФ,

$\beta$  – вміст корисного компонента в концентраті [42].

Величина вмісту корисного компонента в руді на вході РЗФ  $\alpha$  – непостійна, вона є об'єктом контролю та впливу при управлінні сировинною якістю рудопотоків кар'єрів. Чим ефективніше працює система управління якістю, тим

меншою буде величина амплітуди коливань  $\alpha$  у вхідній руді та, відповідно, – різниця між  $\gamma_p$  та  $\gamma_{факт}$ , що в свою чергу призведе до мінімізації критерію  $F$  [43].

Технологія управління якістю, яка гнучко реагує на зміни вмісту корисного компонента в сформованому рудопотоці в режимі реального часу, в змозі забезпечити мінімізацію значення критерію  $F$  і, відповідно, максимальну ефективність управління якістю.

### Висновки до розділу 1

1. Системи гірничо-транспортної диспетчеризації не можуть забезпечити ефективного управління якістю рудопотоків у зв'язку з тим, що в їх структурі не передбачається оперативний контроль вмісту корисного компонента в забоях та в сформованому рудопотоці, а коригування навантажень на забої здійснюються без програмного забезпечення.

2. Дані існуючих методів моделювання або геометризації якісних показників не дозволяють отримувати достовірну та своєчасну інформацію про динаміку зміни вмісту корисного компонента в забоях та в рудопотоці.

3. Наявність ручного введення даних в сервери систем гірничо-транспортної диспетчеризації знижує їх надійність та ставить під сумнів автоматизованість процесу управління.

4. Аналіз фізико-хімічних властивостей сировини залізорудних кар'єрів Кривбасу свідчить про складну та неоднорідну будову рудних тіл, що зумовлює значні коливання якості рудопотоків при відпрацюванні цих родовищ.

5. Існуючі системи контролю якості залізорудних ГЗК не забезпечують необхідної точності контролю вмісту корисного компонента, не мають ефективних засобів контролю та не охоплюють основні етапи гірничого виробництва.

6. Відсутність надійних каналів зв'язку для передачі даних на центральний сервер знижує ефективність існуючих систем контролю якості гірничо-збагачувальних комбінатів.

7. Технологія управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів об'єднує в собі вирішення низки локальних задач:

- забезпечення дискретного оперативного контролю якості в забоях методами геофізичного випробування і безперервного контролю якості в рудопотоці з метою отримання достовірних даних про вміст заліза;

- створення нових технічних засобів контролю та сортування сировини;

- створення каналів надійного зв'язку для передачі інформації про результати оперативного контролю якості на центральний сервер;

- прив'язування всіх виймально-навантажувальних та транспортних одиниць обладнання до системи глобального позиціонування GPS з метою контролю їх розташування та подальшого управління ними;

- створення об'єднаних каналів зворотного зв'язку диспетчерського пункту системи з екскаваторами і автосамоскидами з метою управління процесом формування рудопотоків;

- програмне коригування навантаження при відхиленні якості в забоях від розрахункового значення або в рудопотоці від планового;

- оптимізація процесу збагачення за рахунок стабілізації якісних показників загальнокар'єрного рудопотоку, що позитивно впливає на режим ресурсозбереження, дозволить знизити собівартість кінцевої продукції та підвищити прибуток гірничо-збагачувального комбінату.

8. Застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів забезпечить вирішення таких найважливіших проблем:

- розширення сировинної бази України та підвищення конкурентоспроможності гірничовидобувної промисловості;

- побудови раціональної еколого-економічної моделі ГЗК;

- забезпечення режимів ресурсо- та енергозбереження гірничо-збагачувальних виробництв.

9. Технологія управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів повинна гнучко реагувати на зміни характеристик рудопотоку, що формується, в режимі реального часу, забезпечуючи мінімальне значення критерію ефективності  $F$ .

## **РОЗДІЛ 2**

### **ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ НАПРЯМУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЗАГАЛЬНА МЕТОДИКА ЇХ ПРОВЕДЕННЯ**

#### **2.1. Обґрунтування вибору напрямку досліджень**

Відповідно меті та завданням дисертаційної роботи основним її напрямком є дослідження залежностей, що впливають на точність контролю й ефективність управління якістю залізовмісної сировини при формуванні фінальних інтегрованих рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів із заданими показниками вмісту корисного компонента, що охоплює усю технологічну й організаційно-керуючу системи ГЗК з відповідними технічними й інформаційними засобами.

Визначено головну спрямованість, структуру та логічні межі необхідного аналізу існуючих технологічних систем управління якістю рудопотоків кар'єрів, вивчення особливостей фізико-хімічних властивостей залізорудної сировини гірничо-збагачувальних комбінатів України, критичного огляду й узагальнення існуючих систем контролю якості залізних руд при веденні відкритих гірничих робіт, та визначення основних цілей і завдань технології управління сировинною якістю рудопотоків в масштабах гірничо-збагачувального комбінату.

Для виконання сформульованих завдань дисертаційної роботи визначено необхідність дослідження та класифікації основних факторів різної природи, що впливають на точність контролю вмісту корисного компонента в руді при вимірюваннях у вибухових свердловинах, у забоях, в потоці на конвеєрних стрічках та в порошкових пробах. Також обґрунтовано необхідність дослідження основних технологічних факторів на якість залізорудної сировини в рудопотоках та суттєвості впливу нестабільності якості залізорудної сировини фінального рудопотоку комбінату на показники збагачення та його кінцеву ефективність; дослідження парних операційних перевантажувальних вузлів у ланцюзі

стабілізації сировинної якості при формуванні бінарного рудо потоку й аналізу впливу якісних характеристик фінальних рудопотоків на техніко-економічні показники ГЗК.

Для імітаційного моделювання процесів управління якістю фінальних рудних вантажопотоків визначено необхідність розробки математичних моделей формування фінального інтегрованого рудопотоку залізорудного ГЗК з заданими діапазонними значеннями вмісту корисного компоненту, обґрунтування періоду опробування якості в забоях кар'єру на основі статистичних даних, його оптимізації та дослідження впливу періоду опробування забоїв кар'єру на показник прибутку ГЗК.

Стосовно розробки технологічних блоків та відповідних технічних засобів дослідження вибудовано таким чином, що, зокрема, для забезпечення зниження засмічення руди в забоях приконтатної зони кар'єру та стабілізації коливань вмісту корисного компоненту в рудопотоці з них визначено й обґрунтовано доцільність аналізу можливості й ефективності використання мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах залізорудних кар'єрів, з розробкою функціональної схеми, алгоритму роботи та методології застосування цього комплексу як компоновочного елементу технології управління якістю залізівмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків та визначенням умов, за яких його використання є доцільним.

Комплексність та системність – як домінанти дисертації – зумовлюють неминучість дослідження синергітичного ефекту від поєднання систем управління та контролю якості, з визначенням на його основі можливості обґрунтування технології управління якістю залізівмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, а також – розробки структурної, функціональної схеми й алгоритму цієї технології, вивчення доцільності включення в інтегрований рудний вантажопотік гірничо-збагачувального комбінату сировини з зовнішніх джерел. Для підвищення ефективності управління якістю рудопотоків залізорудних ГЗК обґрунтовується комплексний критерій, який поєднує амплітуду коливань якості в

потоці, фактичний обсяг руди, що спрямовується на збагачення, вихід концентрату та собівартість збагачення.

Узагальнення вишукувань досягається дослідженням результативності застосування генералізованої в масштабах ГЗК технології управління якістю фінальних рудопотоків з розробкою алгоритмів технологічної та економічної оцінки її використання; екологічною оцінкою рівня безпеки розробленої технології.

## 2.2. Методологічна побудова дослідження та його структура

У процесі підготовки даної роботи автор дотримувався традиційної структури дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук.

В роботі застосовано методика проведення досліджень з використанням інформаційно-аналітичних, теоретичних, емпіричних та комбінованих методів.

З емпіричних методів наукових досліджень було застосовано спостереження, експеримент, вимірювання та порівняння. Емпіричні методи наведено у третьому розділі роботи при дослідженні факторів, що впливають на точність вимірювань вмісту в руді корисного компонента на різних етапах гірничого виробництва. При цьому було проведено ряд експериментів, як в залізорудних кар'єрах, так і в лабораторних умовах.

Із загальнологічних методів при вивченні процесів формування фінальних інтегрованих рудних вантажопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів та побудові імітаційної моделі залежності прибутку ГЗК від коливань якості рудопотоку було застосовано аналіз, синтез, моделювання, системний та логічний підхід. При обґрунтуванні оптимального періоду опробування забоїв кар'єру використано ймовірісно-статистичні методи. Також ці методи було застосовано при вивченні процесу взаємодій гамма-квантів з гірськими породами при обґрунтуванні мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу та при вивченні можливості його застосування в умовах залізорудного кар'єру, а також при дослідженні синергетичного ефекту, який виникає від

поєднання системи оперативного контролю якості сировини гірничо-збагачувального комбінату з системою гірничо-транспортної диспетчеризації.

В роботі використано теоретичні методи наукових досліджень: формалізацію, аксіоматичний та гіпотетико-дедуктивний принципи, визначення, опис й інтерпретацію, які було застосовано при обґрунтуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів, при визначенні доцільності її застосування в умовах гірничо-видобувних підприємств, та при розробці комплексного критерію оцінки ефективності управління якістю фінальних інтегрованих рудних вантажопотоків.

Для виконання даної дисертаційної роботи було розроблено структурну схему, яка відображає основні етапи виконання дослідження (рис. 2.1).

Згідно з наведеною схемою, в першому розділі роботи виконується критичний огляд й узагальнення систем гірничо-транспортної диспетчеризації, управління якістю рудопотоків та систем контролю якості, розглядаються особливості фізико-хімічних властивостей сировини залізорудних ГЗК України, а також визначаються основні цілі та завдання управління якістю рудопотоків в масштабах ГЗК. Проводиться аналіз різних систем гірничої диспетчеризації з точки зору можливості використання їх у подальшому як елемента технології управління якістю рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

На підставі аналітичного огляду зроблено висновки про те, що основним недоліком систем гірничо-транспортної диспетчеризації є відсутність оперативного контролю сировинної якості в забоях та в рудопотоці, а також відсутність функції обробки інформації про вміст корисного компонента та внутрішньозмінний перерозподіл навантаження на забої з використанням спеціального програмного забезпечення на центральному сервері системи.

Визначено, що технологія управління сировинною якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків спрямовується на вирішення основної проблеми – забезпечення заданого значення вмісту корисного компонента та мінімізації амплітуди його коливань в певному граничному



діапазоні фінального рудопотоку. Для вирішення даної проблеми технологія об'єднує в собі вирішення низки локальних завдань щодо забезпечення дискретного оперативного контролю сировинної якості в забоях методами геофізичного опробування та безперервного контролю якості рудопотоків з метою отримання достовірних даних про вміст заліза; щодо розробки нових технічних засобів контролю та сортування сировини; створення каналів надійного зв'язку для передачі інформації про результати оперативного контролю якості на центральний сервер; програмного коригування навантаження при відхиленні якості в забоях від розрахункового значення, або в рудопотоці від планового.

Третій розділ присвячено дослідженню та класифікації факторів, що впливають на точність оперативного контролю й ефективність управління якістю рудопотоків кар'єрів. При цьому досліджуються фактори, які впливають на точність контролю якості мінеральної сировини в масиві, при каротажі свердловин, в забої, після підривання та в потоці на конвеєрній стрічці. Похибка вимірювання вмісту корисного компонента є інтегральною величиною декількох видів похибок: апаратурної, проміжної зони вимірювання, мінливості речовинного складу та стану масиву (вологість, тріщинуватість, кавернозність). Апаратурна похибка знижується по мірі вдосконалення геофізичного обладнання та є на сьогоднішній день найменшою з усіх інших.

Встановлено, що для залізних руд Кривбасу характерним є високий кореляційний зв'язок між  $\rho$  та  $Fe_{заг.}$ , що є сприятливою передумовою для застосування «гамма-гамма методів» оперативного контролю якості при виконанні гірничих робіт.

На підставі проведених досліджень зроблено висновки про те, що використання подвійних комбінованих каротажних зондів дозволяє знизити похибку вимірювань, пов'язану з кавернозністю та відстанню від них до стінки свердловини і вологістю.

Обґрунтовано, що для зниження похибки при контролі якості в забої визначення масової частки корисного компонента має виконуватися в режимі

усереднення декількох результатів вимірювань, проведених в точці за різного азимутного розташування катушок.

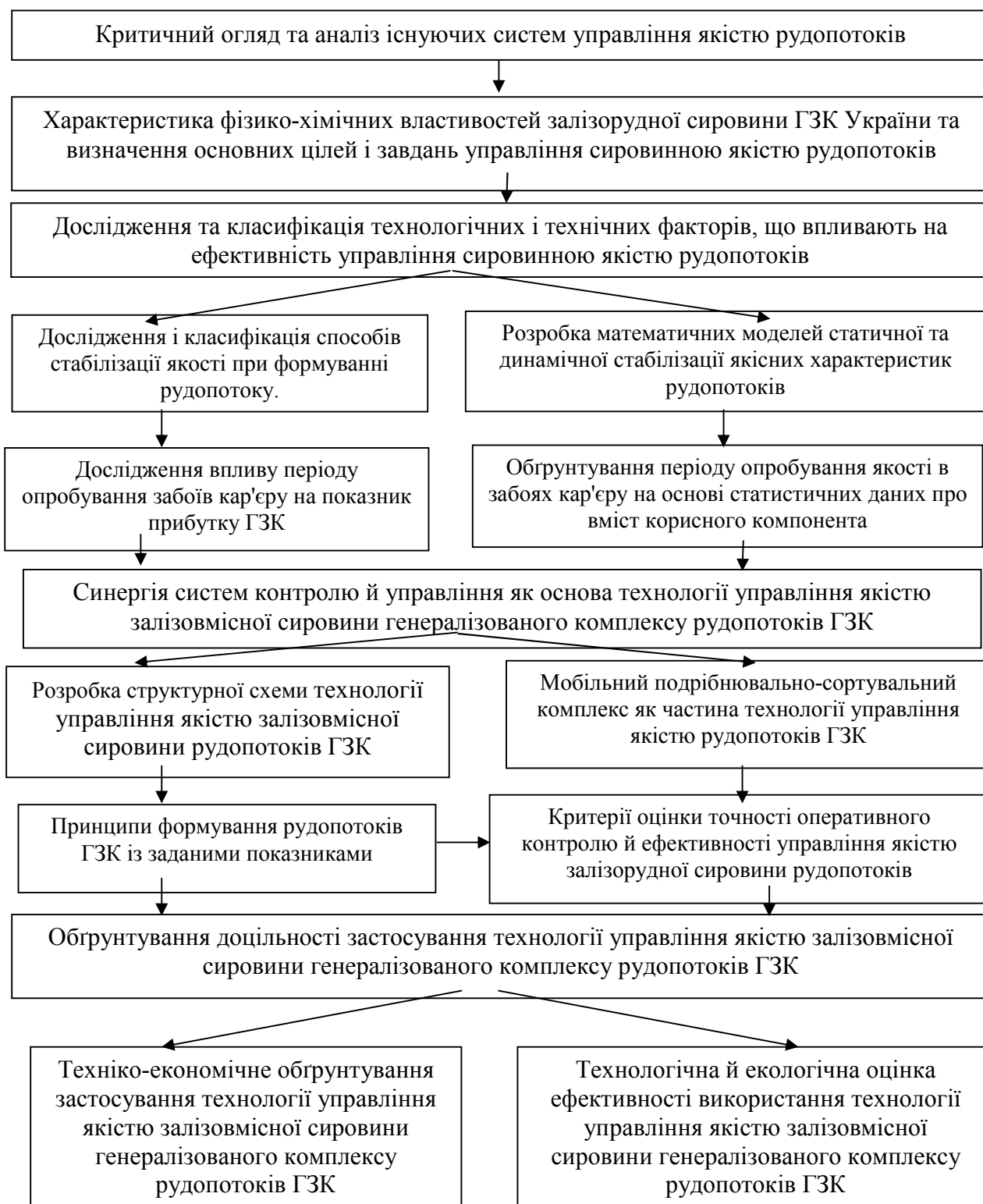


Рис. 2.1. Структурна схема дисертаційної роботи

З метою підвищення точності вимірювань вмісту заліза в потоці на конвеєрі доцільно застосовувати конструкції датчиків, що працюють в позаінверсійній області, та вирівнювання поверхні шару в зоні вимірювання роликом спеціального пристрою, що виконує одночасно функцію стабілізатора повітряного зазору між рудою та датчиком.

Також у третьому розділі досліджено технологічні чинники, що впливають на якісні показники рудопотоків, розглянуто вплив нестабільності якості фінальної мінеральної сировини на показники збагачення, а також досліджено вплив якісних характеристик рудопотоків на техніко-економічні показники гірничо-збагачувальних комбінатів. В результаті встановлено, що однією з причин амплітудних і часових коливань вмісту корисного компонента рудопотоків залізорудних кар'єрів є нестабільність процесу видобутку руди. При цьому велика кількість взаємопов'язаного технологічного обладнання, значні відстані транспортування, рівень зношеності технологічного устаткування та вихід його з ладу обумовлюють аритмічність технологічних процесів, що призводить до відхилень фактичних показників за якістю формованого рудопотоку кар'єра від розрахункових значень.

З використанням комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком  $F$  аналітично обґрунтовано, що оптимальні показники режиму збагачення, які визначаються за величиною виходу концентрату і втрат у хвостах, залежать не тільки від середнього показника якості рудної сировини, а й від його стабільності в потоці. При цьому амплітудні коливання вмісту корисного компонента загальнокар'єрного рудопотоку негативно впливають на всі основні показники процесу збагачення, призводять до збільшення витрат і зростання собівартості продукції гірничо-збагачувального комбінату. На підставі цього встановлено, що проблема зниження собівартості продукції залізорудних ГЗК може бути вирішеною шляхом застосування генералізованої технології управління якістю рудопотоків ГЗК з метою отримання руди на вході збагачувального комплексу, яка гарантовано має задані діапазонні значення вмісту корисного компонента.

У цьому ж розділі розроблено математичні моделі залежності прогнозного прибутку комбінатів від величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента фінальних рудопотоків від заданого значення, і на їх підставі встановлено зворотню пропорційність: чим меншою буде амплітуда коливань якості – тим меншим буде показник коефіцієнту «minimax» і тим вищим значення прогнозного прибутку комбінату. При цьому амплітудні коливання якості в рудопотоці в діапазоні 3 % від заданого значення зумовлюють падіння річного прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату на 10–12 %.

Четвертий розділ дисертаційної роботи присвячено розробці математичних моделей процесів формування рудопотоків кар'єру. В даному розділі розроблено математичну модель системи управління якістю рудопотоків кар'єра з використанням теорії управління; математичну модель стабілізації якісних характеристик рудопотоку; виконано дослідження випадкового процесу, що описує вміст корисного компоненту в рудопотоці з метою його прогнозування і подальшої стабілізації амплітуди коливань.

Приклад вирішення задачі формування рудопотоку кар'єра з використанням математичної моделі системи управління якістю показав, що за нормального закону розподілу, який визначається вмістом заліза в руді після усереднення при видобутку, ймовірність того, що вміст корисного компонента в сформованому рудопотоці буде перебувати в гарантованих граничних значеннях, становить  $P=0,823$ , тобто – з високою ймовірністю.

Розроблена в цьому ж розділі методика стабілізації амплітудних коливань корисного компонента в рудопотоці кар'єру з використанням мінімаксного коефіцієнта «minimax» дозволила визначити необхідні додаткові обсяги руди для шихтування.

Другу частину четвертого розділу присвячено обґрунтуванню періоду опробування забоїв кар'єру: на основі статистичних даних і за критерієм мінімізації втрати інформації, а також проведення дослідження впливу періоду опробування на показник прибутку гірничо-збагачувального комбінату. Розроблена методика обґрунтування періоду вимірювання вмісту заліза в забоях

кар'єра, заснована на масиві статистичних даних, дозволяє визначити максимально допустимий період опробування забоїв кар'єру без зниження якісних характеристик рудопотоку, що формується.

На підставі проведених досліджень було встановлено, що зі збільшенням проміжку опробування у видобувних забоях кар'єру лінійно збільшується втрата інформації про вірогідну величину середньоквадратичного відхилення вмісту заліза в рудопотоці, а також побудовано графіки встановленої залежності впливу періоду опробування на показник прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату. Отримані залежності дозволяють оптимізувати цикл випробування рудних забоїв кар'єру, знизити втрати інформації про вміст корисного компоненту, сформувавши рудопотік із заданими якісними характеристиками та підвищити показники прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

П'ятий розділ дисертації присвячено розробці та параметричному обґрунтуванню мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу, який розглядається як апаратна складова технології управління якістю рудопотоків залізорудного кар'єру. В цьому розділі описано вплив ефективного атомного номера гірської породи на процес радіометричного сортування залізорудної сировини в забої кар'єру, розроблено функціональну схему, алгоритм і методологію застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу, а також створено алгоритм обґрунтування використання даного комплексу в умовах залізорудного кар'єру. Розглянуто технологічний, економічний і екологічний ефект, який забезпечує застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу.

Встановлено, що, якщо ефективний атомний номер  $Z_{ef}$  проби відрізняється від  $Z_{ef}$  наповнювача хоча б на 10 %, то гамма-гамма метод дозволяє розпізнавати образ (руду) в даній гірничій масі. Для джерела випромінювання Am-241 при відношенні  $Z_{ef.проби}/Z_{ef.наповнювача}=1,1$  середовище можна вважати квазібінарним. Якщо ж  $Z_{ef.проби}/Z_{ef.наповнювача} \geq 1,2$ , то подібне середовище можна віднести до бінарного. При цьому розпізнавання образу (руды) в бінарному середовищі – на

рівні 95 % ймовірності, що є обґрунтуванням можливості застосування радіометричного сортування для даних умов.

Дослідження фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей дозволило віднести руди Криворізького залізорудного басейну за ознакою взаємодії з гамма-квантами до бінарних середовищ, що допускає здійснення ефективного радіометричного сортування залізорудної сировини в кар'єрі за встановленим порогом сортування. При цьому основною перевагою радіометричного сортування є те, що воно здійснюється за заданим значенням, тобто рудна маса, що пройшла через сепаратор, має показник вмісту загального заліза – не нижче порогового значення.

Обґрунтування необхідності застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах відкритих розробок залізорудних родовищ ґрунтується на необхідності підвищення якості руди, що надходить із забоїв приконтальної зони «руда-порода», на які припадає найбільший відсоток втрат і засмічення руд. При формуванні рудопотоку кар'єра руда з цих забоїв знижує загальну якість і стабільність вмісту корисного компонента за рахунок значних амплітудних коливань.

Запропонований варіант мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є синергією мобільного дробильного комплексу і радіометричного сепаратора і може використовуватися як частина технології управління якістю рудопотоків кар'єрів [44]. Технологічною перевагою мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу, в порівнянні зі стаціонарними комплексами, є мобільність, яка дозволяє йому переміщатися слідом за посуванням видобувного забою, постійно перебуваючи в призабойній зоні.

Також у п'ятому розділі роботи розглянуто технологічні завдання мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу. Першим технологічним завданням є відтинання некондиційної гірничої маси з метою виключення її подальшого транспортування, подрібнення й участі в процесі збагачення. При цьому комплекс переробляє не весь об'єм рудної маси із заходки,

а тільки ту частину, яка вилучається з приконтатної зони «руда-порода». Хвости сепарації складуються, за можливості, у внутрішніх відвалах, на граничному контурі кар'єру.

Другим технологічним завданням мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є підвищення вмісту корисного компонента в рудній масі та стабілізація якості в потоці за рахунок встановленого порогу сортування.

Доведено, що застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як елемента технології управління якістю рудопотоків кар'єрів дозволить отримати технологічний, екологічний, енергозберігаючий та економічний ефект.

У цьому ж розділі розроблено алгоритм обґрунтування застосування МДСРК в умовах залізорудних кар'єрів.

Встановлено, що для застосування МДСРК як частини технології управління якістю рудопотоків необхідною є наявність певних технологічних передумов і економічне обґрунтування, що враховує загальний обсяг капітальних вкладень і термін окупності проекту.

Шостий розділ дисертації присвячено розробці функціональної схеми й алгоритмізації технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів. Визначено, що технологія управління якістю рудопотоків виконує функцію впливу на виймально-навантажувальне і транспортне обладнання з урахуванням неоднорідності якості руди на окремих ділянках родовища, неодночасного початку роботи забоїв, планових і позапланових простоїв техніки, змін відстаней транспортування до перевантажувальних пунктів ЦПТ, зміни вмісту корисного компонента в забоях. Способи ідентифікації рудних потоків дозволяють відстежувати справжні показники якості та співставляти їх з розрахунковими значеннями [45]. При відхиленні показників вмісту корисного компонента в рудопотоці за межі заданого діапазону здійснюється внутрішньозмінний коригувальний перерахунок розподілу навантаження на забої.

Функціональну схему технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів побудовано на принципі застосування усереднення як способу управління якістю мінеральної сировини на підставі достовірної і своєчасної інформації про стан якості в забоях і в фінальному інтегрованому потоці

Розроблений алгоритм роботи технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів враховує працездатність забоїв; фактичні показники якості – вмісту корисного компонента; кількість автосамоскидів, що забезпечують формування рудопотоку за схемою доставки на ЦПТ дискретних обсягів руди і змішування її в потік; а також показники якості в рудопотоці.

Обґрунтовано, що вирішення технологічних задач формування рудопотоків із заданими якісними показниками дозволяє створити єдину генералізовану систему контролю й управління якістю сировини залізородних гірничо-збагачувальних комбінатів. Дана система дозволить вирішити ряд найважливіших глобальних проблем, що стоять перед гірничою промисловістю: забезпечення концепції розширення сировинної бази України, побудови раціональної еколого-економічної моделі залізородних ГЗК із забезпеченням концепції енерго- та ресурсозбереження.

Також у шостому розділі розглянуто критерії оцінки точності оперативного контролю якості й ефективності управління якістю залізородної сировини та розроблено комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру  $F_1$ . Цей критерій дозволив зв'язати воедино реальні показники вмісту корисного компонента сформованого рудопотоку, фактичного обсягу руди, що спрямовується на збагачення, виходу концентрату і собівартості збагачення.

Розглянуто вплив якісних характеристик рудопотоку кар'єра на показник ефективності збагачення. Аналітично встановлено, що, чим більшою є величина середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компоненту в сформованому загальнокар'єрному рудопотоці – тим нижче значення показника



ефективності збагачення; причому, чим нижче якість вихідної руди – тим активніше падіння ефективності збагачення.

Сьомий розділ дисертаційної роботи містить аналіз доцільності застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів в умовах ГЗК України. Обґрунтування застосування цієї технології ґрунтується на твердженні: збільшення прибутку гірничо-збагачувального комбінату є можливим за рахунок стабілізації показників вмісту корисного компонента руди на вході збагачення в заданому граничному діапазоні, що, в свою чергу, базується на математичній моделі залежності величини прогнозного прибутку від амплітуди коливань якості загальнокар'єрного рудопотоку.

Встановлено, що при застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів показники коливань вмісту корисного компонента знижуються до меж встановленого діапазону. Це забезпечує дотримання технологічного критерію – коефіцієнта ефективності організації рудопотоку  $k_{op}$  та комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру  $F_1$ .

У цьому ж розділі виконано техніко-економічне обґрунтування та розроблено алгоритм технологічної й економічної оцінки можливості застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів, надано екологічну оцінку її використання та наведено аналіз відповідності щодо норм радіаційної безпеки.

Імітаційна модель формування рудопотоку кар'єра, заснована на критерії  $F_1$ , та використана в алгоритмі обґрунтування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів, дозволить оцінити технологічну відповідність фактичних показників розрахунковим значенням вмісту корисного компонента та дати економічну оцінку процесу, виходячи з величини витрат на збагачення.

Запропонована методика обґрунтування доцільності застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів складається з двох основних етапів: технологічної оцінки й економічного обґрунтування.

За підсумками розрахунків, виконаних на основі алгоритмів технологічної оцінки й економічного обґрунтування, виходячи з поточної ситуації в гірничовидобувній галузі й економіці країни в цілому, фахівці гірничо-збагачувального комбінату зможуть прийняти рішення щодо доцільності застосування запропонованої технології управління якістю.

Обґрунтовано, що, так як екологічна безпека застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів суворо обмежується законодавчими рамками радіаційної безпеки, запропонована технологія відповідає основним критеріям оцінки екологічної безпеки. При застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів вирішується важливе екологічне завдання: знижується обсяг рудної маси, яка спрямовується на збагачення з кар'єру за рахунок відсікання некондиційної сировини, що позначиться як на обсязі шкідливих викидів при збагаченні, так і та на загальному обсязі його відходів, які складуються в хвостосховищах.

2.3. Розвиток ідеї, покладеної в основу дослідження, та прийняті робочі гіпотези

Актуальність наукової проблеми забезпечення заданого рівня якості та стабілізації амплітудних коливань вмісту корисного компонента фінальних рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів обумовлена величезними технологічними та фінансовими втратами від недотримання встановлених меж якісних показників відповідно до вимог оптимальних режимів збагачення.

До теперішнього часу ця проблема розглядалася переважно у рамках дослідження вантажопотоків з окремих забоїв і формування з них

загальнокар'єрних, незважаючи на наявність у частини ГЗК декількох кар'єрів при єдиних збагачувальних фабриках. Неминучість в найближчому майбутньому продукційного дисбалансу серед гірничо-збагачувальних комбінатів ігнорується, попри те, що на окремих з них падіння продуктивності з певного моменту зробить утримання власних збагачувальних потужностей нерентабельним і змусить збувати як кінцеву власну продукцію лише товарну руду, яка може бути спрямована та інтегрована в рудопотоки інших ГЗК регіону.

Ідея роботи полягає у генералізації управління якістю залізозмісної сировини фінальних рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів, яка виглядає як об'єднання всіх засобів контролю, сортування і мікширування руд в єдиний, технологічно домінуючий в масштабі не тільки окремого кар'єру, але всього ГЗК комп'ютеризований комплекс, підпорядкований загальній цільовій алгоритмізації.

Фінальним інтегрованим рудним вантажопотоком залізорудного ГЗК є рудопоток, який сформовано з окремих рудопотоків кар'єрів, рудних складів, а в деяких випадках – із застосуванням зовнішніх джерел сировини. Фінальний рудопоток є вхідним вантажопотоком на РЗФ.

Відомо, що оптимальні режими збагачувального виробництва можливо отримати тільки за визначених значеннях вмісту корисного компонента в потоці вхідної руди рудозбагачувальної фабрики, значення яких знаходяться у межах певного діапазону. При цьому вихід концентрату, втрати в хвостах та собівартість виробництва є оптимальними. Таким чином відповідність якісних характеристик сформованого фінального рудопотоку заданим показникам забезпечує максимізацію прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

В умовах гірничого виробництва практично неможливо отримати необхідне значення вмісту корисного компонента в потоці руди, тому розрахунковою величиною задається діапазон з мінімальним і максимальним значенням – допустима амплітуда коливань сировинної якості.

У зв'язку з відпрацюванням найбільш багатих ділянок залізорудних родовищ спостерігається загальне зниження сировинної якості фінальних інтегрованих рудопотоків залізорудних ГЗК. Внаслідок коливань вмісту

корисного компонента в рудних вантажопотоках залізорудні ГЗК України несуть значні технологічні й економічні збитки.

*Згідно ідеї приймаються наступні робочі гіпотези:*

1. Формування фінального інтегрованого рудопотоку ГЗК із заданим вмістом корисного компонента в гарантованому діапазоні амплітудних коливань може забезпечити комплексний критерій оцінки ефективності управління якістю мінеральної сировини рудопотоку, який враховує плановий і фактичний вміст корисного компонента в сформованому потоці, його об'єм, собівартість процесу збагачення і вихід концентрату.

2. Максимізація прибутку ГЗК стає можливою за рахунок застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків, яка поєднує системи оперативного контролю і гірничо-транспортної диспетчеризації та є єдиною технологічно домінуючою в масштабі комбінату системою, яка підпорядкована загальній цільовій алгоритмізації.

3. Скорочення обсягів видобутку руди у групі комбінатів залізорудного басейну може бути використано при реструктуризації існуючої технології управління якістю рудопотоків у генералізовану, що має виконуватися з урахуванням можливості перенаправлення рудопотоку з одного ГЗК на інший.

4. Підвищення вмісту корисного компонента рудопотоку та зменшення його коливань може забезпечити мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс, що відсікає некондиційну гірничу масу в забоях приконтатної зони кар'єру.

2.4. Основні методи розрахунків, принципи дії і характеристики використаних апаратних засобів, лабораторних та інструментальних методів і методик

В дисертаційній роботі для вирішення наукових задач та їх порівняльної оцінки застосовано основні методи гірничої справи та наступних теорій: управління, взаємодії гамма-випромінювання з гірськими породами, магнітних

полів, математичної статистики, статистичної фізики, квантової механіки, кібернетики та синергетики.

Для математичної обробки результатів досліджень застосовано методи найменших квадратів і факторного аналізу, використано математичні методи моделювання та багатоваріантні розрахунки з використанням комп'ютерних програм для визначення оптимальних технологічних рішень.

При проведенні лабораторних та промислових досліджень в якості приладів оперативного контролю якості використовувалися розробки ТОВ «Рудпромгеофізика»: ПАКС-5 М, ПАКС-5 МК, ПАКС-5 КК, каротажна станція «Кар'єр-Кривбас», датчики заліза магнітного ДЖМ-4 та ДЖМ-3 М1, порошковий аналізатор проб ПАП-1, а також система безперервного контролю якості заліза загального на конвеєрі НАКС-ПК та система безперервного контролю якості заліза магнітного на конвеєрі ДЖМ-К.

Кожен з приладів має своє призначення та принципи дії.

Каротаж свердловин здійснюється каротажною станцією «Кар'єр-Кривбас» (рис. 2.2).

Багатофункціональна мобільна станція застосовується для одночасного оперативного контролю (каротажу) вмісту заліза магнітного і загального методом опробування масиву гірських порід в шарошкових і колонкових свердловинах глибиною до 100 м [46].

Дана станція дозволяє здійснювати одночасний каротаж на залізо загальне і магнітне з фіксацією даних про вміст корисного компонента. Принцип дії побудовано на реєстрації вторинного (відбитого) від стінок свердловини гамма-випромінювання та одночасному контролю зміни магнітного поля, що відбувається в масиві по мірі переміщення зонду [47,48].

Результати вимірювань вмісту корисного компонента відображаються (у відсотках) на цифровому табло пульта радіометра типу ПАКС або – екрані персонального комп'ютера NoteBook. Інформація на екрані формується у вигляді таблиці або графіку динаміки змін вмісту корисного компонента [49].



Рис. 2.2. Каротажна станція «Кар'єр-Кривбас»

Шаг каротажу – змінюваний, у залежності від умов є можливість вибирати від 0,1 до 1,0 м.

Каротажна станція «Кар'єр-Кривбас» забезпечує:

- точну прив'язку глибини свердловини і відповідного значення вмісту корисного компонента;
- каротаж обводнених свердловин;
- автоматичний запис даних (дата, поточний час, глибина свердловини, значення вмісту заліза загального та магнітного);

- ідеальний збіг точок за глибиною свердловини по залізу магнітному і загальному.

Каротажна станція «Кар'єр-Кривбас» забезпечує контроль вмісту корисного компонента у діапазоні  $1 \div 75$  %, при цьому похибка становить по залізу загальному  $\pm 2,0$  %, а по залізу магнітному –  $\pm 1,0$  %. Живлення здійснюється від бортової мережі напругою 12 В, час безперервної роботи – не менше 10 годин.

За допомогою каротажної станції «Кар'єр-Кривбас» на сьогоднішній день проводиться випробування шарошкових свердловин на залізо загальне і магнітне у кар'єрах Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Південний ГЗК» і ГЗК «Укрмеханобр» ММК ім. Ілліча.

Також каротаж на залізо магнітне можна проводити за допомогою портативного пристрою ПАКС-5КК, що складається з вимірювального пульта та каротажного зонду (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Переносний пристрій ПАКС-5 КК

Критерієм для визначення вмісту заліза магнітного є величина магнітної сприйнятливості порід [50]. Зонд працює у комплексі з пультом ПАКС-5. Принцип дії побудовано на реєстрації зміни штучно створеного магнітного поля при переміщенні його у залізистих кварцитах. Результати вимірювань вмісту

корисного компонента відображаються (у відсотках) на цифровому табло й автоматично записуються у пам'ять пристрою.

Дані, отримані в результаті каротажу, дозволяють побудувати модель розподілу вмісту корисного компонента у блоці, підготовленому для підривання, і тим самим спрогнозувати динаміку зміни якості при подальшому відпрацюванні видобувного забою.

Переносний пристрій ПАКС-5КК застосовується у кар'єрах ПрАТ «Південний ГЗК», ПрАТ «Інгулецької ГЗК» і кар'єрах гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Після підривання відбувається перемішування рудної маси, що обумовлює необхідність технологічного контролю вмісту загального заліза (ПАКС-ТК) і заліза, пов'язаного з магнетитом (ПАКС-5 МК), в процесі відпрацювання видобувного забою.

Переносний пристрій для оперативного контролю заліза, пов'язаного з магнетитом (ПАКС-5 МК), зображено на рис. 2.4 [51]. Принцип його дії – такий самий, як і ПАКС-5 КК, але з його допомогою досліджується показник вмісту корисного компонента не у свердловинах, а на поверхні забою. Глибина інформаційного шару складає половину відстані між індукційною та вимірювальною котушкою з навоєм, та складає 0,5 м.

Дані, отримані за допомогою ПАКС-5 МК, застосовують для поточного контролю відповідності фактичних показників якості з розрахунковими даними, що використовуються при вирішенні шихтувальної задачі для визначення змінного завдання.

Переносний пристрій ПАКС-5 МК впроваджений та успішно експлуатується на ПАТ «Південний ГЗК», ПрАТ «Центральний ГЗК», ПрАТ «Інгулецької ГЗК» і кар'єрах гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».





Рис. 2.4. Переносний пристрій ПАКС-5 МК

Для контролю вмісту загального заліза в рудопотоці на конвеєрі ЦПТ може використовуватися мікропроцесорна система контролю якості і ваги НАКС-ПК [53]. Система НАКС-ПК призначена для оперативного контролю вмісту загального заліза і маси мінеральної сировини з точністю  $\pm 1,5\%$ . НАКС-ПК побудовано за принципом локальної інформаційно-вимірювальної мережі з центральним пристроєм (сервером), в якості якого використовується комп'ютер (рис. 2.5), і периферійних вузлів вимірювання (абонентських пунктів) (рис. 2.6).

Дані про вміст корисного компонента на конвеєрі дають практичну інформацію і про те, наскільки сформований рудопотік відповідає розрахунковим значенням, і чи не виходять коливання якості за визначені межі діапазону.

В якості абонентських пунктів використовуються інтелектуальні датчики НАКС-ПК. Зв'язок сервера з абонентськими пунктами здійснюється по дводротовій захищеній фізичній лінії за магістральним принципом.



Рис. 2.5. Сервер системи НАКС-ПК

Комп'ютер, забезпечений модемом локальної інформаційно-обчислювальної мережі і спеціальним програмним забезпеченням, є сервером НАКС-ПК.

Абонентські пункти (інтелектуальні датчики) НАКС-ПК являють собою мікропроцесорні пристрої, що забезпечують контроль технологічних параметрів контрольованої сировини і процес обміну інформацією з сервером системи. Принцип дію побудовано на реєстрації потоку відбитого від поверхні рудної маси, що рухається по конвеєру, з використанням центрально-змщеної або бокової геометрії взаємного розташування джерел іонізуючого випромінювання та детекторів. Показник зареєстрованої інтенсивності переводиться у значення вмісту корисного компонента за визначений період вимірювань.

Система контролю НАКС-ПК запроваджена та експлуатується в умовах поверхневого комплексу ПАТ «КЗРК», ПрАТ «СУХА БАЛКА» та ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на вході до дробильно-сортувальної фабрики.



Рис. 2.6. Периферійний вузол вимірювання системи НАКС-ПК

Контроль якості на рудному складі дозволяє дискретно, з більш високою точністю, визначити вміст загального заліза (за допомогою порошкового аналізатора проб ПАП-1) і заліза, пов'язаного з магнетитом (із застосуванням датчика заліза магнітного ДЖМ-3).

Порошковий аналізатор проб, призначений для визначення вмісту загального заліза в пробах чорних металів, забезпечує точність вимірювань на рівні хімічного аналізу (рис. 2.7) [54].

При цьому час вимірювання складає до 60 сек. Собівартість однієї проби – на два порядки нижча, ніж при хіманалізі [55].



Рис. 2.7. Порошковий аналізатор проб ПАП-1

Принцип дії порошкового аналізатора проб – аналогічний ПАКС-5М, але змінена геометрія зони виміру, а також подрібнення вимірюваного матеріалу дозволили значно підвищити точність до рівня методу держстандарту хіманалізу. ПАП-1 застосовується на кар'єрах ГЗК «Укрмеханобр» ММК ім. Ілліча, ПрАТ «Центральний ГЗК» і ТОВ «СхідРуда».

З 2018 року на кар'єрах гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» застосовуються модернізовані порошкові аналізатори проб ПАП-2.

Датчик заліза магнітного ДЖМ-3 призначено для експресного визначення вмісту корисного компонента – масової долі магнетиту в залізних рудах (рис. 2.8).

ДЖМ-3 забезпечує визначення вмісту магнетиту, надає можливість тривалого зберігання отриманих результатів в базі даних і їх обробку (визначення середніх значень вмісту корисного компонента, графічне відображення розподілу вмісту в часі та ряд інших операцій з даними). ДЖМ-3 складається з датчика магнітної сприйнятливості, датчика ваги проби, електронної схеми, конструктивно скомпонованих як моноблок, і комп'ютера.





Рис. 2.8. Датчик заліза магнітного ДЖМ-3

Датчик заліза магнітного ДЖМ-3 експлуатується на ПАТ «Центральний ГЗК», ПрАТ «Інгулецький ГЗК», в ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

На вході збагачувальної фабрики, перед подрібненням, контроль вмісту заліза магнітного в рудопотоці на конвеєрних лініях здійснюється за допомогою системи безперервного контролю ДЖМ-К (рис. 2.9) [56,57].

Система ДЖМ-К забезпечує визначення вмісту магнетиту в режимі реального часу, надає можливість тривалого зберігання отриманих результатів в базі даних та їх обробку (визначення середніх значень вмісту корисного компонента, графічне відображення розподілу вмісту в часі та ряд інших операцій з даними) [57]. Принцип дії побудовано на реєстрації зміни сигналу з вимірювальної котушки відносно штучно створеного індукційною котушкою магнітного поля в зоні виміру.

Система ДЖМ-К складається з датчиків магнітної сприйнятливості, перетворювачів, електронних табло, датчика висоти шару руди і центрального



ВТК ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПрАТ «Інгулецький ГЗК»,  
ПрАТ «Полтавський ГЗК».

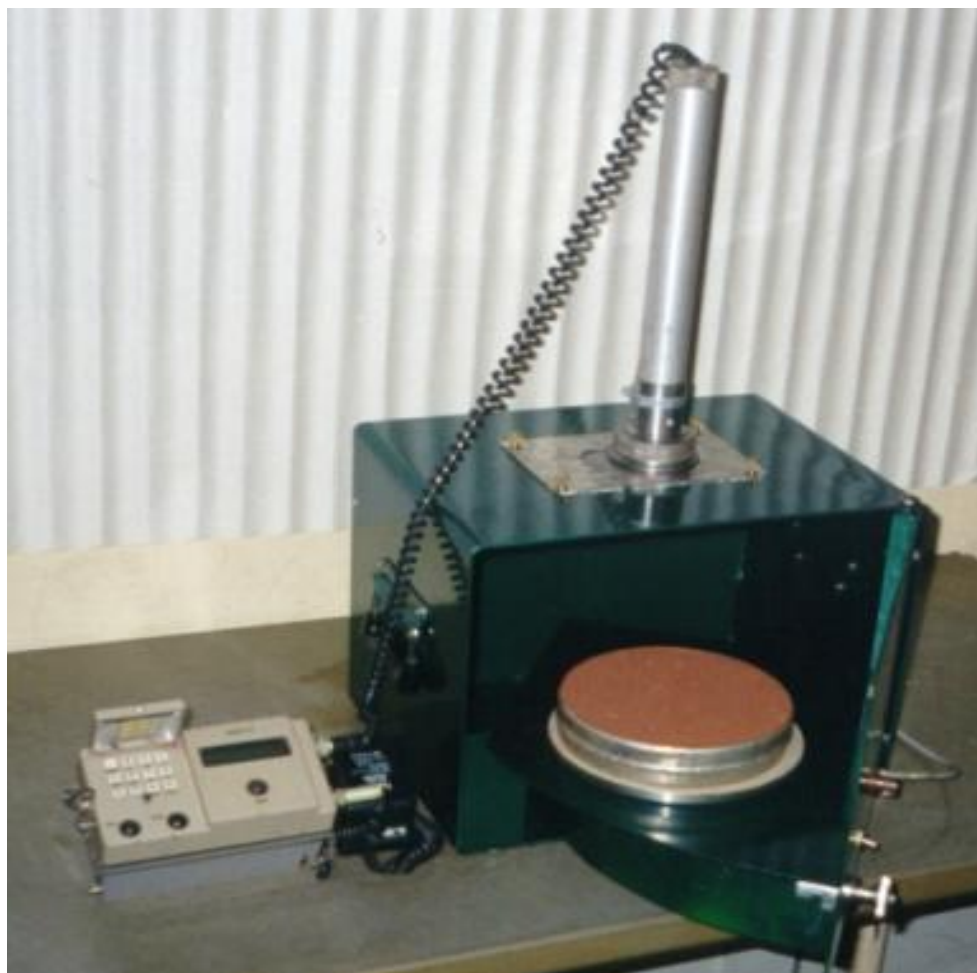


Рис. 2.10. Комплексний пристрій контролю вмісту загального заліза  
ПАКС-5 М

Для визначення рівнів гамма-випромінювання при роботі з радіоізотопними приладами застосовано сертифікований дозиметр-радіометр МКС-03Д «Стриж».

Для дослідження геометрії зони вимірювання використовувалась розроблена лабораторна установка, яка дозволяє змінювати відстань від джерела до детектора (рис.2.11).

Для дослідження процесу радіометричного сортування та обґрунтування подальшого використання в умовах відкритих гірничих робіт мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в проблемно-галузевій лабораторії Криворізького національного університету було створено діючий



макет сепаратора – радіометричний модуль, в якому було використано джерела іонізуючого випромінювання Am-241 з активністю  $2,4 \times 10^8$  Бк. (рис.2.12).



Рис. 2.11. Лабораторна установка  
для дослідження геометрії зони вимірювання

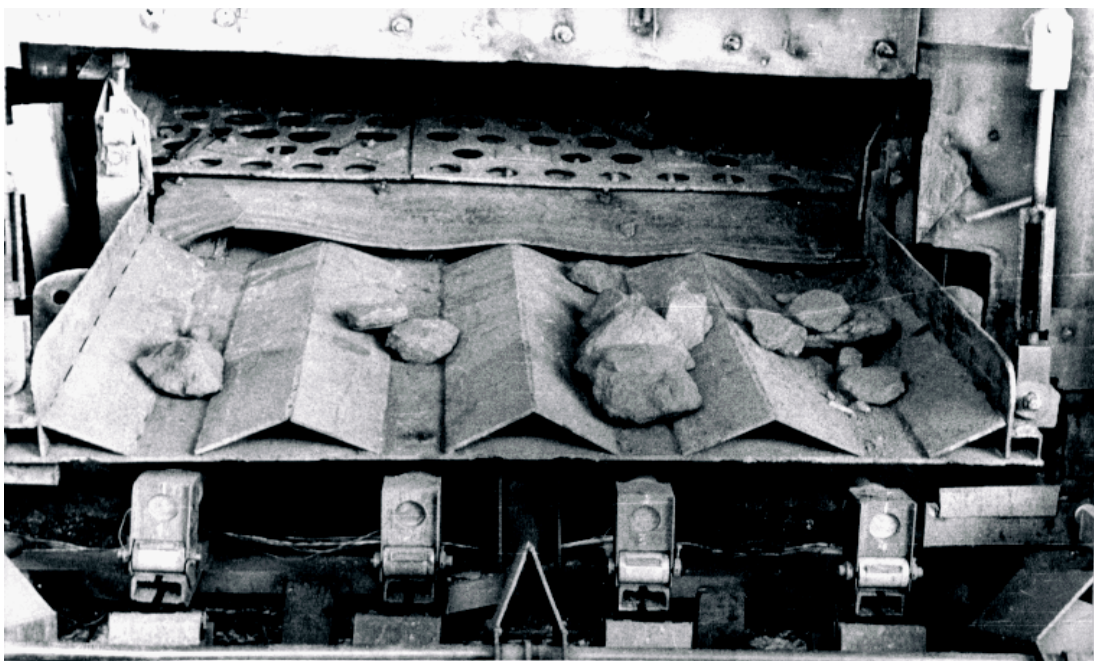


Рис. 2.12. Радіометричний модуль



В визначенні вагових показників рудних проб застосовано ваги електроні настільні МК-3.2-A22 (рис. 2.13)

При виконанні досліджень використовувалися стандартизовані еталони та стандартні зразки підприємств.



Рис. 2.13. Ваги електроні настільні МК-3.2-A22

Похибки вимірювань в стаціонарних пристроях визначалися як абсолютна похибка відносно даних хімічного аналізу, а похибки вимірювань вмісту корисного компонента в потоці на конвеєрній стрічці – як середньоквадратичне відхилення фактичного показника від заданого значення.

Абсолютна похибка вимірювань:

$$\varepsilon = |a - b|$$

Середньоквадратичне відхилення:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

## 2.5. Програмне забезпечення

Всі розрахунки в роботі проводили за допомогою Microsoft Excel (2002, Microsoft Corporation, <http://office.microsoft.com>), OriginPro 7.0 (2002, OriginLab Corporation, <http://www.originlab.com>).

Рисунки, що містяться в роботі, виконано за допомогою програми Microsoft Word (2002, Microsoft Corporation, <http://office.microsoft.com>). Програми AutoCAD 2010 (2010, [Autodesk](http://www.autodesk.com), <http://www.autodesk.com>), K-MINE (Кривбасакадемінвест, <http://kai.com.ua>), Компас-3D V9 (2009, Аскон, <https://kompas.ru>) використовувалися для виконання гірничо-геометричного аналізу кар'єрних полів, каротажу, схем рудопотоків, планів гірничих робіт, визначення локалізації об'єктів складської та транспортної інфраструктури, засобів контролю сировинної якості та управління нею тощо.

При вимірах вмісту корисного компонента за допомогою приладів ПАКС-5 М, ПАКС-5 МК, ПАКС-5 КК, каротажної станції «Кар'єр-Кривбас», датчиків заліза магнітного ДЖМ-4 та ДЖМ-3 М1, порошкового аналізатора проб ПАП-1, а також систем безперервного контролю якості заліза загального на конвеєрі НАКС-ПК та якості заліза магнітного на конвеєрі ДЖМ-К застосовувалися оригінальні програми.

В якості програмного забезпечення на комп'ютерній мові «Сі++» були використані програми для вимірювальних пультів ПАКС-5 М, ПАКС-5 МК, ПАКС-5 КК, комп'ютерів «Кар'єр-Кривбас», ДЖМ-4, ДЖМ-3 М1, ПАП-1 та серверів НАКС-ПК та ДЖМ-К. Також було використано окреме програмне забезпечення для каротажних зондів станції «Кар'єр-Кривбас» та ПАКС-5 КК, датчиків ПАКС-5 М, ПАКС-5 МК, ДЖМ-4, ДЖМ-3 М1, ПАП-1, НАКС-ПК та ДЖМ-К.

Окрім цього, для передачі даних вимірювань з пультів на стаціонарні комп'ютери з метою їх подальшої обробки, побудови карт розподілу корисного компоненту в масиві та аналізу використовувалось програмне забезпечення верхнього рівня.

### РОЗДІЛ 3

## ДОСЛІДЖЕННЯ І КЛАСИФІКАЦІЯ ФАКТОРІВ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ТОЧНІСТЬ ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЮ Й ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ

3.1. Класифікація факторів, що впливають на точність вимірів при каротажі вибухових свердловин в кар'єрах

Каротаж являє собою детальне дослідження розрізу свердловини за допомогою спуску-підйому в ній геофізичного зонда.

Гамма-гамма каротаж (ГГК) відноситься до ядерних методів геофізичного дослідження. Суть методу полягає в тому, що породу спочатку опромінюють джерелом гамма-випромінювання. Гамма-випромінювання, яке виникає як вторинне (розсіяне), дозволяє більш ефективно вимірювати параметри породи, ніж її природне випромінювання, яке без наведеного в багатьох випадках – відсутнє [17].

Основними для геофізики є такі види взаємодії квантів з речовиною:

- фотоефект (відбувається на внутрішніх електронних оболонках атомів), при цьому енергія квантів повинна бути меншою 0,5 MeV;
- ефект Комптона (відбувається на зовнішніх електронних оболонках атомів), енергія квантів повинна бути вищою 0,5 MeV, але меншою 1,02 MeV.

Селективний гамма-гамма каротаж застосовують на рудних і вугільних родовищах. На рудних родовищах, відповідно, визначають порядковий номер металу, який міститься в руді [18].

Похибка вимірювання вмісту корисного компонента при каротажі є інтегральною величиною від декількох видів похибок, обумовлених наступними факторами:

- апаратурна похибка, яка зумовлюється конструктивними особливостями зондів, елементною базою та рівнем програмного забезпечення геофізичного обладнання;

- похибка від наявності проміжної зони – відстані між стінкою свердловини та зондом;

- похибка, що виникає від мінливості речового складу масиву гірських порід;

- похибка, що виникає від стану масиву (вологість, тріщинуватість, кавернозність).

Апаратурна похибка знижується відповідно до рівня вдосконалення геофізичного обладнання. Дана похибка є на сьогоднішній день найменшою з усіх інших [17].

Похибка, що вноситься проміжною зоною вимірювання між датчиком і гірничою масою, залежить від щільності останньої та речовинного складу, від щільності середовища і конструкції зонда [18].

Притиск зонду зменшує величину проміжної зони, але залишається вплив мікрокаверн, глинистої кірки тощо [17].

З фізичних основ селективного гамма-гамма методу слідує, що на величину інтегрального потоку інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання, крім ефективного атомного номера, впливає щільність середовища, що досліджується ( $\rho$ ). Якщо цей параметр не буде корелювати зі вмістом корисного компонента, то, за рахунок його зміни, будуть спостерігатися значні спотворення кінцевих результатів [63,64].

В цілому ж для залізних руд Кривбасу характерним є високий кореляційний зв'язок між  $\rho$  та  $Fe_{\text{заг.}}$ , що є сприятливою передумовою для застосування гамма-гамма каротажу [65].

Щоб уникнути шкідливого впливу цього фактора, вдаються до спеціальних способів складання та налаштування зондових пристроїв. Найбільш ефективний спосіб зменшення впливу змінної щільності у відносно великих межах базується на використанні так званих подвійних інверсійних зондів. Суть методу полягє в

тому, що зонди споряджаються двома джерелами з різною активністю гамма-випромінювання  $Q_1$  і  $Q_2$ , розташованими, відповідно, на відстанях  $L_1$  і  $L_2$  від детектора. Відстані  $L_1$  та  $L_2$  (розмір зонда) забезпечують ефект інверсії. Вони розраховуються, виходячи із середньої величини щільності ( $\rho_{cp}$ ) для випадку контактної геометрії вимірювань ( $h_0=0$ ). Розрахунок проводиться за наближеною формулою

$$L_0 = \frac{1}{\mu_{-p} \cdot \rho_{-p}} \quad (3.1)$$

де  $\mu_{-p}$  – середнє значення масового коефіцієнта ослаблення  $i$ -го джерела.

Якщо для одного джерела в подвійному зонді  $L_1 < L_0$  (доінверсійна зона), а для іншого  $L_2 > L_0$  (заінверсійна зона), то для першого джерела величина розсіяного гамма-випромінювання ( $N$ ) зростає зі збільшенням щільності порід, а для іншого – зменшується [66].

Таким чином, при одночасному використанні двох джерел, що мають певне співвідношення активностей, величини  $N$  практично не залежать від щільності середовища, тому що вплив щільності компенсується.

Для компенсації зміни щільності необхідно також, щоб величини  $N_1$  та  $N_2$  були одного порядку.

У разі точкового джерела і точкового детектора величина  $N$  є обернено пропорційна  $L_2$ . Тому співвідношення активностей джерел повинно вибиратися з умови:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left( \frac{L_2}{L_1} \right)^2 \quad (3.2)$$

Досвід застосування подвійних зондів на родовищах Криворізького залізорудного басейну показує, що за допомогою них вплив змінної щільності залізних руд можна враховувати при каротажі свердловин.

Оскільки між щільністю і ніздрюватістю є тісний кореляційний зв'язок, то зміна ніздрюватості гірських порід і руд є рівнозначною зміні їх щільності, або об'ємної маси. Тому можна вважати, що зміна ніздрюватості при використанні подвійного інверсійного зонда не спотворює величину  $N$ .

Вплив проміжної зони  $h$  між робочою поверхнею зондового пристрою і поверхнею, що досліджується, пов'язано з тим, що функція  $N=f(h)$  має інверсійний характер аналогічно функції  $N=f(\rho)$ .

Вплив цього фактору можна знизити шляхом створення подвійного інверсійного зонда (комбінованого). В такому зонді використовуються два джерела гамма-випромінювання з активностями  $Q_1$  та  $Q_2$ , розташованими на відповідних відстанях  $R_1$  і  $R_2$  від детектора. Відстані  $R_1$  і  $R_2$  встановлюються таким чином, щоб джерело з  $Q_1$  працювало в доінверсійній зоні, а з  $Q_2$  – у заінверсійній. В результаті при знятті характеристики  $N=f(h)$  для подвійного зонда інверсійна зона розширюється до 25–40 мм. Це пояснюється тим, що випромінювання джерел з  $Q_1$  та  $Q_2$  ніби компенсують одне одного.

Такий зонд дозволяє виконувати вимірювання на відносно нерівній поверхні, проводити аналіз в геометрії  $2\pi$  або ж досліджувати сухі свердловини зі змінним діаметром в геометрії  $4\pi$  (рис. 3.1) без притискних пристроїв.

Істотним чинником, що впливає на достовірність визначення  $Fe_{\text{заг}}$  гамма-гамма методом, є природна вологість гірських порід. За статистичними даними багаті пухкі руди Кривбасу містять до 12 %  $H_2O$ , при цьому вологість основних твердих різновидів руд коливається в межах від 2 до 8 % [67].

Будь-яке збільшення вологості від  $W_0$  до  $W$  призводить до підвищення щільності в  $(1+W-W_0)$  разів і в стільки ж разів підвищує похибку вимірювання. Пов'язано це з тим, що відбувається перерозподіл процесів взаємодії гамма-квантів з середовищем, яке досліджується (для комптонівського розсіювання – збільшується, а для фотоефекту – знижується, оскільки зменшується величина  $Z_{\text{ef}}$ ).

Графік залежності інтенсивності гамма-випромінювання  $N=f(d)$  для свердловинного подвійного інверсійного зонда 4 $\pi$ -геометрії (джерело іонізуючого випромінювання Co-57) наведено на рис. 3.1.

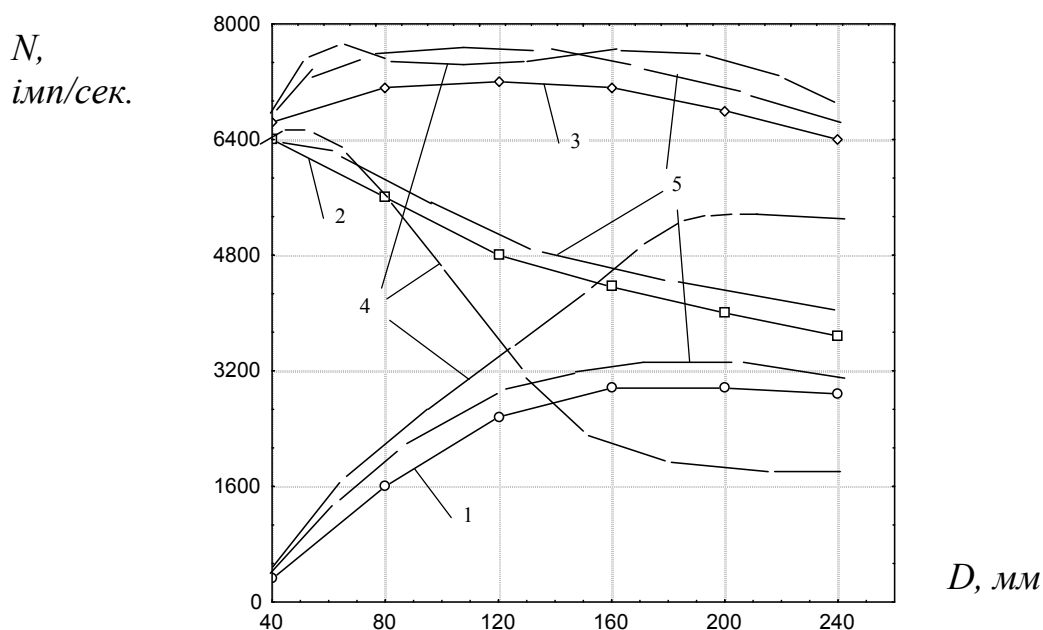


Рис. 3.1. Графік залежності  $N=f(d)$  для свердловинного подвійного інверсійного зонда 4 $\pi$ -геометрії (джерело Co-57): 1 –  $R_1=30$  мм,  $Q=0,24$  мКюрі; 2 –  $R_2=135$  мм,  $Q=2,3$  мКюрі; 3 – подвійний зонд; 4 – вісь; 5 – на відстані 10 мм від стінки

Значення ефективного атомного номера середовища ( $Z_{ef.}$ ), вологість якого змінилася на  $(W-W_0)$ , розраховується за формулою:

$$Z_{ef}(W) = \frac{1}{\sqrt{1+W-W_0}} \sqrt{Z_{ef}^3(W_0) + (W-W_0) \cdot Z_{ef}(H_2O)}, \quad (3.3)$$

де  $Z_{ef}(W_0)$  – ефективний атомний номер середовища з початковою вологістю  $W_0$ .

У табл. 2.1 наводяться розрахунки  $Z_{ef.}$  за вказаною формулою для залізної руди різної щільності та вологості.

Як видно з таблиці, зростання вологості на 10 % супроводжується зменшенням  $Z_{ef}$  середовища, яке досліджується, на 0,6 од. Відповідно знижується

розрахунковий вміст  $Fe_{\text{заг.}}$  приблизно на 5,2 %. Доведено, що зменшення  $Z_{\text{еф.}}$  зумовлюється зниженням розрахункового вмісту  $Fe_{\text{заг.}}$  за рахунок зростання вологості [68].

Таблиця 3.1

Розрахунок ефективного атомного номера залізної руди за різних показників вологості

| $W, \%$ | $\rho, \text{г/см}$ | $Z_{\text{еф.}}$ | $Fe_{\text{заг}} (Z_{\text{еф}}), \%$ | $Fe_{\text{заг}} (W), \%$ |
|---------|---------------------|------------------|---------------------------------------|---------------------------|
| 0       | 3,50                | 22,4             | 52,5                                  | 52,5                      |
| 2       | 3,57                | 21,3             | 51,5                                  | 51,5                      |
| 5       | 3,68                | 21,1             | 49,8                                  | 50,0                      |
| 10      | 3,85                | 20,8             | 47,2                                  | 47,8                      |
| 15      | 4,03                | 20,5             | 44,6                                  | 45,6                      |
| 20      | 4,20                | 20,2             | 42,0                                  | 43,8                      |

Для зниження похибки при каротажі свердловин застосовуються різні конструкції зондів, удосконалюються методики градуювання і проведення вимірювань, що враховують вплив чинників, які «заважають») [68].

3.2. Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізозмісної сировини в забоях кар'єру

До основних факторів, які впливають на точність контролю якості в забої, належать:

- речовинний склад;
- гранулометричний склад;
- вологість;
- конструктивні особливості датчика, що впливають на зону вимірювання;
- стан поверхні підірваної рудної маси, що підлягає вимірюванню.



Вплив гранскладу, вологості та речовинного складу на точність контролю якості в забої є аналогічним впливу при контролі вмісту корисного компонента в масиві. При цьому точність опробування багато в чому залежить від конструкції датчика, яка зумовлює, як зону вимірювання, так і глибину інформаційного шару [69].

При підриванні гірських порід вони перетворюються в розвал, тобто в масив окремих за крупністю шматків, між якими знаходяться повітряні проміжки. Неоднорідність підриваного масиву істотно впливає на точність контролю вмісту корисного компоненту в руді.

Вологість також впливає на точність контролю в.к.к. Практичний приклад впливу вологості на результати опробування забоїв з різними показниками гранскладу гамма-гамма методом наведено на рис. 3.2.

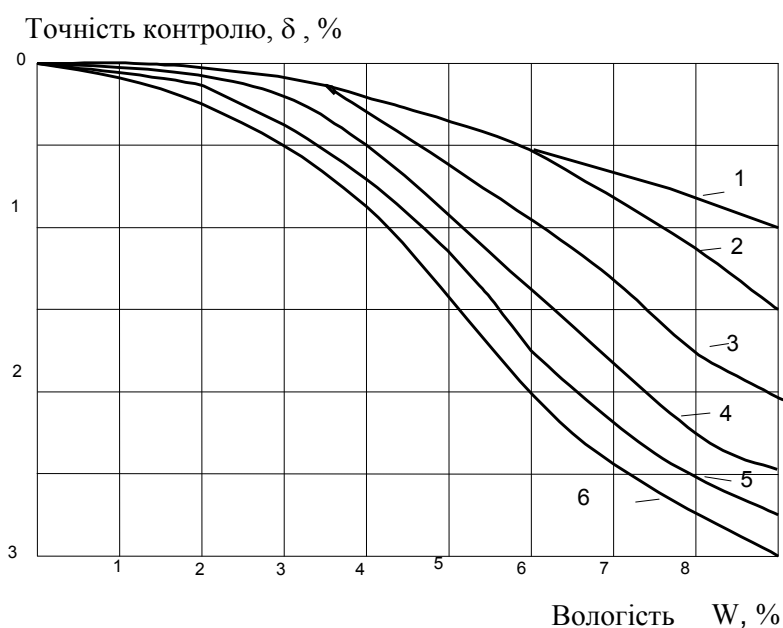


Рис. 3.2. Залежність точності контролю вмісту Fe<sub>заг.</sub> від фізико-хімічних властивостей гірничої маси

1 –  $d \leq 200$  мм,  $q \leq 46$  %; 2 –  $d \leq 100$  мм,  $q \leq 46$ –58 %;

3 –  $d \leq 50$  мм,  $q \leq 30$ –35 %; 4 –  $d \leq 20$  мм,  $q \leq 40$ –50 %;

5 –  $d \leq 10$  мм,  $q \leq 50$ –60 %; 6 –  $d \leq 5$  мм,  $q \leq 50$ –60 %.

Як видно з рисунка, зміна вологості гірських порід і руд в межах 2–4 % перебуває в межах точності методу вимірювання та не вимагає введення поправок

на вологість. Аналогічний висновок робиться для аналізу порошкових проб до 10 мм, що доведено експериментально і практичним досвідом.

Розглянемо вплив конструкції датчика на точність вимірювань на прикладі пристрою контролю якості ПАКС-5МК. Поверхні гірничих виробок та навалів руди в більшості випадків – нерівні. Це регламентує деякі вимоги методики і техніки проведення вимірювань, яких необхідно дотримуватися для досягнення необхідної достовірності результатів контролю, а саме:

- датчик встановлювати на найбільш рівну поверхню, не допускаючи потрапляння рудного матеріалу в зону, розташовану вище лінії, що з'єднує центри навоїв.

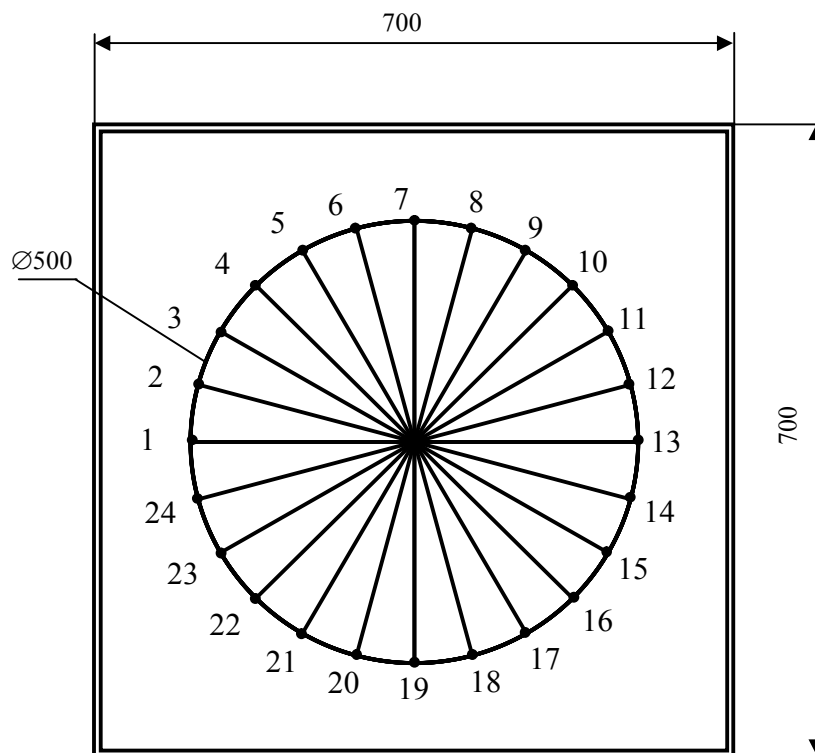


Рис. 3.3. Порядок проведення вимірювань вмісту корисного компонента в підірваній гірничій масі пристроєм ПАКС-5 МК

- визначення масової частки корисного компонента виконувати в режимі усереднення декількох результатів вимірювань, проведених в точці при різному азимутному розташуванні навоїв (рис. 3.3);

- при вимірюваннях навої датчика обов'язково повинні контактувати з рудної поверхнею;

- підносити датчик МК до вимірюваної поверхні, не допускаючи потрапляння вимірюваного матеріалу вище осі навоїв [70].

Вплив стану поверхні вимірюваної рудної маси полягає в наявності в розвалі повітряних зазорів і нерівної поверхні, що вносить додаткову похибку до вимірювання і знижує точність контролю якості. Повітряні зазори впливають на щільність окремого об'єму, а нерівності поверхні призводять до того, що відстані від датчика пристрою до руди будуть непостійні, що внесе похибки в зону вимірювання.

Головним чинником, який впливає на зниження точності контролю підірваної гірничої маси, стосовно масиву гірських порід є порушення природного стану внаслідок проведення буровибухових робіт. У зв'язку з цим розроблено методики калібрування та підлаштування точності, які враховують середні показники питомої щільності підірваної гірничої маси, а також знижують похибку вимірювань по нерівній поверхні у забої кар'єру.

На сьогоднішній день існує надійний спосіб досягти підвищення достовірності показників вмісту корисного компонента у забої кар'єру – це виконати достатню кількість вимірів, а потім провести математичну обробку отриманих результатів (наприклад – усереднення результатів).

Основним недоліком при цьому є пряма залежність тривалості контролю при збільшенні кількості вимірювань в одному забої, що призводить до зниження продуктивності опробування.

### 3.3. Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізистих сировини на конвеєрній стрічці

Одним зі способів визначення вмісту загального заліза в потоці на конвеєрній стрічці є селективний гамма-гамма метод. При використанні цього методу на точність вимірювання впливають наступні фактори:

- неоднорідність хімічного (мінералогічного) складу маси, що містить в собі корисний компонент;

- неоднорідність мінералогічного складу корисного компонента, який визначається (наприклад, залізо може бути в наступних сполученнях –  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ );

- різна вологість матеріалу, що контролюється;

- коливання щільності матеріалу;

- неоднорідність гранулометричного складу сировини;

- мінливість геометричних умов вимірювання випромінювання, що відбивається від поверхні гірничої маси (наприклад, при зміні товщини шару);

- стохастичний характер розпаду радіонукліда в джерелі випромінювання і, тим самим, статистичний характер розподілу квантів у потоці первинного випромінювання, що опромінює гірничу масу [71].

Щоб визначити вплив перерахованих факторів на точність оперативного контролю вмісту заліза в гірничій масі на конвеєрі, необхідно кількісно визначити величину діапазону змін, що вносяться до інтегрального потоку розсіяного випромінювання кожним з перерахованих вище факторів, і порівняти його зі зміною, яка зумовлена варіативністю вмісту заліза в руді.

Слід зазначити, що оцінити вплив на точність контролю є можливим не для всіх факторів аналітичним шляхом, деякі з них надійніше визначати експериментально.

Відомо, що залізо в якості корисного компонента в рудах може бути представлено різними його мінералами, що відрізняються з точки зору хімічного складу різним співвідношенням заліза і кисню. Так, в  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  вміст кисню – 30 %, у  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  – 27,5 %. Відповідно для цих сполук заліза з киснем  $Z_{\text{эф.}}$  дорівнюватиме 23,31 та 23,41, тобто різниця складає 0,1 одиниці  $Z$ . При визначенні в рудах заліза в області значень його вмісту 55–60 % це може призвести до похибки його визначення до 0,8 % абс., так як  $Z_{\text{эф.}}$  руди в цьому діапазоні вмістів змінюється на 0,13 одиниці на 1 % Fe.

Відповідно до раніше отриманих даних зміна вологості на 10 % для залізних руд Кривбасу – еквівалентна зміні  $Z_{ef}$  на 0,6 одиниці, що для чотирьох відсотків, у нашому випадку, складе 0,24 од. У рудах із вмістом заліза від 45 % до 65 % зміна в.к.к. на 1 % призводить до зміни  $Z_{ef}$  на 0,13 од. Отже, коливання вологості в межах 4 % може призвести до похибки у визначенні вмісту заліза, що дорівнює  $\approx 2$  % [71].

Якщо налаштовувати вимірювальну апаратуру на пробах з вологістю в 3 % і враховувати той факт, що при розрахунках нами були взяті крайні значення вологості, то варто очікувати, що величина похибки, яку вносить вологість руд у вимір вмісту заліза, не перевищить  $\pm 0,75$  %.

При селективному гамма-гамма методі визначення вмісту корисного компонента у гірничій масі вплив щільності носить неоднозначний характер. В одному випадку збільшення щільності призводить до зниження реєстрованого приймачем рівня розсіяного випромінювання, що є еквівалентним збільшенню  $Z_{ef}$  рудної маси і, тим самим, у даному випадку, до уявного збільшення вмісту заліза у руді. В іншому випадку спостерігається ефект зворотний: збільшення щільності рудної маси призводить до уявного зменшення вмісту заліза.

Між цими двома протилежними ефектами є область, у якій зміна щільності (в незначних межах) не позначається на результатах визначення вмісту заліза у рудній масі – заінверсійна область.

Той чи інший із зазначених ефектів залежить від конструктивних особливостей датчика пристрою для вимірювання вмісту корисного компонента, а саме: взаємного розташування у датчику джерела і приймача відносно поверхні контрольованої маси.

Для контролю вмісту заліза в потоці доцільно конструювати параметри датчика таким чином, щоб він працював в заінверсійній області, в якій збільшення щільності контрольованої руди призводить до удаваного зростання вмісту заліза в ній. У цьому випадку зміна щільності (насипної маси) руди, зумовлена головним чином зміною вмісту в руді заліза, сприяє підвищенню чутливості до зміни вмісту заліза.

Крупність кусків руди, що підлягає контролю на конвеєрі, істотно впливає на точність. Для контролю вмісту заліза селективним гамма-гамма методом в рудах крупністю 0–10 мм зазвичай використовується датчик з комбінованим  $2\pi$  зондом, який дозволяє усунути вплив зміни щільності контрольованої руди та коливання відстані та повітряного зазору між середовищем і датчиком, обумовлені зміною крупності матеріалу в зазначених межах.

У пристрої контролю вмісту корисного компонента для підвищення точності необхідно досягти вирівнювання поверхні шару руди в зоні контролю роликом (катком) спеціального пристрою, що виконує одночасно функцію стабілізатора повітряного зазору між рудою і датчиком [72].

При селективному гамма-гамма методі визначення вмісту корисного компонента в рудній масі інтенсивність реєстрованого приймачем гамма-випромінювання істотно залежить від величини відстані між поверхнею шару рудної маси і приймачем випромінювання. Характер залежності інтенсивності від відстані в значній мірі визначається конструктивними параметрами датчика: площею чутливої поверхні приймача випромінювання, діаметром колімаційного вікна коліматора джерела випромінювання, взаємним розташуванням приймача випромінювання і джерела. З цих причин аналітична оцінка впливу зміни відстані між датчиком і поверхнею гірничої маси на величину похибки визначення вмісту корисного компонента є ускладненою.

Необхідно відзначити, що при моделюванні процесу конструктивні параметри датчика повинні бути аналогічними параметрам датчика реального пристрою.

Виходячи з того, що товщина шару руди на конвеєрі може змінюватися від 0 до 15 см, при стаціонарному розміщенні датчика пристрою над конвеєром в цих же межах буде змінюватися величина повітряного зазору між приймачем випромінювання і поверхнею шару руди. Цей процес був промодельований, в результаті – отримано значення інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання, що реєструється приймачем за різних значень повітряного зазору. За цими результатами отримано аналітичну залежність і побудовано графік (рис. 3.4).

При моделюванні процесу використовувалася проба руди з вмістом заліза 58,39 %, як найбільш близьким до середнього його значення в рудах, що підлягають контролю.

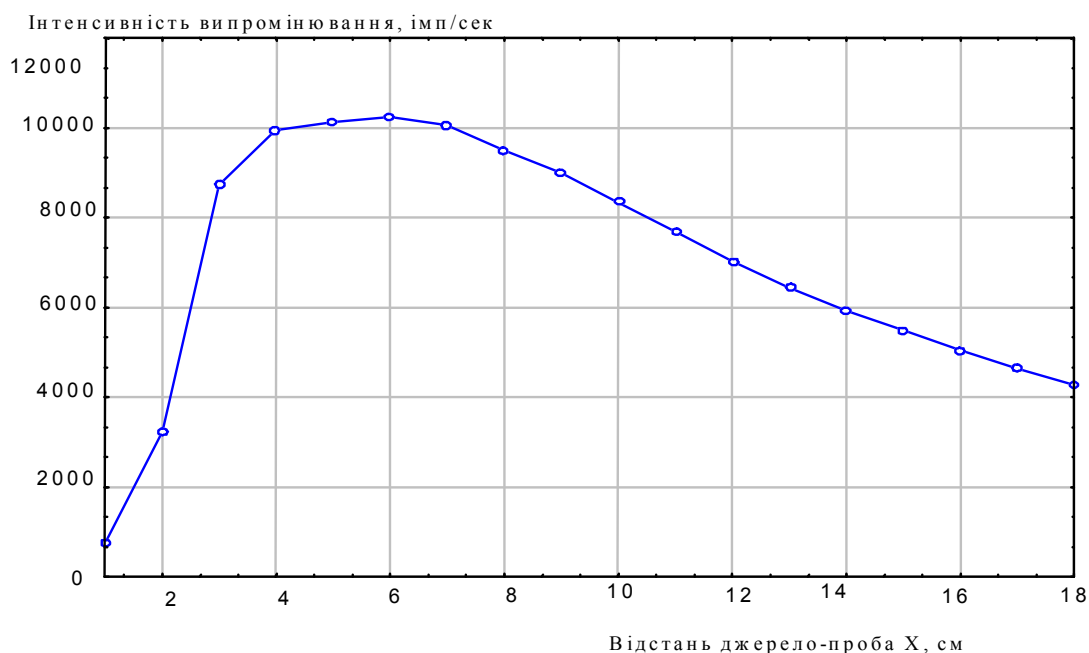


Рис. 3.4. Залежність інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання від відстані між джерелом і гірничою масою

Аналіз отриманої залежності показує, що тільки в межах  $H=5\pm1,5$  см, з деяким наближенням можна вважати, що інтенсивність зареєстрованого приймачем гамма-випромінювання не залежить від величини повітряного зазору. Іншими словами, при зміні товщини шару в межах трьох сантиметрів похибка, яку вносить у вимірювання вмісту заліза, не перевищує  $\pm 1\%$ . При більших значеннях зміни повітряного зазору ця похибка досягає за інтенсивністю  $N\approx 500$  імп/см або  $\Delta N\approx 12\%/см$ , що є еквівалентним похибці у вмісті заліза близько  $\approx 7-8\%$  [73].

Зменшити вплив зміни повітряного зазору на точність визначення вмісту заліза можна двома способами:

- розширити зону інверсії датчика;
- стабілізувати повітряний проміжок завдяки застосуванню механічних пристроїв, які відстежують зміну товщини шару руди на конвеєрі [74].

Перший спосіб передбачає використання декількох джерел випромінювання на різній відстані від приймача випромінювання, або одного джерела, активністю – на два порядки вищою (центральна геометрія). Однак при використанні будь-якого з цих варіантів практично неможливо забезпечити зону інверсії шириною 12–15 см, де зміна інтенсивності не перевищувала б  $\pm 1\%$  (що є еквівалентним забезпеченню точності визначення заліза  $\pm 0,5\%$ ).

Другий спосіб – використання для стабілізації повітряного зазору механічного пристрою на базі врівноваженого пантографа з роликом, який вирівнює поверхню шару руди. Використання пантографа забезпечує підтримку стабільного зазору між датчиком і поверхнею рудного шару, а також можливість змінювати величину цього зазору і працювати, як у області інверсії, так і у заінверсійній області.

Якщо при класі крупності гірничої маси –20 мм можна використовувати різні пристосування для стабілізації повітряного зазору між джерелом (приймачем) гамма-випромінювання і поверхнею гірничої маси, то при крупнокусковій руді використання цих пристосувань не є недоцільним.

Розглянемо приклад взаємодії гамма-випромінювання з речовиною у наближенні одноразово розсіяного гамма-випромінювання, коли клас крупності кусків у контрольованій гірничій масі не перевищує 20 мм.

В даному випадку досліджується бокова геометрія вимірювання, за якої джерело розташовується в стороні від центру детектора. Бокова геометрія вимірювання з одним або двома джерелами дозволяє використовувати всю поверхню детектора, що забезпечує мінімальні втрати вторинного випромінювання при достатній контрастності сигналу і можливо якнайменшій активності джерела.

Для дослідження проведемо математичне моделювання процесу опромінення проби джерелом гамма-квантів та реєстрації вторинного випромінювання (рис. 3.5). Метою моделювання є вивчення ширини зони інверсії. Інверсія – це зміна значення інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання на протилежне.



Дослідження ширини зони інверсії проводиться в залежності від геометричних умов вимірювань, а саме: відстані джерела від детектора, кута коліматора джерела, кута опромінення проби, відстані від детектора до проби.

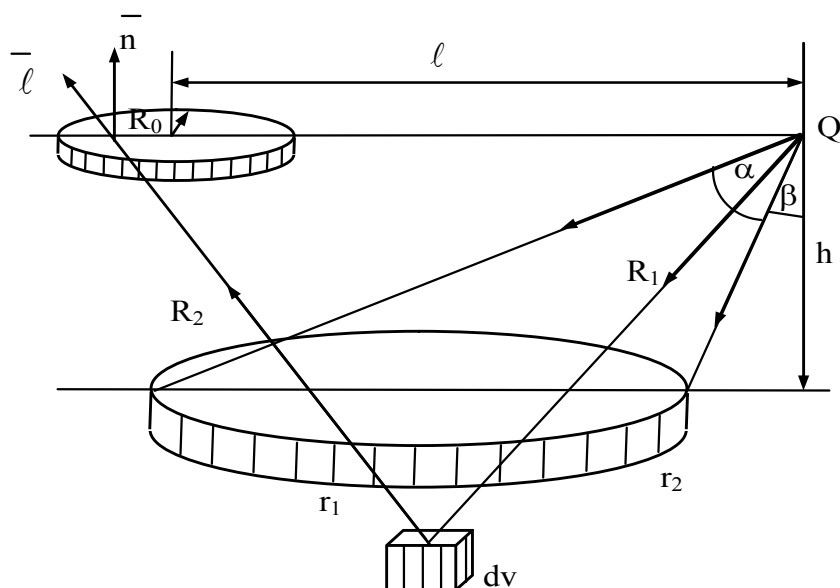


Рис. 3.5. Потік вторинного випромінювання в наближенні однократного розсіювання при одному джерелі випромінювання

Для цього на першому етапі необхідно визначити щільність потоку вторинного випромінювання для випадку точкового ізотропного моноенергетичного джерела гамма-випромінювання активністю  $Q$  і точкового ізотропного детектора  $A$ , розташованих на відстані  $\ell$  один від одного і на відстані  $h$  від поверхні гомогенного розсіювача [75].

Цей випадок є ідеалізацією умов вимірювань, дозволяючи вивчити якісно, а з підбором експериментальних коефіцієнтів – і кількісно, деякі залежності інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання в залежності від конфігурації зони вимірювання.

Точний розрахунок потоку вторинного випромінювання являє собою складну задачу навіть із застосуванням сучасних комп'ютерів. У зв'язку з цим для вирішення завдання доцільно використовувати наближені методи розрахунків, з яких досить широкого використання набуло наближення однократної взаємодії,

що дозволяє оцінити характер залежності потоку вторинного випромінювання від геометричних умов вимірювань.

Диференціальне рівняння для щільності потоку вторинного випромінювання, що виникає в гомогенному середовищі в результаті взаємодії первинного гамма-випромінювання з речовиною проби, визначається виразом [75]

$$\frac{dn_i}{dV} = \left[ Q * K_i * \rho / (4\pi * R_1^2 R_2^2) \right] * \exp(-\mu \rho r - \mu_i \rho r_i) \quad (3.4)$$

де  $\pi_i$  – щільність потоку вторинного гамма-випромінювання;

$Q$  – активність джерела;

$R_1, R_2$  – відстані від елемента об'єму  $dV$  до джерела і детектора, відповідно;

$r_2, r_1$  – відстані, які проходяться в пробі відповідно первинним і вторинним випромінюванням;

$K_i$  – коефіцієнт перетворення первинного випромінювання в  $i$ -й вид вторинного;

$\mu, \mu_i$  – масові коефіцієнти ослаблення первинного та  $i$ -го виду вторинного випромінювання, відповідно;

$\rho$  – щільність проби.

Індекс « $i$ », в залежності від виду вторинного випромінювання, може набувати значень: 1 – характеристичного рентгенівського; 2 – некогерентного розсіяного; 3 – когерентного розсіяного.

Сумарний потік вторинного випромінювання  $N_i$  визначається шляхом інтегрування рівняння за об'ємом  $V$  і по області, що займається детектором  $D$  [76].

$$N_i = \frac{Q}{4\pi} \iiint_V \frac{K_i * \rho}{R_1^2 * R_2^2} \exp(-\mu \rho r_2) dV \iint_D \exp(-\mu * \vec{l} * \vec{n}) dS, \quad (3.5)$$

де  $\vec{l}$  – одиничний вектор, що співпадає з напрямом вторинного фотона;

$\bar{n}$  – одиничний вектор, перпендикулярний поверхні  $D$ .

Інтеграл через елементарні функції не виражається, а його чисельне інтегрування є складним, зважаючи на його кратності та багаточисельність параметрів, що визначають вторинне випромінювання. Це привело до появи наближених методів обчислення інтеграла, заснованих на припущеннях, що впливають з геометричних умов вимірювань.

Якщо відстань від джерела і детектора до поверхні проби є більшою лінійних розмірів площадки, що опромінюється, а також з урахуванням колімації первинного випромінювання, інтеграли в формулі можна спростити і після перетворення отримаємо:

$$N = \frac{QR_0^2 h \left[ 1 - \cos(\alpha/2) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha/2) \right]}{8 \left\{ \left[ l - \frac{h}{2} (tg(\alpha + \beta) + tg\beta) \right]^2 + h^2 \right\}^{3/2}} * \varphi, \quad (3.6)$$

де  $R_0$  – радіус детектора;

$h$  – відстань від детектора до проби;

$l$  – відстань від джерела до детектора;

$\alpha$  – кут коліматора джерела;

$\beta$  – кут відхилення пучка первинного випромінювання від вертикальної вісі;

$\varphi$  – функція, що враховує залежність інтенсивності потоку вторинного випромінювання від ядернофізичних властивостей проби, що досліджується.

При дослідженні залежності потоку вторинного гамма-випромінювання від геометричних факторів природно розглядати величину:

$$\bar{N} = \frac{QR_0^2 h \left[ 1 - \cos(\alpha/2) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha/2) \right]}{8 \left\{ \left[ l - \frac{h}{2} (tg(\alpha + \beta) + tg\beta) \right]^2 + h^2 \right\}^{3/2}} \quad (3.7)$$

Формула описує математичну модель, за допомогою якої досліджується область інверсії.

Для зручності обчислень формулу можна записати у вигляді

$$N = \frac{QBh}{\left[(l - hc)^2 + h^2\right]^{3/2}}, \quad (3.8)$$

де

$$\begin{aligned} B &= \frac{1}{8} R_0^2 \left[ 1 - \cos(\alpha/2) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha/2) \right] \\ c &= \frac{\operatorname{tg}(\alpha + \beta) + \operatorname{tg} \beta}{2} \end{aligned} \quad (3.9)$$

Визначимо точку інверсії, використовуючи формулу (3.8), для чого прирівнюємо нулю похідну

$$\frac{\partial \bar{N}}{\partial h} = \frac{QB}{\left[(l - ch)^2 + h^2\right]^{5/2}} \left( 2h^2(1 + c^2) - hlc - l^2 \right) = 0 \quad (3.10)$$

З цієї формули отримуємо

$$2h^2(1 + c^2) - hlc - l^2 = 0 \quad (3.11)$$

Розв'язавши це рівняння щодо  $h$ , знаходимо точку інверсії

$$h_0 = l \frac{2}{\sqrt{8 + 9c^2} - c} \quad (3.12)$$

Рівняння, яке визначає межі області інверсії, має вигляд

$$\bar{N}(h_1) = \bar{N}(h_0)(1 - \delta), \quad (3.13)$$

де  $\delta$  – необхідна точність вимірювання.

Підставляючи значення потоку, отримаємо:

$$\frac{h_1}{\left[(l - h_1 c)^2 + h_1^2\right]^{3/2}} = \frac{h_0(1 - \delta)}{\left[(l - h_0 c)^2 + h_0^2\right]^{3/2}} \quad (3.14)$$

Рівняння разом з умовою дозволяє досліджувати залежність величини області інверсії від геометричних умов вимірювань. Рівняння є нелінійним, тому його розв'язання було виконано чисельно [76].

На рис. 3.6 показано залежність ширини області інверсії від параметрів  $\alpha$  і  $\beta$ .

Аналіз графіка показує, що за наявності одного джерела гамма-випромінювання і похибки вимірювання 5 % найбільша ширина області інверсії має місце при  $\alpha=0^\circ$  і  $\beta=0^\circ$  і складає  $\frac{\Delta h}{l} = 0,4$ .

З метою підвищення точності оперативного контролю якості мінеральної сировини шляхом збільшення ширини інверсійної зони розроблено модель на базі використання сумарного ефекту інверсії.

$$\bar{N} = \frac{Q_1 B_1 h}{\left[(l_1 - h c_1)^2 + h^2\right]^{3/2}} + \frac{Q_2 B_2 h}{\left[(l_2 - h c_2)^2 + h^2\right]^{3/2}}, \quad (3.15)$$

де  $Q_1, Q_2$  – активності джерел;

$l_i$  – відстань джерела  $Q_i$  від осі детектора, ( $i=1,2$ ).

$$B_i = \frac{1}{8} R_0^2 \left( 1 - \cos(\alpha_i / 2) + \frac{1}{2} \sin^2(\alpha_i / 2) \right),$$

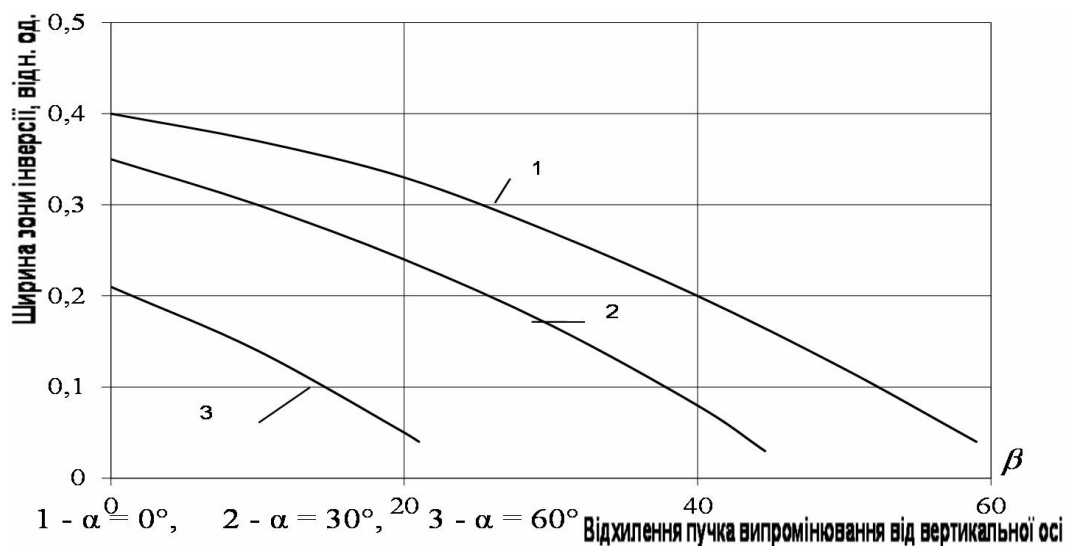


Рис. 3.6. Залежність відносної величини області інверсії від геометричних умов вимірювання

За результатами моделювання отримано основні технічні параметри, які було використано при розробці мікропроцесорної системи оперативного контролю якості і ваги залізної руди на конвеєрі НАКС-ПК. Систему було впроваджено у виробництво на ПАТ «Кривбасзалізрудком» (поверхневий комплекс шахти «Гвардійська»), ПрАТ «ЄВРАЗ СУХА БАЛКА» (поверхневий комплекс шахти «Ювілейна») та в Гірничому департаменті ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг». При роботі систем НАКС-ПК відносна похибка контролю якості становить 2,1 %.

Залежно від конкретного завдання оперативного контролю якості та класу крупності гірничої маси в технологічних потоках застосовуються різні способи обліку і компенсації факторів, що впливають на точність процесу. Наприклад, при класі – 20 мм на конвеєрі використовується бічна геометрія та спеціальний пристрій – пантограф, який дозволяє при зміні товщини шару гірничої маси стабілізувати відстань між джерелом (детектором) випромінювання і контрольованою поверхнею.

Досвід експлуатації пристроїв з контролю якості показав, що наявність пантографів вимагає їх регулярної профілактики, обслуговування і ремонту, що

знижує надійність системи з бічною геометрією вимірювання інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання.

З урахуванням особливості взаємного розташування детектора, джерела з контейнером і гірничої маси при центральній геометрії, реєструється інтенсивність в заінверсійній області векторного поля розсіяного гамма-випромінювання. У зв'язку з цим відповідність інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання до вмісту корисного компонента дотримується в обмеженому інтервалі зміни товщини гірничої маси на конвеєрі. Наприклад, якщо при безперервному контролі якості мінеральної сировини класу –100 мм зміна товщини шару гірничої маси на конвеєрі перевищує +20 мм, це призводить до збільшення похибки вимірювання вище заявленої.

Для вирішення проблеми розширення зони нечутливості інтенсивності інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання в залежності від зміни товщини шару гірничої маси на конвеєрі досліджено геометрію вимірювання інтенсивності та векторне поле розсіяного гамма-випромінювання.

Також з метою підвищення точності безперервного контролю, надійності експлуатації пристроїв, розширення класу крупності контрольованої мінеральної сировини було досліджено векторне поле розсіяного гамма-випромінювання. Результати аналізу математичної моделі центрально-зміщеної геометрії показали, що інтенсивність розсіяного гамма-випромінювання є функцією кута коліматора  $\alpha$ , відстані  $X$  від джерела до поверхні контрольованої гірничої маси, зміщення  $L$  детектора від центру джерела випромінювання, відстані  $H$  від контейнера джерела до детектора, активності  $Q$  джерела випромінювання, вмісту корисного компонента в гірничій масі, коефіцієнта  $K$  ефективності колімації [76].

$$N = f(\alpha, Q, H, X, L, K) \quad (3.16)$$

Кут колімації залежить від коефіцієнта ефективності колімації (КЕК), а КЕК залежить від глибини розміщення джерела в контейнері  $C$  та від діаметра колімаційного каналу  $d$ .

Коефіцієнт ефективності колімації визначається як співвідношення:

$$K = C / d \quad (3.17)$$

Чим меншим є діаметр колімаційного отвору – тим вища ефективність колімації [77].

Таким чином доведено, що для підвищення точності контролю якості залізородної сировини в потоці на конвеєрній стрічці необхідно застосовувати бокову або центральну геометрію виміру та спеціальні стабілізуючі пристрої.

3.4. Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізистих кварцитів в забої, на конвеєрній стрічці та в порошкових пробах

Станом на 2005 р. Держкомітет по запасах України оцінив загальні запаси залізистих кварцитів у 11711,9 млн т. Ці запаси можуть забезпечити функціонування гірничовидобувної та переробної промисловості України ще не одне десятиріччя. Тому їх подальша розробка має вкрай важливе значення для економіки країни.

Контроль якості при розробці родовищ залізистих кварцитів дозволяє отримувати своєчасну інформацію про вміст корисного компонента на всіх основних етапах і в технологічних процесах гірничорудного виробництва та забезпечувати його оптимальні умови. Без контролю якості залізистих кварцитів неможливе функціонування технології управління якістю рудопотоків кар'єрів та залізородних ГЗК.

Дослідження факторів, що впливають на контроль якості залізистих кварцитів, починається з дослідження магнітної сприйнятливості проб.

Формули, за допомогою яких можна розрахувати магнітну сприйнятливість проби по заданій концентрації магнетиту та його магнітної сприйнятливості, співпадають з експериментальними даними в деякому наближенні. Це



пояснюється тим, що питома магнітна сприйнятливість магнетиту ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) може коливатися в межах  $(0,63-1,2) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$  через присутність ізоморфних домішок міді, цинку, марганцю та інших металів [78,79].

Значний вплив на вимірювання має форма, структура та розміри зерен магнетиту, що впливає на його магнітну сприйнятливість та коерцитивну силу. Крім того, зміни текстури та структури руд (зерна магнетиту в немагнітному цементі, або немагнітні зерна в магнетитовому цементі) також впливають на магнітну сприйнятливість гірничої маси. На точність вимірювань впливає зміна провідності магнетиту, яка коливається в межах  $10^{-1}-10^{-2} \text{ см/м}$ , провідність немагнітних металів та вологість контрольованої проби [80].

У навої соленоїдного типу однорідне магнітне поле можна створити тільки при співвідношенні довжини та діаметру навою  $l/d \geq 50$ . Зміна індуктивності відбувається при внесенні магнетиту в порожнину датчика, або при розміщенні зонда в масиві залізистих кварцитів [81].

Відомо, що електромагнітні характеристики магнетиту залежать від температури породи, частоти та напруженості магнітного поля [82].

При вимірах якісних характеристик залізистих кварцитів для забезпечення необхідного рівня точності треба обов'язково вводити корекцію по температурі оточуючого середовища та забезпечити постійну величину струму через навій індуктивного датчика.

Основні залежності, які відображують взаємозв'язок питомого опору з напругою електричного поля та температурою середовища наведено на рис. 3.7; залежність питомої магнітної сприйнятливості  $\chi$  руди від зовнішнього намагнічування поля  $H$  – на рис. 3.8, частотна залежність питомого опору магнетитових кварцитів – на рис. 3.9. Ці залежності було отримано при проведенні випробувань залізистих кварцитів Криворізького залізрудного басейну в лабораторних умовах.

На точність вимірювань якісних показників залізистих кварцитів впливає надійність кореляційного зв'язку між вимірюваною магнітною сприйнятливістю

та вмістом магнетиту, а також надійність цього зв'язку в межах родовища, ділянок, блоків [80].

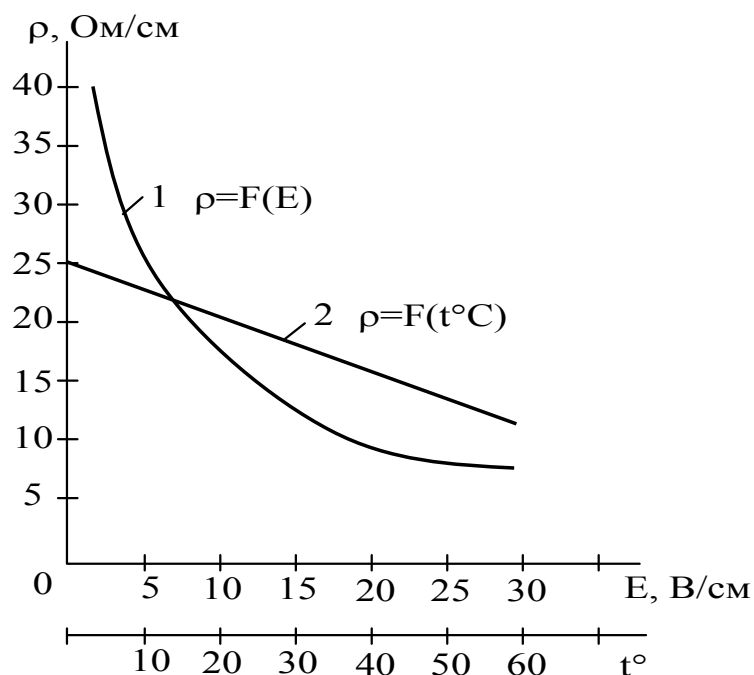


Рис. 3.7. Залежність питомого опору залізних руд:

1 – від напруги електричного поля; 2 – від температури

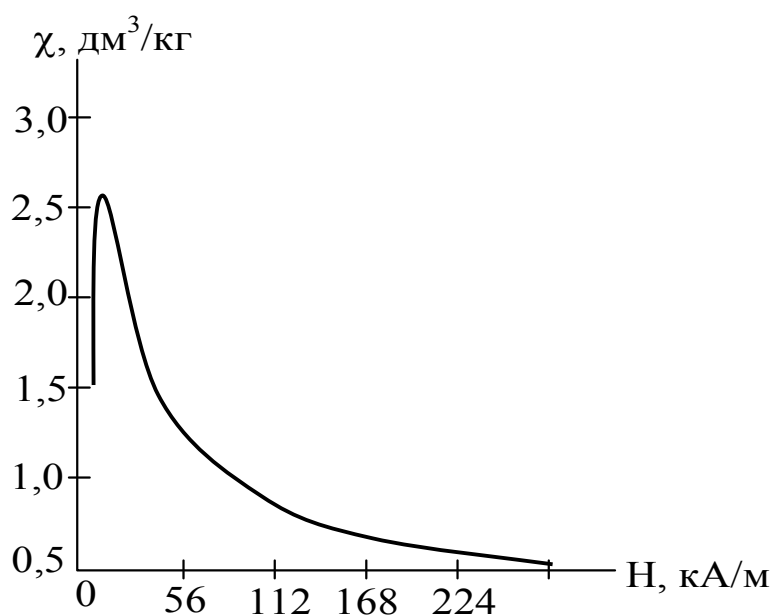


Рис. 3.8. Залежність питомої магнітної сприйнятливості  $\chi$  руди від зовнішнього намагнічування поля  $H$

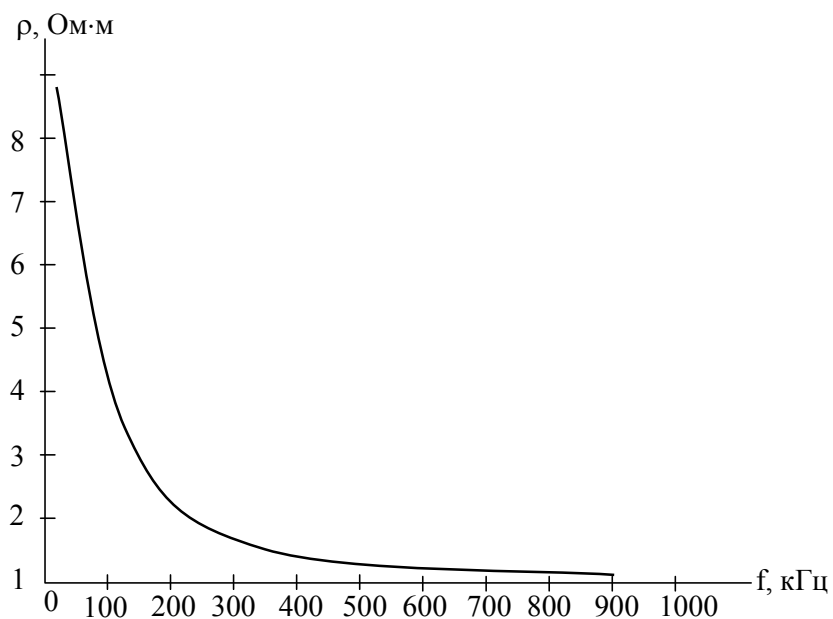


Рис. 3.9. Частотна залежність питомого опору магнетитових кварцитів [81]

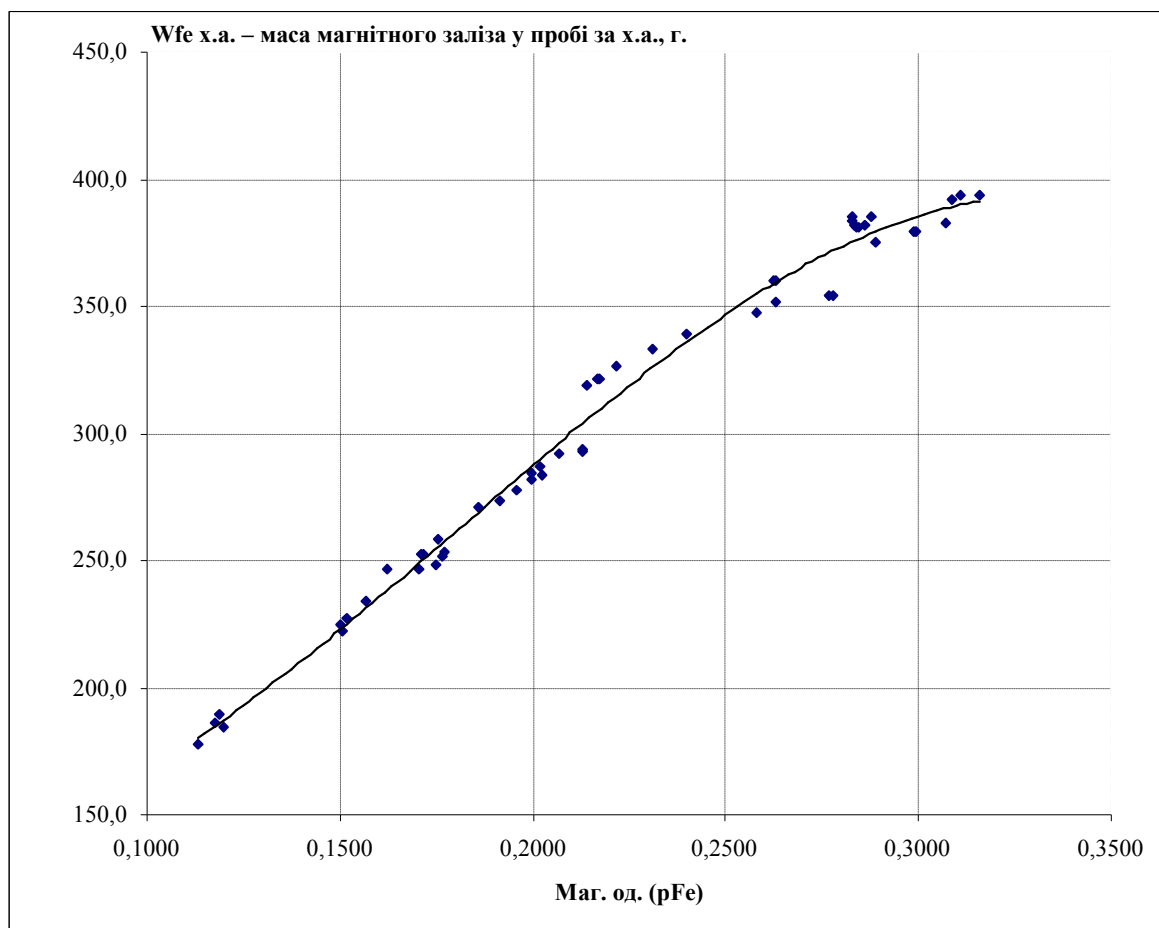


Рис. 3.10. Зв'язок магнітної сприйнятливості проб з даними хімічного аналізу вмісту заліза магнітного

Залежність, наведена на рис. 3.10, описується рівнянням

$$y = -20012x^3 + 10920x^2 - 676.4x + 146.05$$

Надійність апроксимації  $-R^2=0,98$

Встановлені фактори, що впливають на точність вимірювань:

- мінливість магнітної сприйнятливості внаслідок мінливості структури та текстури магнетитової руди;
- зміна насипної ваги проби;
- температура навколишнього середовища на питомий опір проби, навою індуктивного датчика та інших деталей генератора;
- гранулометричний склад матеріалу проби;
- залежність характеристик магнетиту від напруги магнітного поля;
- провідність та вологість проби [74].

Для більших за розміром фракцій були експериментально отримані дані на РЗФ-2 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на вихідній руді крупністю до 20 мм.

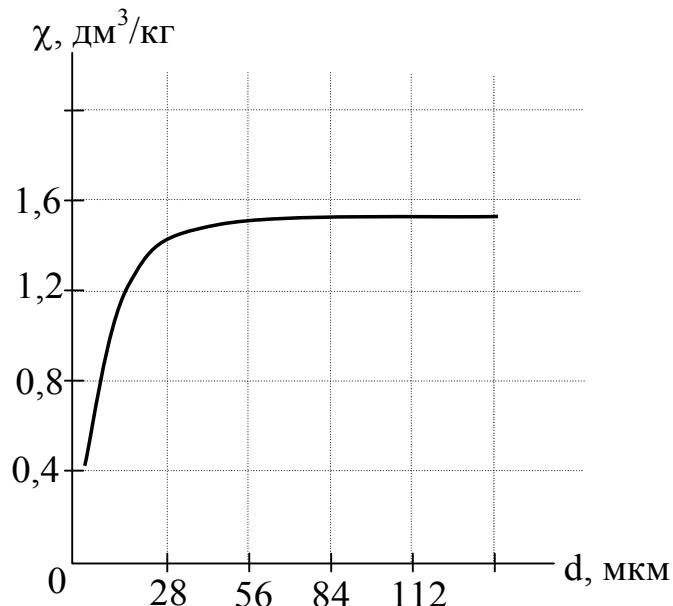


Рис. 3.11. Вплив гранулометричного складу на питому магнітну сприйнятливість дрібних фракцій

Для досліджень було відібрано пробу масою 22,5 кг з конвеєра РЗФ-2 ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», розсіяну за крупністю на 7 фракцій [80].

Магнітна сприйнятливість кожної фракції визначалася пристроєм з контролю якості ДЖМ-1. Потім ці фракції були додатково подрібнені до крупності  $<1$  мм і вимірювання магнітних властивостей цих фракцій було виконано повторно. Результати досліджень наведено на рис. 3.12.

Очевидно, що магнітна сприйнятливість фракцій зменшилася в рази, але їх властивості після подрібнення мало відрізняються між собою (крива 2 на рис. 3.12). Пік на кривій 2 свідчить про те, що фракція  $+16$  мм містить більше магнетиту, ніж інші.

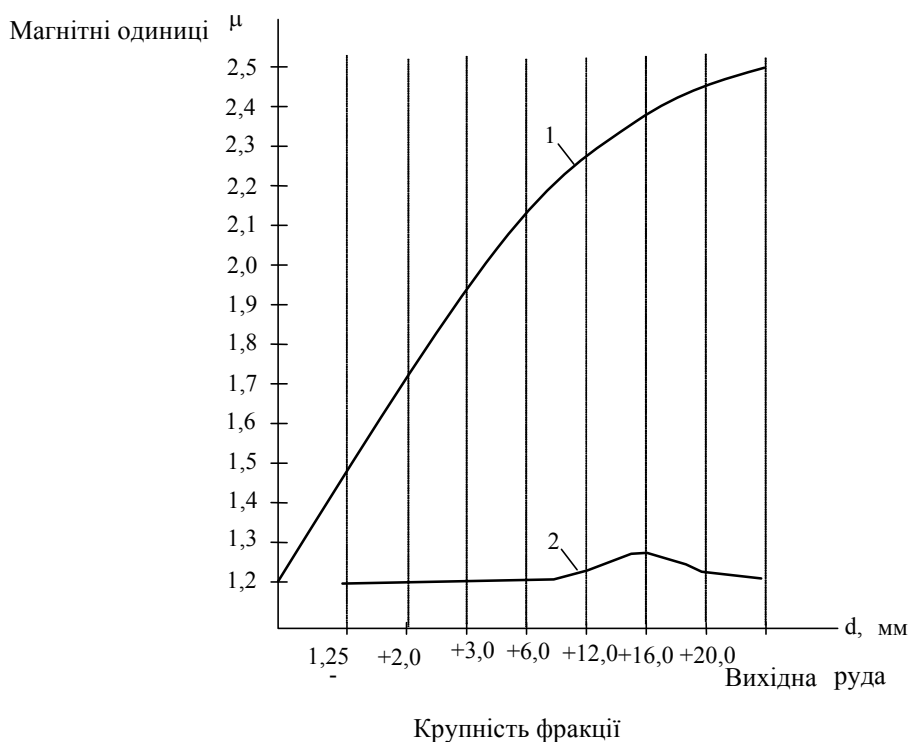


Рис. 3.12. Залежність магнітної сприйнятливості фракції вихідної руди від крупності матеріалу: 1 – розсів вихідної руди на фракції; 2 – ті ж фракції після подрібнення до крупності  $<1$  мм.

На підставі отриманих даних було розроблено калібрувальні характеристики для матеріалу крупністю  $<1$  мм;  $<3$  мм;  $<5$  мм та введено в пам'ять системи безперервного контролю ДЖМ-К (рис. 3.13) [84].

Відомо, що роздільне детектування матеріалів різної крупності значно підвищує точність вимірювань.

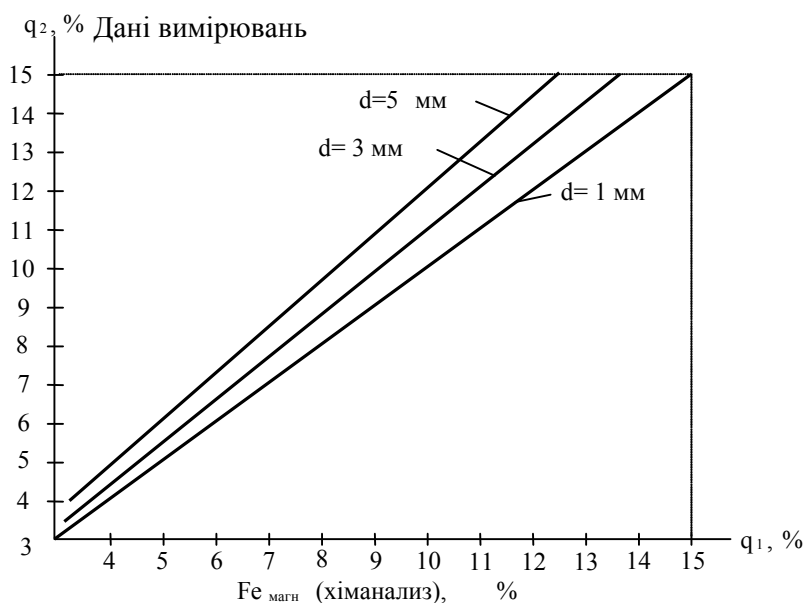


Рис. 3.13. Калібрувальні криві, що враховують вплив крупності матеріалу на точність вимірювань для руди РЗФ-2 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Однак збільшення крупності матеріалу збільшує середньоквадратичне відхилення з 0,53 до 0,61 при зміні крупності від 1 мм до 5 мм.

Одним із «перешкоджаючих» чинників при контролі якості залізистих кварцитів є вологість. При відомій провідності гірничої маси зміна параметрів індуктивного датчика може бути розрахована за опором, що вноситься

$$R = r_m \frac{\omega^2 M^2}{Z_m^2}, \quad (3.18)$$

де  $r_m$  – активний опір маси феромагнетика;

$M$  – взаємна індуктивність між вимірювальним навоєм при проходженні в ньому струму та пробой залізородної сировини;

$\omega$  – кругова частота напруги живлення;

$Z_m$  – повний опір проби.

Мінеральний склад руди та її вологість носять випадковий характер, тому прогнозувати їх точне значення – неможливо.

Частотно-вологісні характеристики магнетитового залізорудного концентрату для області (0,5–15) кГц наведено на рис. 3.14.

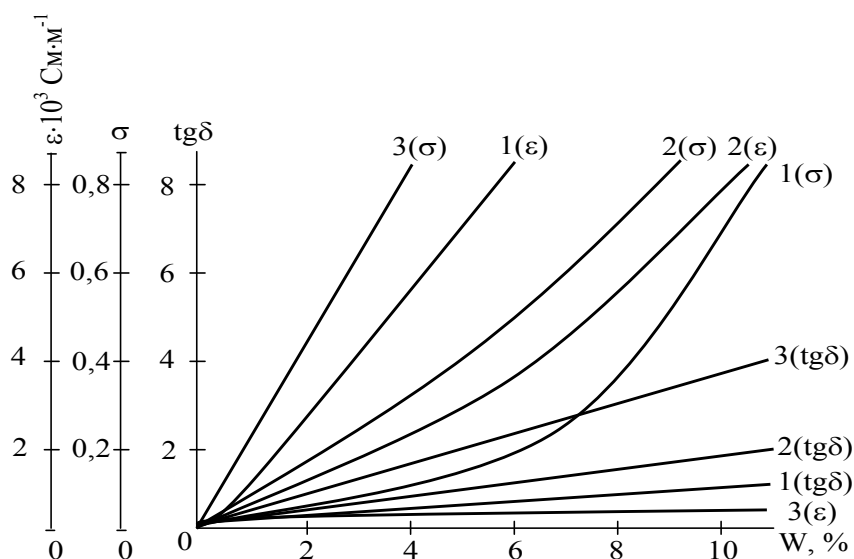


Рис. 3.14. Частотно-вологісні характеристики магнетитового залізорудного концентрату при частоті 1 – 0,4 МГц; 2 – 1,6 МГц; 3 – 15 МГц, де  $\varepsilon$  – діелектрична провідність;  $\sigma$  – електрична провідність;  $\operatorname{tg} \delta$  – кут діелектричних втрат;  $W$ , % – вологість проби

Також було проведено дослідження впливу вологості проби на точність контролю якості залізистих кварцитів. Для досліджень відбиралася вихідна повітряно-суха проба з вмістом заліза магнітного  $q=21,83$  %.

Застосовувався наступний порядок досліджень впливу вологості проби на точність контролю якості залізистих кварцитів: виконувалося вимірювання вмісту заліза магнітного на пристрої з контролю якості ДЖМ-3, потім проба висипалася на лоток, додавалося 2 % вагових відсотка води, після ретельного перемішування та досягнення однорідного складу отримана маса засипалася в мірну кювету, після чого проводилося вимірювання зволоженої проби. Вимірювання були здійснені в діапазоні вологості  $W=(0-12)$  % [85]. Дані проведених досліджень відображено в табл. 3.2.

Відомо, що від точності вимірювання магнітної сприйнятливості залежить загальний показник точності вимірювань заліза, пов'язаного з магнетитом. Також

відомо, що магнетит відноситься до провідників, показник його опору коливається в межах  $10^{-2}$ – $10^{-1}$  см/м.

Таблиця 3.2

Вплив вологості проб залізистих кварцитів на точність вимірювань магнітної сприйнятливості

| Вологість $W$ , % | Вага проби, кг | Магнітних одиниць відносних | Вміст $Fe_{\text{магн}}$ , % |
|-------------------|----------------|-----------------------------|------------------------------|
| 0                 | 1,300          | 0,1658                      | 21,83                        |
| 2                 | 1,089          | 0,1346                      | 22,55                        |
| 4                 | 1,015          | 0,1242                      | 22,70                        |
| 6                 | 1,022          | 0,1256                      | 22,77                        |
| 8                 | 1,066          | 0,1291                      | 22,18                        |
| 10                | 1,194          | 0,1430                      | 21,43                        |
| 12                | 1,350          | 0,1606                      | 20,56                        |

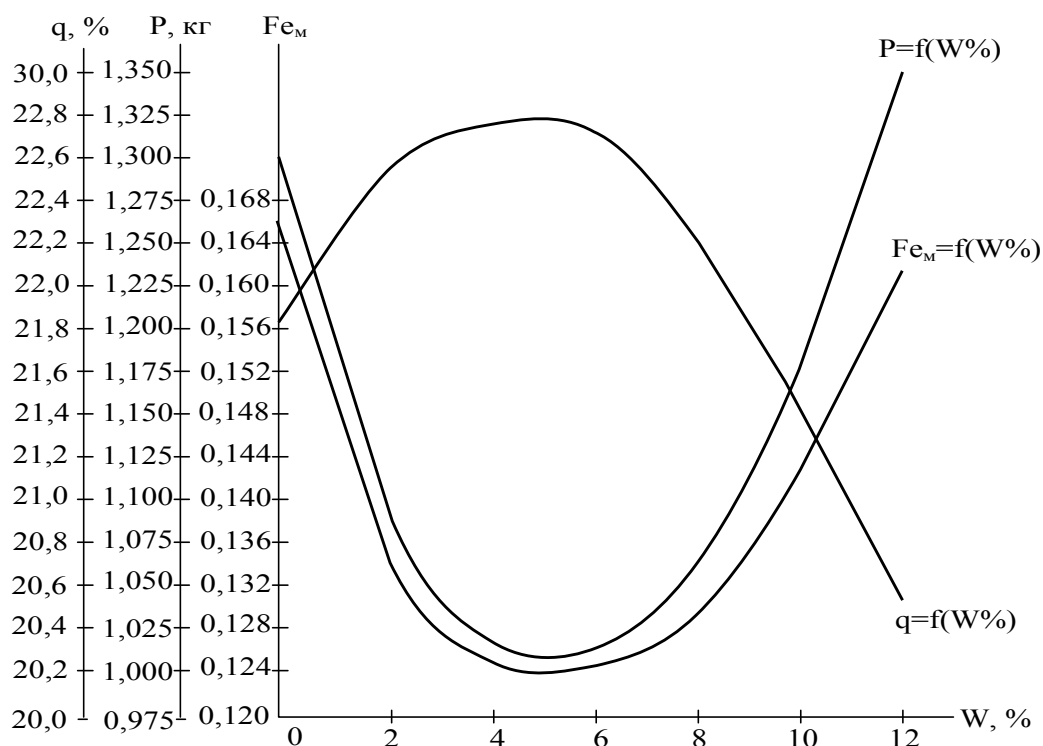


Рис. 3.15. Вплив вологості ( $W$ , %) проби на показання вагового ( $P$ , кг) і магнітного датчика ( $Fe_{\text{магн}}$ ) та на вихідний сигнал ( $q$ , %) пристрою ДЖМ-3



Аналіз даних табл. 3.2 показує нерівномірність впливу вологості на точність вимірювань вмісту заліза, пов'язаного з магнетитом. При цьому залежність є нелінійною, на рис. 3.15 максимум вихідного сигналу пристрою ДЖМ-3 при вимірюванні магнітної сприйнятливості спостерігається в діапазоні вологості 4–6 %, що необхідно враховувати, як при калібруванні пристроїв з контролю якості, так і при підготовці проб до вимірювання вмісту корисного компонента [85].

### 3.5. Дослідження технологічних факторів, що впливають на якість залізозмісної сировини рудопотоків

Нестабільність процесу видобутку руди та нерівномірний розподіл якості в рудних забоях є однією з причин коливання вмісту корисного компонента в рудопотоках залізорудних кар'єрів, які формуються [86].

До технологічних факторів, що впливають на якісні показники рудопотока, відносяться:

- розподіл якості у видобувних забоях;
- співвідношення мінімального та максимального значень вмісту корисного компонента у видобувних забоях;
- обсяг підготовленої до виїмки рудної маси;
- динаміка зміни якісних характеристик у видобувних блоках по мірі їх відпрацювання;
- гранулометричний склад рудної маси видобувних блоків;
- кількість робочих видобувних забоїв;
- ритмічність та синхронність початку роботи виймального та транспортного устаткування;
- відстань транспортування й особливості організації транспортних схем кар'єру;
- наявність або відсутність внутрішньокар'єрних усереднювальних складів;
- наявність засобів або систем оперативного контролю якості на основних етапах та в технологічних процесах гірничого виробництва;

- наявність систем гірничо-транспортної диспетчеризації;
- задане значення вмісту корисного компонента в рудопотоці, що формується, і допустима величина середньоквадратичного відхилення фактичної величини вмісту від планового значення.

Розподіл якості в підготовлених видобувних забоях виражається в наявності відомостей про показник вмісту корисного компонента. Дана величина є базовою при розробці плану з видобутку, а також тижнево-добових завдань. Цей показник є основоположним, початкове його значення отримують в процесі геологорозвідки і картування родовища, і підтверджують дорозвідкою (каротажем) виймальних блоків та оперативним контролем підірваної гірничої маси в забоях.

Обсяг підготовленої до виїмки рудної маси також є найважливішим технологічним показником при формуванні рудопотоків кар'єру, оскільки шихтувальне завдання розв'язується на підставі, як якісних, так і кількісних характеристик забоїв.

Необхідний і мінімальний обсяг підготовленої до виїмки рудної маси є розрахунковою величиною, яка враховується при плануванні гірничих робіт.

Динаміка зміни якісних характеристик та розподіл якості у видобувних блоках є основою для планування зміни вмісту корисного компонента по мірі відпрацювання видобувного забою і є однією з характеристик технологічного контролю видобутку. Дані про динаміку можуть бути отримані методами геофізичного контролю в процесі розробки кар'єру із застосуванням переносних пристроїв з контролю якості.

Гранулометричний склад видобувних блоків є однією з основних характеристик якості виконання буро-вибухових робіт. Від гранскладу і виходу негабариту залежить продуктивність виймального обладнання в забої кар'єру, що безпосередньо впливає на якісно-кількісні характеристики рудопотоку, який формується.

Ритмічність роботи виймального і транспортного обладнання та її вплив на формування рудопотоку кар'єра виражається в наступному. Синхронність початку

роботи видобувних забоїв визначається не тільки часом підготовчо-кінцевих операцій, але й технічним станом виймального та транспортного обладнання. При вирішенні шихтувального завдання, котре розподіляє обсяги, передбачається, що всі забої починають роботу одночасно. В реальних умовах цього немає. Більше того, різночасність початку роботи у видобувних забоях є одним з факторів, що впливають на розбіжність розрахункових і фактичних значень якості рудопотоків кар'єрів. У даний час в залізрудних кар'єрах України підготовчо-кінцеві операції намагаються звести до мінімуму, підвищуючи показник коефіцієнта використання обладнання і знижуючи розбіжність між розрахунковим і фактичним часом початку роботи обладнання в забоях.

Ритмічність роботи видобувного устаткування протягом зміни залежить від ступеня зношеності екскаваторів і транспортних засобів, а також від ефективності диспетчерського управління гірничо-транспортним комплексом. На ритмічність роботи обладнання суттєво впливає наявність на підприємстві системи гірничо-транспортної диспетчеризації та рівень її автоматизації.

Відстань транспортування й особливості транспортних схем кар'єру мають безпосередній вплив на формування рудопотоку, тому що кількість одиниць транспорту є прямо пропорційною дальності перевезення. Особливості транспортних схем мають вплив на час рейсу, і, отже, на кількість транспортних засобів в технологічному ланцюжку. При цьому: чим більше транспортних засобів задіяно, тим нижчою є надійність комплексу обладнання та, вищою ймовірність виходу з ладу та порушення розрахункового обсягу, необхідного для формування рудопотоку.

Наявність або відсутність внутрішньокар'єрних усереднювальних складів також є важливим технологічно фактором. Усереднювальний склад може мати запас від декількох змін до кількох діб. При цьому, в залежності від об'єму і якісних характеристик, він відіграє роль фільтра, що згладжує коливання якості, які виникають при неритмічності роботи видобувних забоїв або в разі повної зупинки деяких з них. Досить ефективним є використання внутрішньокар'єрних

усереднювальних складів в процесі динамічної стабілізації якості рудопотоків [87].

Наявність приладів та систем оперативного контролю якості на основних етапах гірничого виробництва дозволяє формувати рудопотік на підставі достовірних відомостей в режимі реального часу, а в разі зміни ситуації – приймати управлінські рішення з мінімальними втратами для виробництва.

Величина вмісту корисного компонента та допустимий діапазон його коливань, який обумовлений середнє квадратичним відхиленням, задається вимогами збагачувального виробництва [88]. Ймовірність формування рудопотоку, який відповідає розрахунковим значенням, залежить від кількох основних чинників, до яких належать:

- співвідношення мінімального та максимального значень вмістів корисного компонента в підготовлених рудних забоях;
- загальна кількість рудних забоїв з вмістом корисного компонента, відповідним розрахунковому вмісту в рудопотоці;
- задана величиною середньоквадратичного відхилення, тобто – фактично гранична величина амплітуди допустимих коливань якості в рудопотоці.

Ймовірність формування рудопотоку зі значеннями вмісту корисного компонента, що відповідають розрахунковим, є зворотно пропорційною заданій величині середньоквадратичного відхилення.

На рис. 3.16–3.17 наведено фактичні показники середньодобових значень вмісту корисного компонента ( $Fe_{\text{магн.}}$ ) в сформованому рудопотоці залізорудних кар'єрів №2 та №3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

Велика кількість взаємопов'язаного обладнання, різний вміст корисного компонента у видобувних забоях, значні відстані транспортування корисних копалин, високий рівень зносу технологічного обладнання, частий вихід його з ладу обумовлюють аритмічність технологічних процесів в кар'єрі, що призводить до значних відхилень фактичних показників роботи за якісними і об'ємними показниками від заданих [89].

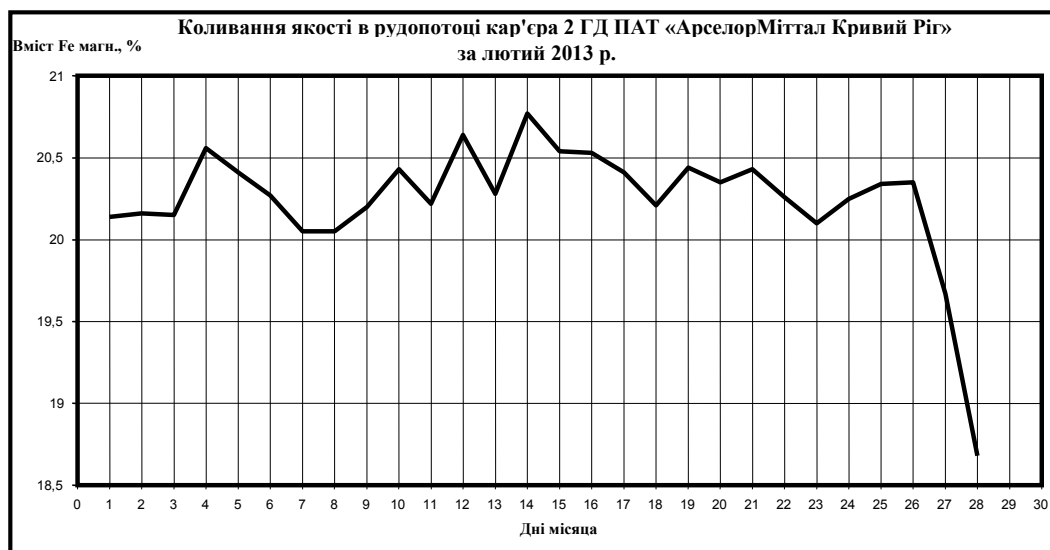


Рис. 3.16. Коливання якості рудопотоку кар'єра №2 Гірничого Департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за лютий 2013 р.

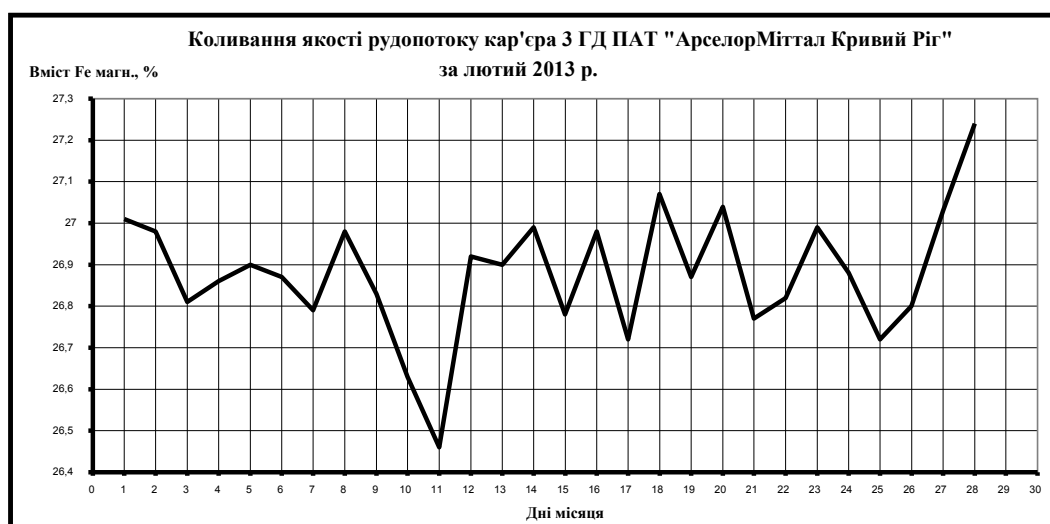


Рис. 3.17. Коливання якості рудопотоку кар'єру №3 Гірничого Департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за лютий 2013 р.

Аналіз фактичних середньодобових значень вмісту корисного компоненту (заліза магнітного) наявно демонструє значні амплітудні коливання якості рудопотоків. При цьому зі зменшенням періоду дослідження амплітуда та частота коливань сировинної якості тільки зростають.

### 3.6. Вивчення ступеня впливу нестабільності якості залізовмісної сировини фінального рудопотоку на показники збагачення

Відомо, що фінальний рудопотік залізорудного кар'єру або групи кар'єрів фактично є вхідною рудою збагачувального виробництва. Стабілізація якісних показників фінальних рудопотоків є важливою та актуальною виробничою проблемою, тому що це забезпечує стабілізацію вхідної сировини рудозбагачувальної фабрики. Оптимізація процесу збагачення, заснована на стабільності вмісту корисного компонента у вхідній руді, дасть безумовний ефект, що виражається, перш за все, у відповідних показниках виходу концентрату з руди  $\gamma$ , вилучення корисного компонента в концентрат  $\epsilon$  та вмісту корисного компонента в концентраті  $\beta$  [90].

Режими збагачення, за яких відбувається оптимальний вихід концентрату із заданими якісними показниками, можуть бути отримані при певних показниках вмісту корисного компонента у вхідній руді. Робота в таких режимах збагачення дозволяє не тільки отримувати концентрат з найбільш прийнятними значеннями за якістю, але й мінімізувати втрати корисного компонента у хвостах, заощадити електроенергію, воду, футерування та кулі млинів, що також позитивно позначиться на загальних техніко-економічних показниках виробництва.

Вимога до стабільності якісних показників обумовлюється, перш за все тим, що сучасні збагачувальні фабрики є високоінерційними системами, робота яких є найбільш ефективною при постійних показниках вмісту корисного компонента, які відповідають плановим значенням [91].

Оптимальні показники режиму збагачення за величиною вилучення та втрат у хвостах залежать не тільки від якості рудної сировини, а й від її стабільності в потоці.

На рис. 3.18–3.21 наведено динаміку зміни вмісту корисного компонента у вхідній руді збагачувального виробництва. Вхідна руда, що надходить на збагачувальну фабрику, є інтегрованим продуктом сформованого фінального рудопотоку.

Аналіз даних графіків показує, що крім ПАТ «Полтавський ГЗК», який має відносну стабільність в показниках вмісту корисного компонента за магнітним залізом, усі інші залізородні ГЗК України мали тенденцію збільшити його вміст у вхідній руді.

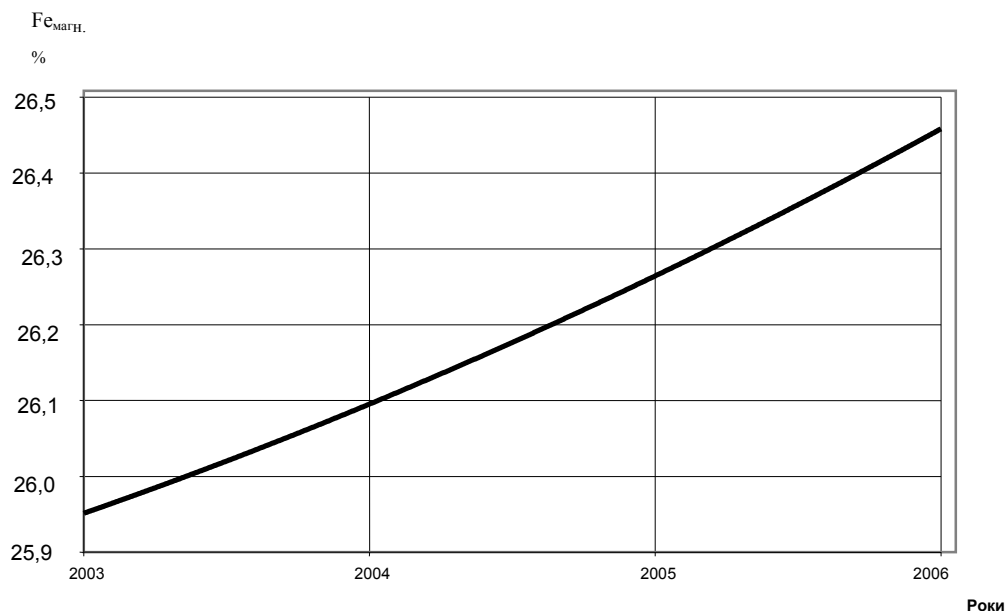


Рис. 3.18. Динаміка зміни вмісту корисного компонента  $Fe_{\text{магн.}}$  у вхідній руді РЗФ  
ПАТ «Північний ГЗК»

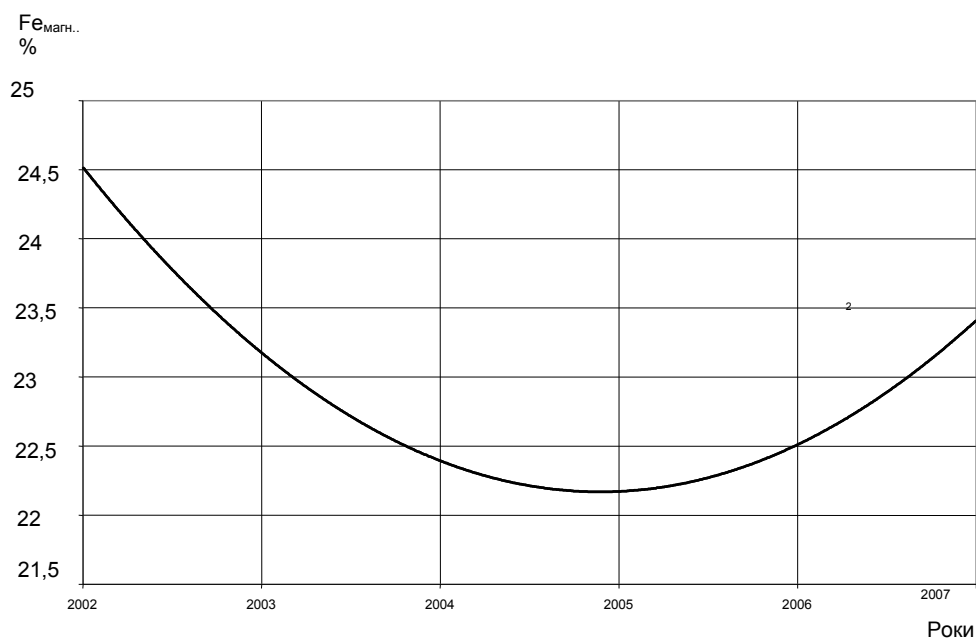


Рис. 3.19. Динаміка зміни вмісту корисного компонента  $Fe_{\text{магн.}}$  у вхідній руді  
ПАТ «Полтавський ГЗК»

На перший погляд позитивний процес має ряд явно негативних моментів, тому що свідчить про вибіркове відпрацювання найбільш багатих ділянок родовищ, при цьому процес динамічної стабілізації якісних показників в рудопотоках, як правило, – відсутній.

Даний підхід є помилковим, оскільки економічними передумовами розвитку та подальшого вдосконалення процесів збагачення є можливість розширення сировинної бази за рахунок зниження бортового вмісту і залучення в процес збагачення бідних руд.

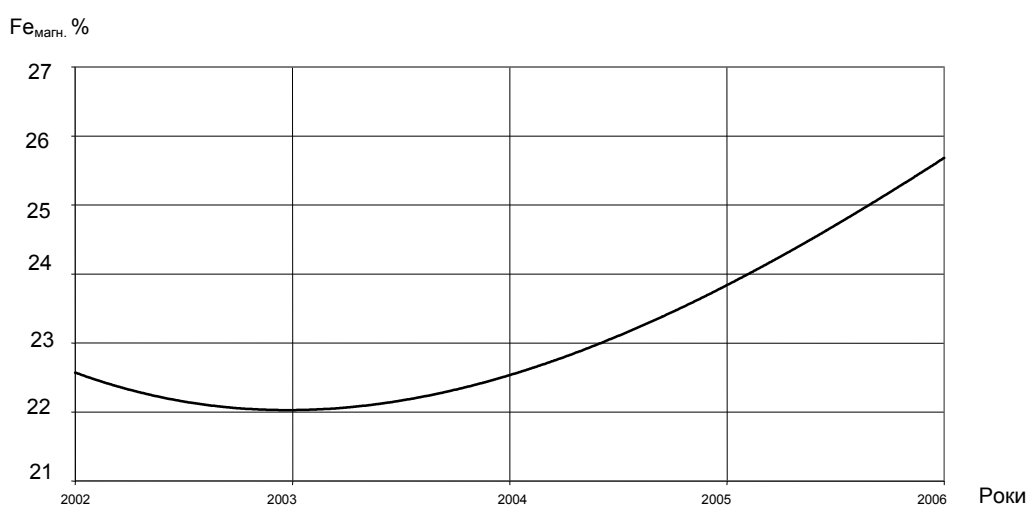


Рис. 3.20. Динаміка зміни вмісту корисного компонента  $Fe_{\text{магн.}}$  у вхідній руді  
ПрАТ «Центральний ГЗК»

У питанні зниження собівартості виробництва і, зокрема, процесу збагачення, необхідно звернути особливу увагу на додаткову розвідку (каротаж) видобувних блоків з метою виключення з процесу видобутку та транспортування некондиційних руд, а також активніше впроваджувати у виробничий процес схеми попереднього збагачення, що дозволяють відсікати некондиційну гірничу масу від подальших процесів її переробки [92].

Процес усереднення та стабілізації якісних показників фінальних рудопотоків є неможливим без застосування опробування за вмістом корисного компонента на всіх етапах гірничого виробництва.



Недостатня кількість коштів та систем контролю на залізорудних ГЗК України, або ж наявність їх застарілих аналогів, не дозволяє отримувати своєчасну і достовірну інформацію про якість гірничої маси та продуктів збагачення, що істотно знижує ефективність процесу управління якістю в умовах гірничо-збагачувального виробництва і формування рудопотоків із заданими якісними характеристиками

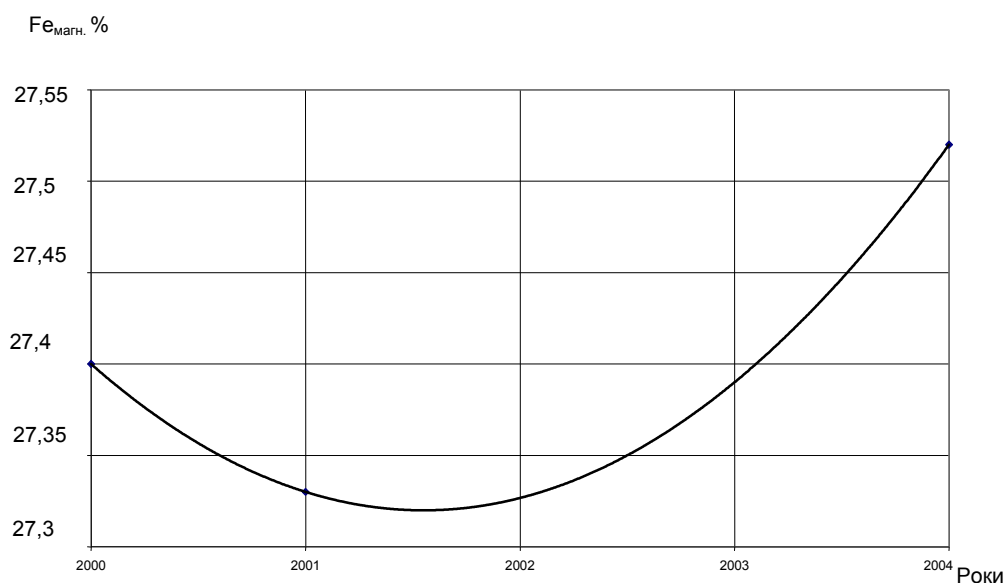


Рис. 3.21. Динаміка зміни вмісту корисного компонента  $Fe_{\text{магн.}}$  у вхідній руді ПАТ «Південний ГЗК»

Це в свою чергу знижує якісні характеристики вхідної руди збагачення, призводить до значних амплітудних коливань вмісту корисного компонента, що в подальшому негативно впливає на основні показники процесу переробки, призводить до збільшення витрат і загального зростання собівартості виробництва залізорудного концентрату.

Для оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру застосовується відомий раніше комплексний критерій  $F$ , який в тому числі враховує величину втрат внаслідок коливань якості, тобто, від того, наскільки великою є різниця між розрахунковим і фактичним показником виходу концентрату [41].

$$F = (C_1 + C_2 + C_3) \times Q_n + (\gamma_p - \gamma_\phi) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min, \quad (3.19)$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – собівартості при видобутку, транспортуванні та подрібненні 1 т руди, грн/т;

$Q_n$  – втрати руди внаслідок коливань якості, т;

$\gamma_p, \gamma_\phi$  – розрахунковий і фактичний показник виходу концентрату на збагачувальній фабриці;

$Q_p$  – фактичний обсяг руди, що надходить на збагачення, т;

$C_4$  – собівартість збагачення, грн/т.

Якісні показники фінального рудопотоку впливають на процес збагачення, загальні витрати якого описує права частина виразу (3.19)

$$(\gamma_p - \gamma_\phi) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (3.20)$$

Виходячи з балансної формули, відомо, що величина виходу концентрату при збагаченні – прямо пропорційна величині вмісту корисного компонента у вихідній руді

$$\gamma = \varepsilon \frac{\alpha}{\beta}, \quad (3.21)$$

де  $\varepsilon$  – витяг, частки од.,

$\alpha$  – в.к.к. у руді;

$\beta$  – в.к.к. у концентраті.

З виразу (3.21), якщо прийняти за умовно-постійні величини витяг  $\varepsilon$  та в.к.к. у концентраті  $\beta$ , і позначити відповідно:

$\alpha_{\text{факт.}}$  – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці;

$\alpha_{\text{план.}}$  – плановий вміст корисного компонента на збагачувальній фабриці, то тоді на основі виразу (3.20) можна записати:

$$\left( \varepsilon \frac{\alpha_{\text{факт.}}}{\beta} - \varepsilon \frac{\alpha_{\text{план.}}}{\beta} \right) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (3.22)$$

або

$$(\alpha_{\text{факт.}} - \alpha_{\text{план.}}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (3.23)$$

З виразу (3.23) очевидно, що, чим меншою буде різниця між фактичним показником вмісту корисного компонента фінального рудопотока і запланованим його значенням у вихідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення. Таким чином, відповідність якісних показників сформованого фінального рудопотоку безпосередньо вплине на собівартість збагачення. Зниження собівартості найбільш витратного процесу гірничорудного виробництва – збагачення дозволить в результаті підвищити прибуток всього гірничо-збагачувального комбінату.

За даними асоціації «Укррудпром», в 2016 р. залізорудні гірничо-збагачувальні комбінати Кривбасу загалом видобули 112,6 млн т руди (табл. 3.3) та виробили 49,88 млн т концентрату

Таблиця 3.3

Основі показники виробництва гірничо-збагачувальних комбінатів  
Криворізького залізорудного басейну за 2016 р.

| Наменування ГЗК                | Видобуток руди, млн т | Концентрат, млн т | Окатиши, млн т | Агломерат, млн т |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------|----------------|------------------|
| ПрАТ «Північний ГЗК»           | 25,97                 | 11,64             | 8,88           |                  |
| ПрАТ «Центральний ГЗК»         | 12,43                 | 5,22              | 2,3            |                  |
| Гірничий департамент ПАТ«АМКР» | 20,76                 | 8,96              |                | 10,5             |
| ПАТ «Південний ГЗК»            | 24,64                 | 11,28             |                | 2,09             |
| ПрАТ «Інгулецький ГЗК»         | 28,8                  | 12,78             |                |                  |
| Всього                         | 112,6                 | 49,88             | 11,18          | 12,59            |

Розрахуємо втрати концентрату залізорудних ГЗК Кривбасу від амплітудних та часових коливань сировинної якості фінальних рудопотоків, що є вхідною рудою для збагачувального виробництва.

Відомо, що:

$$Q_{\text{конц.}} = \gamma_{\text{факт.}} \times Q_p \quad (3.24)$$

де  $Q_{\text{конц.}}$  – обсяг концентрату, що виробляється з руди;

$\gamma_{\text{факт.}}$  – фактичний вихід концентрату;

$Q_p$  – обсяг руди фінального рудопотоку, що надходить на збагачувальне виробництво

З урахуванням різниці між фактичним та розрахунковим показником виходу, зниження обсягів виробництва концентрату можна виразити через формулу:

$$\Delta Q_{\text{конц.}} = (\gamma_{\text{розр.}} - \gamma_{\text{факт.}}) \times Q_p \quad (3.25)$$

або з урахуванням (3.23) можна записати

$$\Delta Q_{\text{конц.}} = (\alpha_{\text{факт.}} \frac{\varepsilon}{\beta} - \alpha_{\text{план.}} \frac{\varepsilon}{\beta}) \times Q_p. \quad (3.26)$$

При цьому зрозуміло, що втрати концентрату в абсолютному вираженні будуть тим меншими, чим буде меншою різниця між фактичним та плановим значеннями вмісту корисного компоненту фінального рудопотоку гірничо-збагачувального комбінату.

Виходячи з показників  $\alpha=35\%$ ,  $\varepsilon=84,5\%$ ,  $\beta=65\%$ ,  $Q_p=112,6 \times 67,7\%=76,23$  млн т руди, яку було використано для виробництва концентрату (67,7% – це частина руди, яка пішла на переробку в концентрат).

Тому, підставляючи значення у (3.26), отримуємо показник втрат концентрату для ГЗК Кривбасу при відхиленні на 1% від заданих значень вмісту

корисного компоненту фінального рудопотоку в сумі 990990 тис. т концентрату за рік.

Виходячи з середньомісячного показника ціни на концентрат в квітні 2016 р. 65 долл. США за 1 т, розмір фінансових втрат складає 64414350 дол. США, або 1650939790 грн. за офіційним курсом НБУ на той період [32].

### 3.7. Дослідження парних операційних перевантажувальних вузлів у ланцюзі стабілізації сировинної якості при формуванні бінарного рудопотоку

На даний час на залізрудних кар'єрах з технологією ЦПТ розвантаження гірничої маси в приймальний отвір здійснюється автосамоскидами в почерговому режимі, тобто кожен автосамоскид здійснює розвантаження окремо. Дискретні обсяги рудної маси, потрапляючи в рудоспуск, змішуються в ньому в процесі переміщення зверху вниз. При цьому руда із забоїв з мінімальним і максимальним вмістом корисного компонента має найбільший вплив на коливання якості в сформованому рудопотоці кар'єру [95].

Необхідність стабілізації якісних показників рудопотоку є важливим виробничим завданням, обґрунтованим вимогами технології збагачення.

Одним зі способів згладжування коливань якості залізрудної сировини є застосування методу парного розвантаження, метою якого є стабілізація показників якості рудопотоків кар'єру за рахунок розвантаження транспортних засобів, що доставляють руду із забоїв з максимальним і мінімальним вмістом корисного компонента [95].

Завдання організації парного розвантаження може вирішуватися наступним чином. Розглянемо приклад кар'єру з певною кількістю забоїв. Розподіл вмісту корисного компонента в гірничій масі по забоям є нерівномірним, він змінюється від мінімального ( $q_{min}$ ) до максимального ( $q_{max}$ ) значень. Для того, щоб стабілізувати якість залізрудної сировини щодо корисного компонента на вході збагачувальної фабрики, ми повинні об'єднати кілька потоків руди, що виходять з окремих екскаваторних забоїв. При цьому поєднання потоків з найменшим і

найбільшим вмістом корисного компонента дозволить виключити екстремальні викиди за величиною вмісту корисного компонента.

Об'єднання одиничних потоків з мінімальним і максимальним вмістом корисного компонента в руді з метою стабілізації якісних показників відбувається за умови одночасного розвантаження автосамоскидів в приймальну воронку ЦПТ.

Для оцінювання усереднення якості розглянемо значення середнє квадратичних відхилень окремих одиничних потоків руди [90].

Величина коливань якості  $i$ -го одиничного потоку на різних частотах визначається його спектральною щільністю та характеризується середнє квадратичним відхиленням:

$$\sigma_i = \sqrt{\int_{q_{\min i}}^{q_{\max i}} S_i(q) dq}, \quad (3.27)$$

де  $q_{\min}$  та  $q_{\max}$  – нижня і верхня межі діапазону частот коливань  $i$ -го одиничного потоку;

$S_i(q)$  – спектральна щільність коливань  $i$ -го потоку.

При формуванні об'єданого потоку кожен одиничний потік вносить в нього свій частотний спектр коливань. Величина спектральної щільності коливань в об'єданому потоці за відсутності фазових перетворень визначається за формулою:

$$S_o(q) = \sum_{i=1}^2 \frac{Q_i}{Q_o} S_i(q), \quad (3.28)$$

де  $Q_i$  – продуктивності  $i$ -го потоку;

$Q_o$  – продуктивності об'єданого потоку.

Застосовуючи перетворення, яке виражається формулою (3.27), до рівності (3.28), отримуємо величину середньоквадратичного відхилення об'єданого потоку:

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{Q_1}{Q_o} \sigma_1^2 + \frac{Q_2}{Q_o} \sigma_2^2}, \% \quad (3.29)$$

Рівняння (3.29) дозволяє оцінити ефективність усереднення при об'єднанні потоків. Відзначимо, що в будь-якому випадку  $Q_o$  не може бути меншим, ніж мінімальне, і більшим за максимальне значення серед середньоквадратичних відхилень коливань якості одиничних потоків руди. Якщо одиничні потоки характеризуються однаковою величиною середньоквадратичного відхилення коливань якості, як впливає з рівності (3.29), то їх об'єднання не має усереднювального ефекту за відсутності фазових перетворень.

В іншому випадку завжди спостерігається стабілізація коливань, ефект якої залежить від питомих продуктивностей окремих забоїв. Таким чином, при об'єднанні потоків руди з різних екскаваторних забоїв, відбувається усереднення їх якості, оцінку якого можна враховувати за допомогою формул (3.28) і (3.29) і використовувати її при проектуванні усереднювальних комплексів і систем [95].

Незважаючи на всі переваги цього методу, він накладає ряд обмежень на транспортні засоби – автосамоскиди. Це перш за все пов'язано з необхідністю синхронізувати рух автосамоскидів, які беруть участь у парному розвантаженні, для забезпечення їх одночасного прибуття до приймального отвору рудоспуску ЦПТ [95].

Як правило, різні маршрути руху відрізняються за протяжністю, ухилом, який доводиться здолати, й іншими факторами, а середня швидкість руху на них також, найімовірніше, може бути різною.

Синхронізацію руху автосамоскидів можна виконати або шляхом зміни швидкості їх руху, або затримкою одного з транспортних засобів перед навантаженням або розвантаженням, що призведе до загального зниження

ефективності використання автотранспортних засобів кар'єру, і, як наслідок, зменшення загального обсягу перевезеної гірничої маси [93,95].

Розглянемо математичне розв'язання задачі парного розвантаження для кар'єру з певною кількістю забоїв. Нехай у кар'єрі є забої  $Z_1$  та  $Z_2$ , які характеризуються мінімальним і максимальним значеннями вмісту корисного компонента в гірничій масі. Визначено парк автосамоскидів, який бере участь в обслуговуванні цих забоїв і парному розвантажуванні у прийомну воронку ЦПТ.

Відстань від місця навантаження до приймального отвору рудоспуску ЦПТ дорівнює  $S_1$  та  $S_2$  відповідно, при цьому  $S_1 > S_2$ .

Швидкість руху автосамоскиду для забою  $Z_1$  у завантаженому стані дорівнює,  $V_{гр.1}$  у порожньому стані –  $V_{н.1}$ . Швидкість руху автосамоскиду для забою  $Z_2$  у завантаженому стані дорівнює  $V_{гр.2}$ , у порожньому стані –  $V_{н.2}$ . Тривалість зміни дорівнює  $T_{зм.}$ .

Ефективність використання автосамоскиду можна визначити за кількістю ходок за зміну:

$$n = T_{зм.} / T_{р.}, \quad (3.30)$$

де  $T_{р.}$  – час руху автосамоскиду протягом одного рейсу, що розраховується за формулою:

$$T_{р.} = T_{погр.} + T_{гр.} + T_{р.} + T_{н.} + T_{ман.}, \quad (3.31)$$

де  $T_{погр.}$  – час навантаження;

$T_{гр.}$  – час руху у завантаженому стані;

$T_{р.}$  – час розвантаження;

$T_{н.}$  – час руху у порожньому стані;

$T_{ман.}$  – час маневрів.



$$T_{ep.} = S/V_{ep.} \quad (3.32)$$

$$T_{n.} = S/V_{n.} \quad (3.33)$$

$$T_{ман.} = 0,5(T_{ep.} + T_{пор.}) \quad (3.34)$$

$$T_{пор.} = T_{ц.эк.} \times n_{к.}, \quad (3.35)$$

де  $T_{ц.эк.}$  – час одного екскаваторного циклу;

$n_{к.}$  – кількість ковшів, що завантажуються в автосамоскид.

Метою синхронізації руху автосамоскидів є одночасне їх прибуття до приймальної воронки ЦПТ, тому необхідна швидкість руху є величиною розрахунковою.

Нехай дано, що  $S_1 > S_2$ . У цьому випадку для синхронізації прибуття до приймальної воронки ЦПТ необхідно знизити швидкість руху автосамоскидів на ділянці  $Z_2$  – приймальна воронка ЦПТ –  $Z_2$ . Дані швидкості будуть визначатися формулами:

$$V_{n.2} = S_2/S_1 \times V_{n.1} \quad (3.36)$$

$$V_{ep.2} = S_2/S_1 \times V_{ep.1} \quad (3.37)$$

Беручи до уваги той факт, що кількість ходок автосамоскиду – прямо пропорційна швидкості руху, розрахуємо кількість ходок до і після застосування методу парного розвантаження для забою  $Z_2$ . До застосування методу парного розвантаження кількість рейсів протягом зміни становила:

$$n = T_{см.} / (T_{ногр.} + S_2 / V_{гр.2} + S_2 / V_{н.2} + T_{р.} + T_{ман.}) \quad (3.38)$$

Зважаючи на вирази (3.36) і (3.37), кількість рейсів протягом зміни після застосування методу парної розвантаження дорівнює:

$$n = T_{см.} / (T_{ногр.} + S_2 / S_1 \times V_{гр.2} + S_2 / S_1 \times V_{н.2} + T_{р.} + T_{ман.}) \quad (3.39)$$

Проаналізувавши вирази (3.38) і (3.39), можна зробити висновок, що після застосування методу парного розвантаження буде спостерігатися зниження ефективності використання автосамоскидів, що виразиться в зменшенні кількості рейсів, виконаних одним автосамосвалом протягом зміни, і його продуктивності.

Лише в окремому випадку (за однакових умов і рівної дальності транспортування) застосування даного методу дасть позитивний ефект без зниження продуктивності автосамоскидів. У всіх інших випадках парне розвантаження дозволить стабілізувати якісні характеристики рудопотоку, що формується, за рахунок змішування в приймальному отворі рудоспуску рудної маси з мінімальним і максимальним вмістами корисного компонента [93,94,95].

Надалі пріоритет якості під час виконання відкритих гірничих робіт зумовлює можливість застосування парного розвантаження автосамоскидів для об'єднання потоків руди із забоїв з мінімальними і максимальними значеннями вмістів корисного компонента з метою стабілізації якісних показників в рудопотоках кар'єрів навіть при ймовірному зниженні обсягів транспортування гірничої маси [95].

3.8. Дослідження впливу якісних характеристик фінальних рудопотоків на техніко-економічні показники гірничо-збагачувальних комбінатів

В умовах кризи в економіці України проблема зниження собівартості гірничого виробництва була і залишається досить актуальною. Основні способи

вирішення її визначено і зводяться вони до оптимізації витрат виробничих процесів, скорочення основних статей витрат, підвищення ефективності інвестицій та гнучкого реагування на цінові коливання ринку збуту готової продукції [96,97].

Аналіз розподілу витрат за технологічними процесами залізорудних ГЗК України свідчить, що основна частина собівартості припадає на процес збагачення (від 57 % ПАТ «Полтавський ГЗК» до 61 % ПрАТ «Північний ГЗК»).

Проблема зниження загальної собівартості виробництва залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів України може бути вирішеною шляхом мінімізації витрат на збагачення за рахунок формування фінальних рудопотоків із заданими показниками сировинної якості, що забезпечують оптимальні режими роботи збагачувального виробництва. Це, в свою чергу, стає можливим при комплексному підході, який включає в себе наступні складові: дорозвідка (каротаж), оперативний контроль якості на всіх етапах гірничого виробництва, 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.

Відомо, що якісні характеристики продукції гірничо-збагачувального комбінату зумовлюють величину її відпускної ціни та дохід підприємства. Ціна одиниці продукції в свою чергу прямо взаємозв'язана з показником прибутку та собівартості.

Для вивчення динаміки зміни прибутку залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів України за певний період, було побудовано графік на

підставі статистичних даних (рис. 3.22). Графік демонструє значне підвищення прибутку практично всіх комбінатів, що пов'язано зі значним зростанням світових цін на концентрат у 2007 році [38].

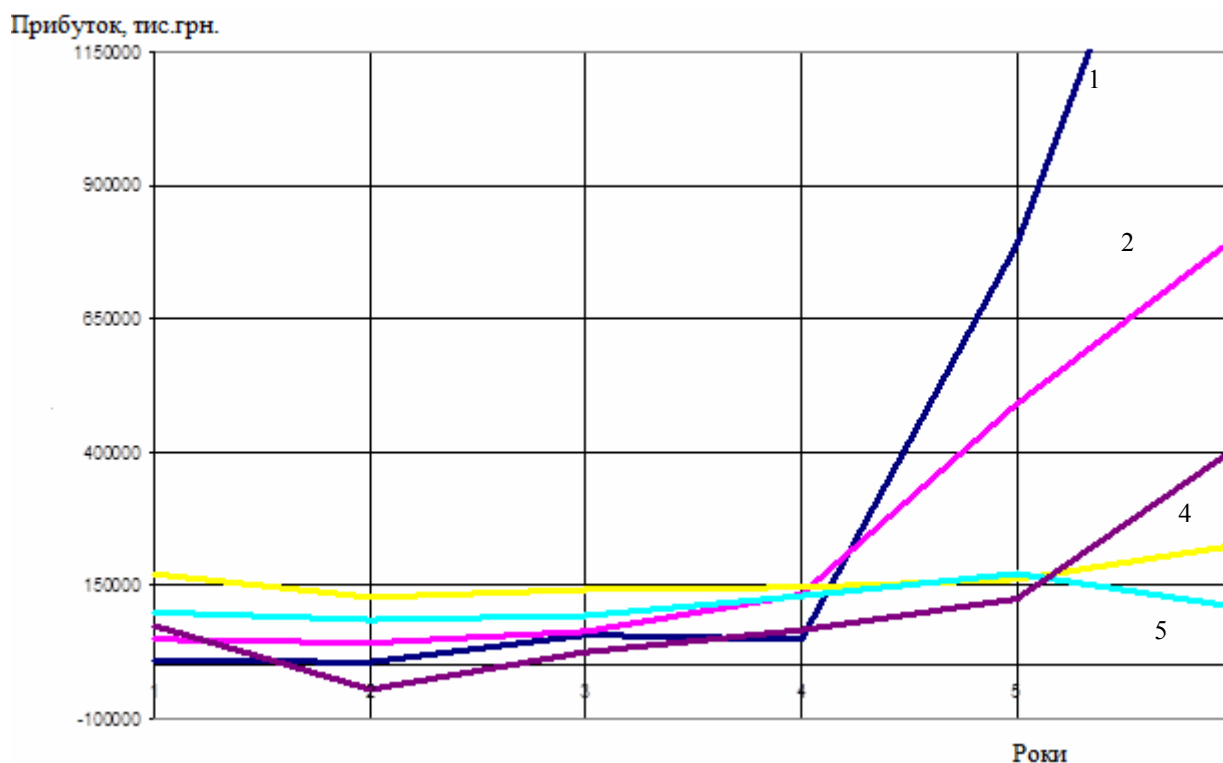


Рис. 3.22 Динаміка зміни прибутку залізорудних ГЗК України:

1 – ПрАТ «Північний ГЗК»; 2 – ПрАТ «Центральний ГЗК»; 3 – ПАТ «Південний ГЗК»; 4 – ПАТ «Південний ГЗК»; 5 – ПрАТ «Інгулецький ГЗК»

Зворотний процес, пов'язаний з падінням 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. Тому вирішення проблеми стабілізації прибутку гірничо-збагачувальних комбінатів на сьогоднішній день є однією з основних [39].

Амплітудні коливання якості в рудному потоці – неминучі, але досить важливим показником є їх обмеження визначеним діапазоном і забезпечення дотримання цього діапазону. Даний діапазон обмежується розрахунковим

показником допустимої величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента від заданого значення.

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

Відомо, що прибуток ГЗК визначається за формулою

$$П = \sum Q \times Ц \times \gamma - \sum (Зв + Зз), \quad (3.40)$$

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

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

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

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

$Зв$  – загальні витрати на видобуток корисних копалин;

$Зз$  – витрати на збагачення корисних копалин.

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

$$\sum (Зв + Зз) = \sum (C_{розкр.} + C_{видоб.} + C_{збагач.}) \quad (3.41)$$

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

$$C = f(R_k, R_f, R_e, R_v, R_{zz}), \quad (3.42)$$

де  $R_k$  – витрата куль;

$R_f$  – витрата футерування млинів;

$R_e$  – витрата електроенергії;

$R_6$  – витрати води;

$R_{33}$  – витрати на заробітну плату.

Ще одним важливим показником при збагаченні залізних руд є величина розкриття зерен руди в процесі подрібнення, що характеризується розміром подрібнення. Процес 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 комбінату. Таки чином можна зробити висновок, що витрати на процес подрібнення істотно впливають на формування витрат всього залізрудного комбінату. Взаємозв'язок між величиною витрат на подрібнення й витратами залізрудного 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 енерговитрати на збагачення, тим вищі загальні витрати. Також при цьому спостерігається падіння продуктивності збагачувального виробництва за рахунок збільшення часу циклу подрібнення [41].

Розглянемо вплив коливань якості у вхідній руді збагачувального виробництва 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 при різних значеннях середньоквадратичного відхилення вмістів 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

$$П = f(\sum Z, Ц, Q_p, \gamma) \quad (3.43)$$

і також може бути виражений прибуток формулою

$$П = (Ц - Z) \times Q_p \times \gamma \quad (3.44)$$

при цьому всі складові формули (3.43) є змінними величинами:

$Ц$  – ціна 1 тонни концентрату, грн;

$Z$  – витрати на одну тонну 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  $Z = f(d)$ . 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. Показник річної потужності комбінату по руді – також величина змінна, що впливає на показник прибутку в цілому [41]. При цьому мається на

увазі, що вхідна руда збагачувальної фабрики – сформована з фінального рудопотоку ГЗК.

Для побудови імітаційної моделі необхідно також застосовувати наступні граничні умови. Перша гранична умова: загальний обсяг рудопотоку визначається можливостями РЗФ щодо переробки руди і є заданою величиною (з урахуванням періодичних коливань):

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0, \quad (3.45)$$

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

Друга гранична умова: згідно з технологічними вимогами, рівень вмісту корисного компонента в рудопотоці після усереднення має відповідати заданій величині, оптимізованій щодо вимог збагачувального виробництва та технологічних можливостей видобувного комплексу:

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 \cdot c_0, \quad (3.46)$$

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

Третя гранична умова – це обмеження за обсягом розкритих та підготовлених до виймання запасів залізорудної сировини з урахуванням критичних значень.

$$0 \leq m_k \leq \bar{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (3.47)$$

де  $\bar{m}_k$  – максимально можливий розкритих та підготовлених до виймання запасів залізорудної сировини  $k$ -го забою, т.

Четверта гранична умова – це обмеження обсягів руди, що доставляються окремими локальними рудним вантажопотоками:



$$0 \leq m_{k\text{mp.}} \leq \bar{m}_{k\text{mp.}}, \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (3.48)$$

де  $\bar{m}_{k\text{mp.}}$  – максимально можливий обсяг руди, що доставляється локальним вантажопотоком з  $k$ -го забою, т.

Формули (3.45), (3.46), (3.47) і (3.48) є математичною моделлю, що входить до системи управління формуванням рудопотоку.

Разом з тим, можливим є й інше формулювання математичної моделі, в якій умова (3.46) замінюється обмеженнями за амплітудою коливань в.к.к. в руді після усереднення – після формування рудопотоку:

$$c_{\min} \cdot m_0 \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} \cdot m_0, \quad (3.49)$$

де  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – найменша і найбільша допустимі величини в.к.к. в сформованому рудопотоці.

Імітаційне моделювання виконувалось за наступних умов: середньоквадратичне відхилення (СКВ) фактичного вмісту корисного компонента від розрахункового розглядається в діапазоні від 0,1 (ідеальний стан) до 5 з кроком 1. Крупність подрібнення змінюється у діапазоні 15–90 мкм.

В розрахунках використовувалась середньорічний показник вартості однієї тони концентрату за 1 т на умовах франко-кордон (за середньорічним курсом НБУ. за один долар США). [39].

Статистичні дані по кожному гірничо-збагачувальному комбінату зведені в таблиці та оброблені в програмі Microsoft Office Excel.

Отримані показників прогнозного прибутку основних залізрудних гірничо-збагачувальних комбінатів України за різних значень середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення вхідної руди РЗФ графічно представлено на рис. 3.23 – 3.27.

Таблиця 3.4

Прогнозні значення прибутку ПрАТ «ІнГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення на РЗФ

| d, мкм   | 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.

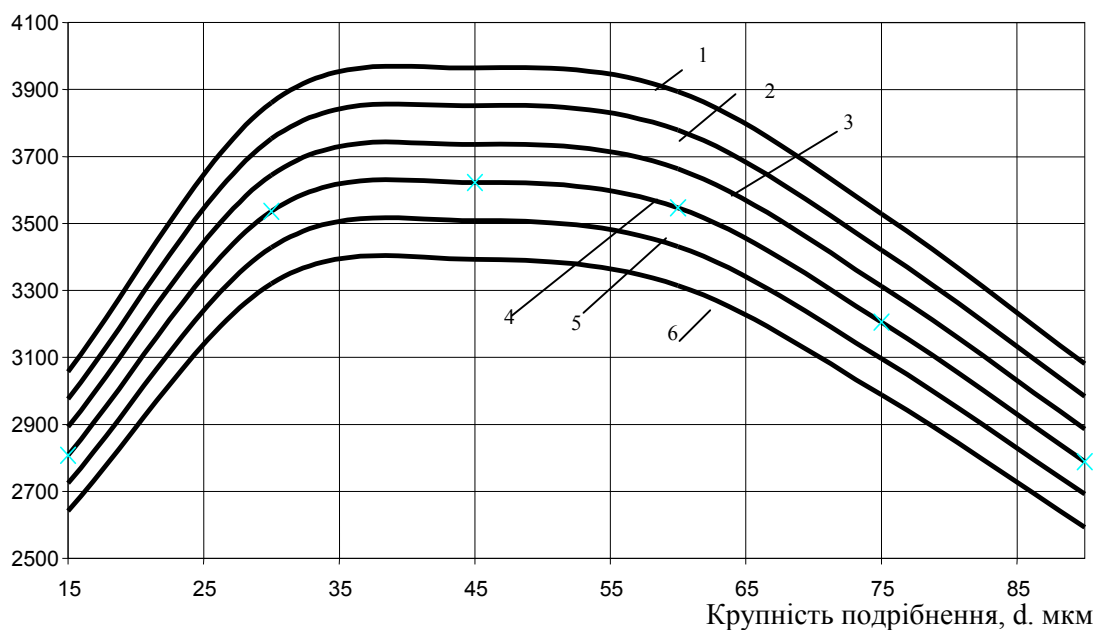


Рис. 3.23. Залежність прогнозного прибутку ПрАТ «Ін ГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ

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 3.5

Прогнозні значення прибутку ПАТ «ПГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ

| 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 |

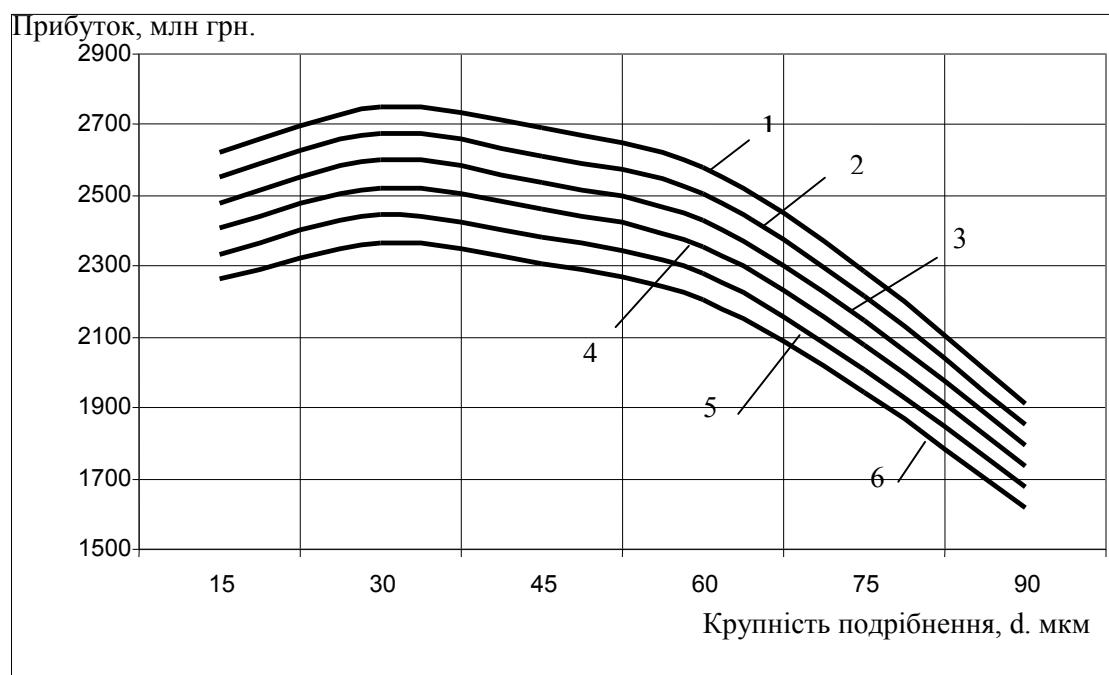


Рис. 3.24. Залежність прогнозного прибутку ПАТ «ПГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ

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  $y = -0,5833x^4 + 9,8148x^3 - 108,72x^2 + 360,59x + 2003,70$

Таблиця 3.6

Прогнозні значення прибутку ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення

| d, мкм   | 15  | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   |
|----------|-----|------|------|------|------|------|
| СКВ 0,1% | 822 | 1132 | 1191 | 1188 | 1160 | 1072 |
| СКВ 1%   | 795 | 1093 | 1150 | 1146 | 1117 | 1031 |
| СКВ 2%   | 768 | 1055 | 1108 | 1103 | 1074 | 991  |
| СКВ 3%   | 741 | 1016 | 1067 | 1061 | 1032 | 950  |
| СКВ 4%   | 713 | 978  | 1025 | 1018 | 989  | 910  |
| СКВ 5%   | 686 | 939  | 984  | 976  | 947  | 869  |

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 частин рудної маси при збільшенні тривалості часу подрібнення всі вищенаведені витрати зростатимуть майже лінійно.

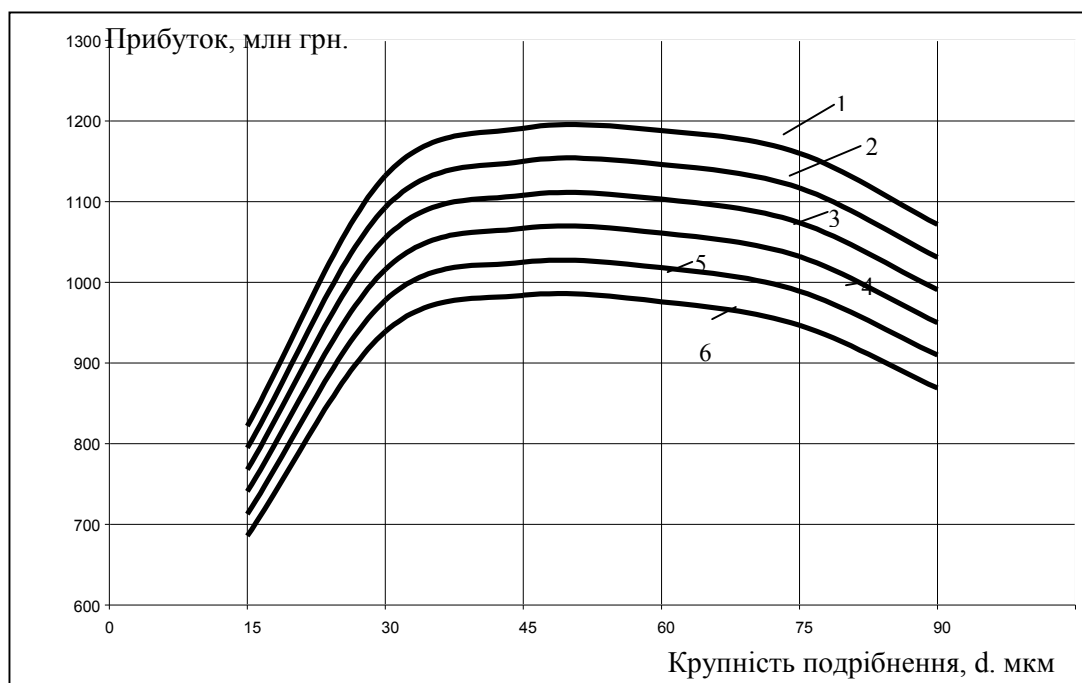


Рис. 3.25. Залежність прогнозного прибутку гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ

1. За СКВ=0,1  $y = -9E-05x^4 + 0,0223x^3 - 2,0299x^2 + 81,456x - 13,333$ ;
2. За СКВ=1  $y = -9E-05x^4 + 0,0211x^3 - 1,9335x^2 + 77,871x - 4,6667$ ;
3. За СКВ=2  $y = -8E-05x^4 + 0,0206x^3 - 1,8783x^2 + 75,458x - 6$ ;
4. За СКВ=3  $y = -8E-05x^4 + 0,0197x^3 - 1,7975x^2 + 72,266x - 0,5$ ;
5. За СКВ=4  $y = -8E-05x^4 + 0,0192x^3 - 1,7511x^2 + 70,175x - 6$ ;
6. За СКВ=5  $y = -8E-05x^4 + 0,0183x^3 - 1,6703x^2 + 66,983x - 0,5$

Таблиця 3.7

Прогнозні значення прибутку ПрАТ «Центральний ГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ

| d, мкм  | 15   | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   |
|---------|------|------|------|------|------|------|
| СКВ=0,1 | 2189 | 2560 | 2594 | 2544 | 2460 | 2359 |
| СКВ=1   | 2125 | 2484 | 2513 | 2461 | 2376 | 2275 |
| СКВ=2   | 2062 | 2407 | 2432 | 2378 | 2293 | 2192 |
| СКВ=3   | 1999 | 2330 | 2351 | 2296 | 2210 | 2109 |
| СКВ=4   | 1935 | 2253 | 2270 | 2213 | 2126 | 2025 |
| СКВ=5   | 1872 | 2176 | 2189 | 2130 | 2043 | 1942 |

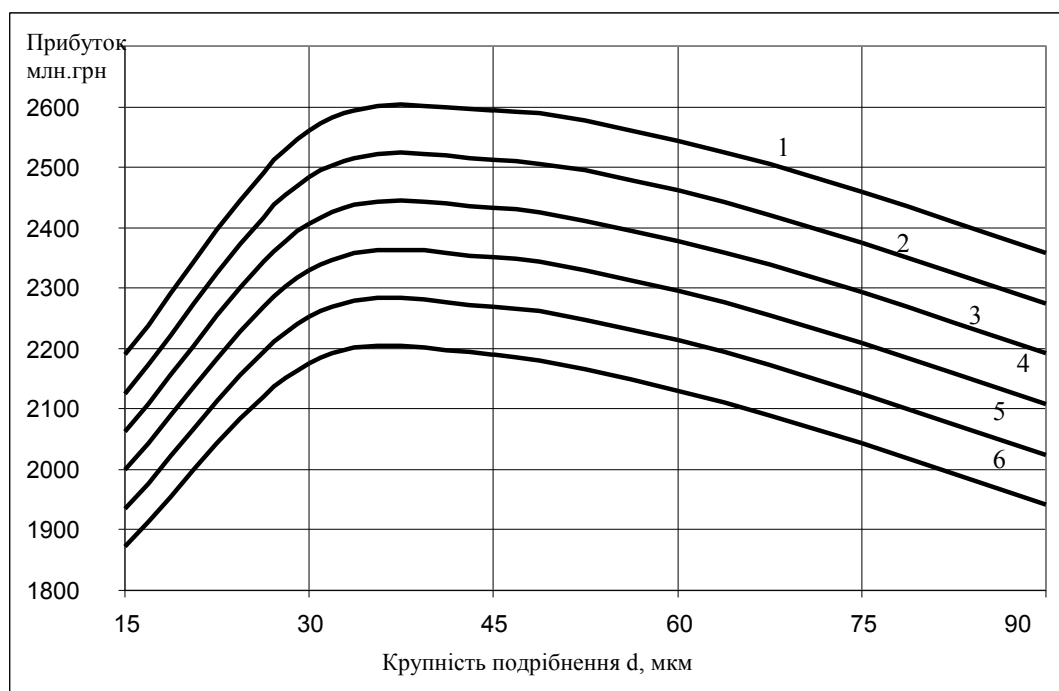


Рис. 3.26 Залежність прогнозного прибутку ПрАТ «Центральний ГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення

1. За СКВ=0,1  $y = -1E-04x^4 + 0,0252x^3 - 2,4388x^2 + 99,441x + 1166,7$ ;
2. За СКВ=1  $y = -1E-04x^4 + 0,0248x^3 - 2,3925x^2 + 97,174x + 1127,7$ ;
3. За СКВ=2  $y = -9E-05x^4 + 0,0241x^3 - 2,327x^2 + 94,217x + 1096,3$ ;
4. За СКВ=3  $y = -9E-05x^4 + 0,0233x^3 - 2,2477x^2 + 90,873x + 1068,3$ ;
5. За СКВ=4  $y = -9E-05x^4 + 0,0225x^3 - 2,1798x^2 + 87,95x + 1035,2$ ;
6. За СКВ=5  $y = -8E-05x^4 + 0,0219x^3 - 2,1143x^2 + 84,993x + 1003,8$ .

Таблиця 3.8

Прогнозні значення прибутку ПрАТ «Північний ГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ

| d, мкм   | 15   | 30   | 45   | 60   | 75   | 90   |
|----------|------|------|------|------|------|------|
| СКВ 0,1% | 2877 | 3468 | 3542 | 3486 | 3376 | 3078 |
| СКВ 1%   | 2793 | 3364 | 3434 | 3376 | 3267 | 2975 |
| СКВ 2%   | 2710 | 3261 | 3325 | 3267 | 3158 | 2873 |
| СКВ 3%   | 2626 | 3157 | 3217 | 3157 | 3049 | 2770 |
| СКВ 4%   | 2542 | 3054 | 3108 | 3047 | 2940 | 2668 |
| СКВ 5%   | 2459 | 2951 | 3000 | 2938 | 2830 | 2566 |

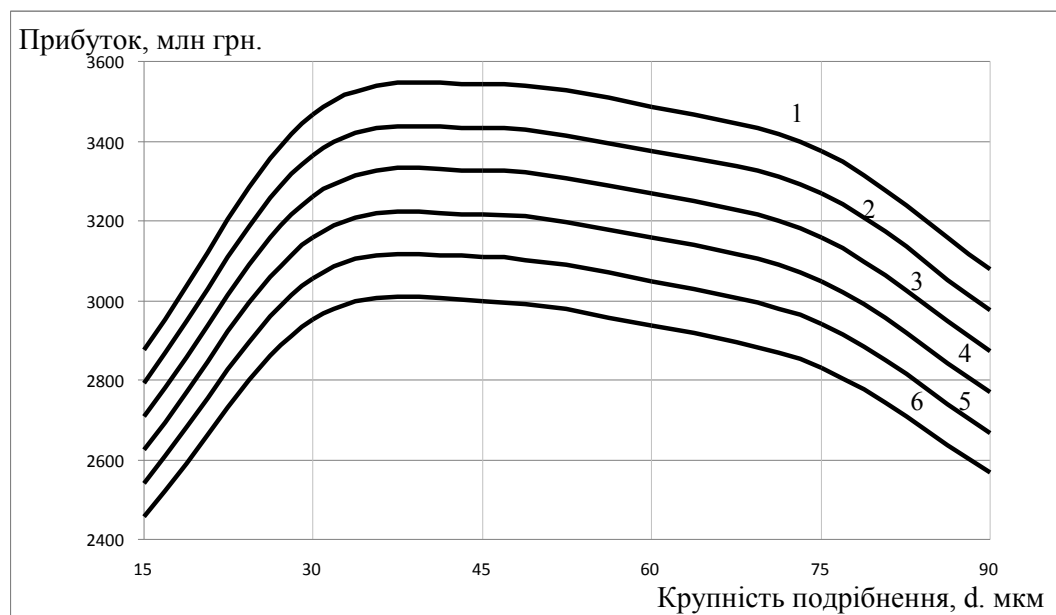


Рис. 3.27 Залежність прогнозного прибутку ПрАТ «Північний ГЗК» за різних значень СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення

1. За СКВ=0,1  $y = -0,0002x^4 + 0,0502x^3 - 4,4389x^2 + 170,84x + 1155,2$
2. За СКВ=1  $y = -0,0002x^4 + 0,0486x^3 - 4,3056x^2 + 165,6x + 1124,5$
3. За СКВ=2  $y = -0,0002x^4 + 0,0472x^3 - 4,1775x^2 + 160,44x + 1094,7$
4. За СКВ=3  $y = -0,0002x^4 + 0,0457x^3 - 4,0443x^2 + 155,2x + 1064$
5. За СКВ=4  $y = -0,0002x^4 + 0,0445x^3 - 3,9386x^2 + 150,75x + 1026,7$
6. За СКВ=5  $y = -0,0002x^4 + 0,0427x^3 - 3,7845x^2 + 144,96x + 1001,7$

Аналіз графіків на рис. 3.23–3.27 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 сформованого фінального рудопотоку 0,1, що в реальних умовах майже не зустрічається.

Більш реальним в є досягнення крупності подрібнення 75 мкм, при цьому спостерігається відносно падіння прогнозного значення прибутку щодо крупності 30–60 мкм.

Аналіз побудованих графіків дозволяє зробити висновок, що збільшення величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента у сформованому фінальному рудопотоці на одиницю зумовлює зниження прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату до 10–12 % на рік. Зменшення прибутку відбувається за рахунок зниження виходу концентрату внаслідок невідповідності якості рудопотоку, зумовленої збільшенням діапазону коливань якості.

Збільшення середньоквадратичного відхилення на одиницю відповідно до правила «3σ» відповідає показнику мінімаксного коефіцієнту «minimax» – 3 % вмісту корисного компонента, тобто фактична амплітуда коливань якості збільшується на 3 %.

Таким чином, прогнозний показник прибутку гірничо-збагачувального комбінату перебуває у зворотній пропорції до величини середнє квадратичного відхилення та мінімаксного коефіцієнту «minimax». Коливання якості фінального

рудопотоку в діапазоні амплітуди 3 % від заданого значення зумовлює падіння річного прибутку ГЗК на 10–12 %.

Отже, однією з можливостей стабілізації прибутку підприємств залізорудної галузі є формування фінальних рудопотоків комбінатів із заданими амплітудними значеннями якості, основною умовою чого є наближення величини середньоквадратичного відхилення  $\sigma$  до мінімального значення. Чим меншою буде амплітуда коливань якості в межах заданого діапазону – тим вищим розмір прогнозованого прибутку ГЗК [41,98].

### Висновки до розділу 3

1. Похибка вимірювання вмісту корисного компоненту при каротажі є інтегральною величиною декількох видів похибок: апаратної, проміжної зони вимірювання, мінливості речовинного складу та стану масиву (вологість, тріщинуватість, кавернозність).

2. Апаратна похибка зменшується відповідно до вдосконалення геофізичного обладнання, та є на теперешній час найменшою з усіх інших.

3. Для залізних руд Кривбасу характерним є високий кореляційний зв'язок між  $\rho$  і  $Fe_{\text{заг.}}$ , що є сприятливою передумовою для використання гамма-гамма методів оперативного контролю при проведенні гірничих робіт.

4. Використання подвійних комбінованих каротажних зондів дозволяє зменшити похибку вимірювань, пов'язану з кавернозністю та відстанню до стінки скважини і вологістю.

5. Для зменшення похибки під час контролю якості у забої визначення масової частки корисного компоненту виконується в режимі усереднення декількох результатів вимірювань, проведених у точці при різному азимутальному розташуванні навоїв.

6. Для контролю вмісту заліза в потоці з метою підвищення точності вимірювань доцільно застосовувати конструкції датчиків, що працюють у заінверсійній області.



7. Для підвищення точності контролю якості на конвейєрі необхідно домогтися вирівнювання поверхні шару в зоні вимірювання роликком спеціального пристрою, що одночасно виконує функцію стабілізатора повітряного проміжку між рудою та датчиком.

8. Залежності масової частки магнетиту від вологості породи після внесення їх до калібровки дозволяють зменшити похибки при вимірюванні складу заліза, пов'язаного з магнетитом.

9. Нестабильність процесу видобутку руди є однією з причин амплітудних та часових коливань якісних показників рудопотоків залізорудних кар'єрів.

10. Велика кількість взаємопов'язаного технологічного обладнання, значна відстань транспортування, рівень зносу технологічного обладнання та вихід його з ладу обумовлюють аритмічність технологічних процесів, що призводить до відхилень фактичних показників якості рудопотоку, що формується, від розрахункових значень.

11. Оптимальні показники режиму збагачення за величиною видобутку та втратами у хвостах залежать не тільки від середнього показника якості рудної сировини, але й від його стабільності у фінальному рудопотоці.

12. Значні амплітудні коливання вмісту корисного компоненту загальнокомбінатівського фінального рудопотоку негативно впливають на основні показники процесу збагачення, приводять до збільшення витрат та зростання собівартості виробництва всього ГЗК.

13. Одним зі засобів стабілізації сировинної якості рудопотоку кар'єра є застосування методу парного розвантаження автосамоскидів.

14. Проблема зниження собівартості виробництва залізорудних ГЗК України може бути вирішена шляхом зменшення собівартості збагачення за рахунок формування фінальних, генералізованих щодо технології управління сировинною якістю, рудопотоків із заданими показниками якості, що забезпечують оптимальний режим роботи збагачувального виробництва.

15. Прогнозний показник прибутку ГЗК знаходиться у зворотній пропорції від розміру середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компоненту у

фінальному рудопотоці: чим меншими будуть коливання якості у заданому діапазоні, тим меншим буде показник коефіцієнту «minimax» та тим вищою величина прогнозного прибутку комбінату.

16. Амплітудні коливання якості у фінальному рудопотоці в діапазоні 3 % від заданого значення можуть зумовити зниження річного прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату на 10–12 %.

## РОЗДІЛ 4

### МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ СТАБІЛІЗАЦІЇ СИРОВИННОЇ ЯКОСТІ РУДОПОТОКІВ

#### 4.1. Розробка математичної моделі технології управління якістю рудопотоків з використанням теорії управління

Сучасний залізорудний кар'єр являє собою складну систему з розвиненою ієрархічною структурою, основною метою функціонування якої є видобуток руди. За загальним визначенням, до цього класу належать системи з відносно незалежною, автономною поведінкою підсистем при високій внутрішній активності та вибірковості, ціліспрямованості функціонування системи в цілому. Такі системи є відкритими, що перебувають в постійній взаємодії з оточуючим середовищем, вони принципово здатні вирішувати різноманітні завдання за різних умов.

Виходячи з основної мети функціонування кар'єру, формуються вимоги до якості сировини, що видобувається. Розподіл вмісту корисного компонента в забоях кар'єру – нерівномірний і часто носить хаотичний характер [41]. Разом з тим, рудопотік кар'єру повинен мати визначену величину вмісту корисного компонента, що не виходить за межі діапазонного значення в будь-який момент часу [100].

Дослідження і публікації, присвячені проблемі формування рудопотоку кар'єру, детально обґрунтовують початковий розрахунок навантаження на забої з урахуванням якісних характеристик, але в реальних умовах виробництва не враховується динаміка коливань якості в рудопотоці та фактичний, а не розрахунковий вміст корисного компонента.

Виходячи із загальних завдань системи управління якістю, необхідно визначити основні показники, від яких і залежить їх розв'язання:

- вміст корисного компонента в забоях;

- обсяг підготовлених до виїмки запасів;
- рівень витрат при доставці руди із забоїв;
- оптимальні обсяги руди, що доставляються з забоїв в пункт розвантаження ЦПТ (розрахункові значення шихтувального завдання).

Сучасна теорія управління є логічним результатом розвитку загальної теорії систем. В даний час приділяється значна увага системному підходу при вирішенні різних завдань. Методологічною перевагою такого підходу є розгляд проблеми, що розв'язується, в комплексі, тобто – як системи [100].

На рис. 4.1 наведено функціональну схему системи управління (СУ) з точки зору сучасної теорії управління. Згідно з функціональною схемою на вхід об'єкта управління (ОУ) надходить вхідний вплив  $\vec{X}$ , який включає контрольовані та керовані змінні. Крім того, на ОУ впливають неконтрольовані збурення  $\vec{W}$ . Вихід ОУ позначено змінною  $\vec{Y}$ . Згідно представленої схеми для ОУ має місце залежність

$$F(\vec{X}, \vec{W}) = \vec{Y}. \quad (4.1)$$

Залежність у загальному випадку – невідома і визначається неконтрольованими збуреннями  $\vec{W}$ . Для знаходження функціональної залежності між вхідними та вихідними змінними ОУ в блок «математична модель об'єкта управління» подається інформація про вхідні та вихідні змінні ОУ, який і реалізує побудову математичної моделі ОУ. За допомогою побудованої математичної моделі ОУ формується алгоритм управління ОУ в блоці «Алгоритм управління», що дозволяє вирішити поставлену задачу. Необхідно також підкреслити, що наявність неконтрольованих збурень, що діють на ОУ, призводить до необхідності аналізу якості ідентифікації ОУ для подальшої адаптації математичної моделі до умов, що змінилися

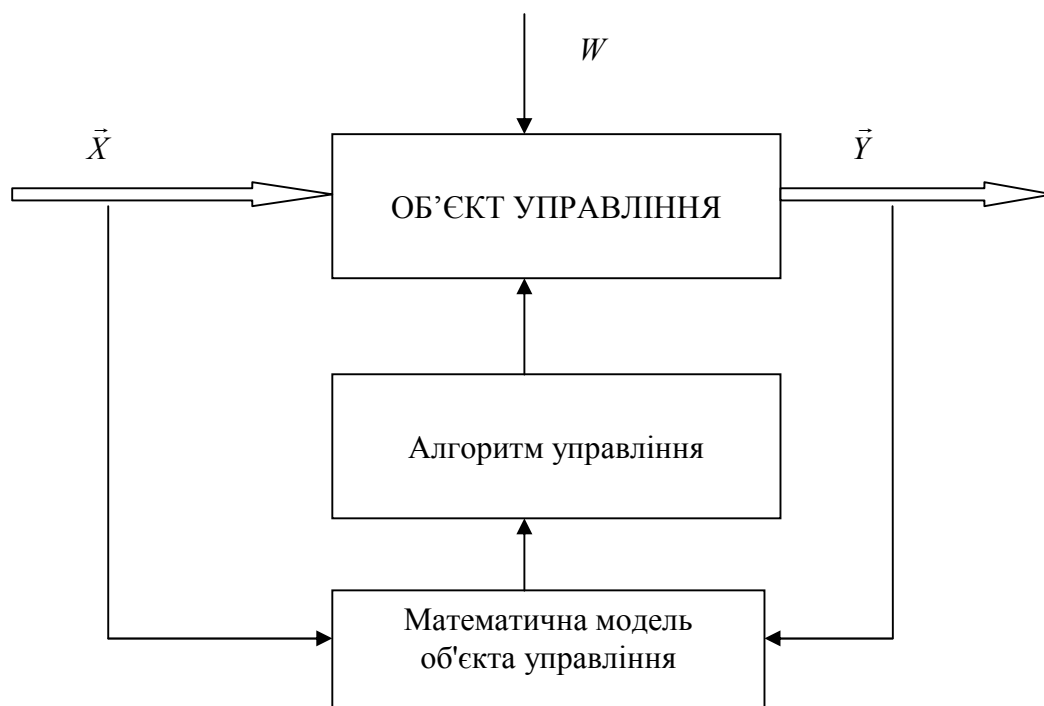


Рис. 4.1. Функціональна схема системи управління складним об'єктом

Як видно з рис. 4.1, сучасна теорія управління розглядає синтез системи управління складним об'єктом на основі його математичної моделі [100]. Тому побудова математичної моделі СУ формування рудопотоку кар'єра є необхідною. В даному випадку математична модель слугує цілям управління, що й визначає її особливості. На рис. 4.2 представлено функціональну схему формування рудопотоку кар'єра з наступною доставкою на вхід рудозбагачувальної фабрики (РЗФ). Відповідно до схеми в забоях кар'єру, позначених на рис. 4.2 відповідними номерами, видобувається руда, потім вона транспортом доставляється до місця її усереднення (приймальний отвір дробарки ЦПТ або – усереднювальний склад), виділений 4 як суматор, після чого з заданою якістю надходить на вхід РЗФ [101].

Математична модель потрібна для управління описаним процесом формування загальнокар'єрного рудопотоку та являє собою запис вимог, які повинні бути реалізовані системою управління сировинною якістю рудопотоку.

Введемо наступні позначення:

$N$  – кількість видобувних забоїв в кар'єрі;

$m_k$  – кількість руди, що доставляється транспортом з  $k$ -го забою, т;

$c_k$  – вміст корисного компонента в руді, що доставляється з  $k$ -го забою.

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

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0, \quad (4.2)$$

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

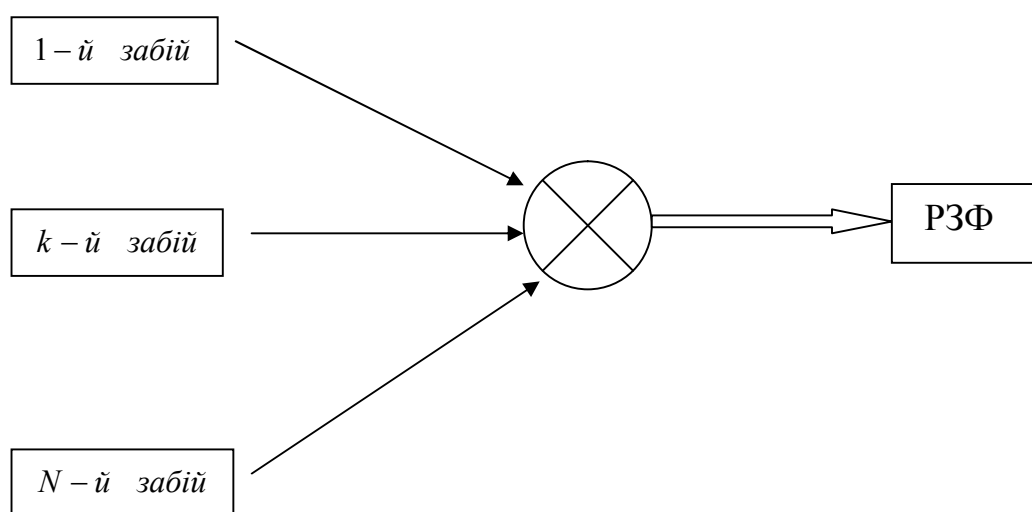


Рис. 4.2. Функціональна схема формування рудопотоку кар'єру

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

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 \cdot c_0, \quad (4.3)$$

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

Природною вимогою є також обмеження обсягів руди, що доставляються транспортом із заборів у вигляді локальних рудопотоків:

$$0 \leq m_k \leq \overline{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N) \quad (4.4)$$

де  $\overline{m}_k$  – максимально можливий обсяг руди, що доставляється транспортом з  $k$ -го забою, т.

Формули (4.2), (4.3) і (4.4) представляють математичну модель, що входить до системи управління формуванням рудопотоку в кар'єрі.

Разом з тим, можливим є й інше формулювання математичної моделі, в якій умова (4.3) замінюється обмеженнями за амплітудою коливань в.к.к. в руді після усереднення, тобто після формування рудопотоку:

$$c_{\min} \cdot m_0 \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} \cdot m_0, \quad (4.5)$$

де  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – найменша і найбільша допустимі величини в.к.к. в сформованому рудопотоці.

Для функціонування системи управління висуваються певні вимоги, до яких відносяться спостережуваність, керованість і досяжність.

Згідно із загальним визначенням, під спостережуваністю розуміється наявність інформації, яка необхідна для розв'язку СУ завдання управління. Застосовуючи сучасну термінологію, можна сказати, що для вирішення СУ завдання управління необхідним є проведення відповідного моніторингу, тобто опробування забоїв на вміст корисного компоненту. Це приводить до висновку, що для нормального функціонування СУ рудопотоку в кар'єрі потрібен достовірний і своєчасний контроль якості.

Вміст корисного компоненту в руді характеризується стохастичністю, що визначається особливостями родовищ, які розробляються. Внаслідок цього, вміст корисного компоненту залежить від часу, і має розглядатись як випадковий процес.

Для оптимізації часу дискретності вимірювання вмісту заліза в руді природно вибрати такий мінімальний проміжок часу, за якого вимірювання, що утворюють часовий ряд, були б незалежними один від одного.

Нехай в забої проводяться вимірювання вмісту корисного компоненту в моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_M$ , які позначаються  $c(t_1), c(t_2), \dots, c(t_k), \dots, c(t_M)$ . З огляду на те, що в.к.к. вимірюється через фіксований інтервал часу  $\Delta$ , часовий ряд, який описує вміст заліза в руді, являє собою послідовність значень вмісту

$$c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_M, \quad (4.6)$$

в рівновіддалені моменти часу  $t_0 + \Delta, t_0 + 2\Delta, \dots, t_0 + k\Delta, \dots, t_0 + M\Delta$ .

У загальному випадку отриманий тимчасовий ряд (4.6) не є стаціонарним. Для того, щоб зробити його стаціонарним, необхідним є проведення процедури фільтрації, що полягає у взятті різниць

$$\nabla c_k = c_k - c_{k-1}. \quad (4.7)$$

Як правило, отриманий часовий ряд є стаціонарним. Якщо отриманий ряд не є стаціонарним, до нього знову застосовується операція взяття різниць. В остаточному результаті, як свідчить практика, часовий ряд, що отримується, стає стаціонарним. Далі для отриманого часового ряду обчислюються вибіркові автокореляції:

$$r_i = \frac{\sum_{k=1}^{M-i} (z_k - \bar{z})(z_{k+i} - \bar{z})}{\sum_{k=1}^M (z_k - \bar{z})^2}, \quad (4.8)$$

де  $z_k = \nabla^d c_k$  – різниця  $d$ -го порядку,

$$\bar{z} = \frac{1}{M} \sum_{k=1}^M z_k - \text{вибіркове середнє},$$



$M$  – число вимірювань вмісту корисного компоненту в руді.

Аналіз результатів розрахунків, проведених за формулою (4.8), дозволяє зробити висновок про дискретність вимірювання вмісту заліза в руді. Враховуючи, що вибіркові автокореляції (4.8) характеризують ступінь зв'язку значень змінних, приймається, що величини, які вимірюються, будуть некорельованими, якщо величина вибіркової автокореляції буде задовольняти умові

$$|r_m| \leq 0,05. \quad (4.9)$$

Тоді дискретність вимірювання вмісту корисного компоненту в руді становитиме величину

$$T = m \cdot \Delta. \quad (4.10)$$

Таким чином, при вимірюванні вмісту заліза в руді при її видобутку в забої з дискретністю, яка визначається (4.10), масив отриманих даних буде відображати реальну динаміку зміни вмісту корисного компоненту.

Наступною умовою функціонування СУ якістю рудопотоків є керованість, яка передбачає наявність змінних, що дозволяють управляти якістю залізної руди, видобутої в кар'єрі. В ролі таких змінних виступають обсяги руди, що доставляють з різних забоїв в пункт мікшування (шихтування).

Математична модель (4.2), (4.3), (4.4) дає можливість сформулювати завдання управління якістю рудопотоків. Відомо, що вміст корисного компоненту в руді, яка видобувається в кар'єрі, є величиною випадковою. Далі доцільно перейти до безрозмірної форми подання математичної моделі шляхом ділення рівнянь (4.2), (4.3), (4.4) на обсяг переробки руди  $m_0$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k = 1, \quad (4.11)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k C_k = C_0, \quad (4.12)$$

$$0 \leq \mu_k \leq \bar{\mu}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (4.13)$$

де  $C_k$  – в.к.к. в руді з  $k$ -го забою, що є випадковою величиною,

$C_0$  – в.к.к. в рудопотоці після шихтування

$$\mu_k = \frac{m_k}{m_0}, \quad \bar{\mu}_k = \frac{\bar{m}_k}{m_0}. \quad (4.14)$$

Необхідно підкреслити, що умови (4.11) і (4.13) накладають додаткове обмеження

$$\sum_{k=1}^N \bar{\mu}_k \geq 1. \quad (4.15)$$

Якщо використовується умова (4.5) замість (4.3), то має місце нерівність

$$c_{\min} \leq \sum_{k=1}^N \mu_k C_k \leq c_{\max} \quad (4.16)$$

де  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – найбільший та найменший в.к.к. в руді після шихтування, тобто вираз (3.16) задає граничні значення діапазону коливань якості в рудопотоці.

Математична модель (4.11), (4.12), (4.14) містить змінні  $\mu_k$ , які є керуючими змінними. Наявність вільних керуючих змінних дає можливість задати функціонал, який визначає умову розрахунку величин керуючих змінних.

Є доцільним обрати функціонал, що характеризує витрати на видобуток і транспортування руди з забоїв

$$L = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \mu_k, \quad (4.17)$$

де  $a_k$  – величини, які характеризують розмір відносних витрат при видобутку і транспортуванні руди з  $k$ -го забою.

Очевидно, що управління має будуватися так, щоб мінімізувати функціонал (4.17)

$$L = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \mu_k \rightarrow \min_{\mu_k}. \quad (4.18)$$

Запис математичної моделі можна зробити більш компактним, якщо скористатися матричними позначеннями. Якщо ввести позначення:

$$M = \begin{pmatrix} \mu_1 \\ \cdot \\ \mu_k \\ \cdot \\ \mu_N \end{pmatrix}, \quad \overline{M} = \begin{pmatrix} \overline{\mu}_1 \\ \cdot \\ \overline{\mu}_k \\ \cdot \\ \overline{\mu}_N \end{pmatrix}, \quad C = \begin{pmatrix} C_1 \\ \cdot \\ C_k \\ \cdot \\ C_N \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_1 \\ \cdot \\ a_k \\ \cdot \\ a_N \end{pmatrix}, \quad E = \begin{pmatrix} 1 \\ \cdot \\ 1 \\ \cdot \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (4.19)$$

то математична модель (4.11), (4.12), (4.14) буде подано у вигляді

$$E^T M = 1, \quad (4.20)$$

$$C^T M = C_0, \quad (4.21)$$

$$M \leq \overline{M}, \quad (4.22)$$

$$E^T \overline{M} \geq 1, \quad (4.23)$$

де  $E^T = (1 \quad \dots \quad 1 \quad \dots \quad 1)$ ,  $C^T = (C_1 \quad \dots \quad C_k \quad \dots \quad C_N)$ .

В свою чергу, нерівність (4.13) запишеться у вигляді

$$c_{\min} \leq C^T M \leq c_{\max} . \quad (4.24)$$

Умова (4.18) матиме вигляд

$$L = A^T M \rightarrow \min_M , \quad (4.25)$$

де  $A^T = (a_1 \quad \dots \quad a_k \quad \dots \quad a_N)$ .

Зрештою, третьою умовою функціонування системи управління якістю рудопотоків є досяжність, яка передбачає реалізацію СУ сформульованої задачі управління (4.11), (4.12), (4.14), або у матричному вигляді (4.20), (4.21), (4.22), (4.23), (4.24), (4.25).

Як демонструє аналіз керованості системи управління якістю рудопотоків, можливою є ситуація, за якої вирішення сформульованої вище задачі управління є неможливим, тобто формулювання з математичної точки зору є некоректним. У цьому випадку обмеження, що формуються у математичній моделі, є нереалізованими, тобто утворюють порожню множину.

Якщо ввести позначення для множин, що визначаються математичною моделлю СУ управління якістю рудопотоків, то:

$$\Omega_1 = \{M \mid E^T M = 1\}, \quad \Omega_2 = \{M \mid C^T M = C_0\}, \quad \Omega_3 = \{M \mid M \leq \overline{M}\}, \quad \Omega_4 = \{\overline{M} \mid E^T \overline{M} \geq 1\} \quad (4.26)$$

тоді умова досяжності для цієї системи управління запишеться у вигляді:

$$\Omega_1 \cap \Omega_2 \cap \Omega_3 \cap \Omega_4 \neq \emptyset . \quad (4.27)$$

Виходячи з того, що в.к.к. у забоях є випадковою величиною, природно скористатися числовими характеристиками цієї випадкової величини –

математичним очікуванням і дисперсією. Тоді завдання управління якістю рудопотоку можна буде визначити у вигляді:

$$L = \sum_{k=1}^N a_k \cdot \mu_k \rightarrow \min_{\mu_k} \quad (4.28)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k = 1 \quad (4.29)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k M[C_k] = M[C_0] \quad (4.30)$$

$$\sum_{k=1}^N \mu_k s_k \leq s_0 \quad (4.31)$$

$$0 \leq \mu_k \leq \bar{\mu}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (4.32)$$

де  $M[C_k]$ ,  $M[C_0]$  – математичні очікування в.к.к. з  $k$ -го забою та в рудопотоці після шихтовки, відповідно;

$s_k$ ,  $s_0$  – величини, що характеризують діапазон коливань в.к.к. з  $k$ -го забою і в рудопотоці, відповідно.

В якості величин, що характеризують діапазон коливань вмісту корисного компонента, можуть бути обрані такі числові характеристики випадкових величин, як середньоквадратичне відхилення (СКВ), середнє абсолютне відхилення, максимально абсолютне відхилення тощо.

Згадана задача управління (4.28)–(4.32) є лінійною задачею програмування, і може бути розв'язана симплекс-методом.

Вирішення питання про досяжність завдань системи управління, перш за все, пов'язано із заданням величини математичного очікування вмісту корисного компонента і величини, що характеризує амплітуду коливань якості в сформованому рудопотоці [101].

Результатом розв'язку задачі (3.28)–(3.32) є оптимальні обсяги руд, що видобуваються в забоях і доставляються до точки формування рудопотоку:

$$\mu_1^0, \mu_2^0, \dots, \mu_N^0. \quad (4.33)$$

Фактичні обсяги руди, що доставляються з забоїв кар'єру для формування рудопотоку, визначаються за формулою

$$m_k = \mu_k^0 \cdot m_0, \quad (k = 1, 2, \dots, N). \quad (4.34)$$

Якщо фактичні обсяги руди (4.34) не відповідають вимогам планового завдання, то для розв'язання питання досяжності СУ управління якістю рудопотоків необхідним є залучення додаткових умов, які є неформальними і можуть бути розв'язані тільки за допомогою технологів, які виступають в ролі експертів.

Для прикладу розглянемо вирішення задачі управління якістю руди для чотирьох забоїв з метою формування рудопотоку з заданим в.к.к.

Задачу управління для видобутку руди з чотирьох забоїв було розглянуто не для абсолютних, а для відносних обсягів видобутих руд у вигляді

$$L = a_1\mu_1 + a_2\mu_2 + a_3\mu_3 + a_4\mu_4 \rightarrow \min_{\mu_k} \quad (4.35)$$

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1, \quad (4.36)$$

$$M[C_1]\mu_1 + M[C_2]\mu_2 + M[C_3]\mu_3 + M[C_4]\mu_4 = M[C_0], \quad (4.37)$$

$$s_1\mu_1 + s_2\mu_2 + s_3\mu_3 + s_4\mu_4 \leq s_0, \quad (4.38)$$

$$\mu_k \leq \bar{\mu}_k, \quad (k = 1, 2, 3, 4). \quad (4.39)$$

Для конкретного розв'язання задаємо чисельні значення, представлені в таблиці 4.1.

При цьому середній вміст корисного компонента в руді було обрано рівним 0,35, а середньоквадратичне відхилення – 0,04, тобто задача вирішується у відносних одиницях.

Підставляючи у (4.34)–(4.39) дані табл. 4.1, отримуємо задачу управління у наступному вигляді:

$$L = \mu_1 + 2\mu_2 + \mu_3 + 3\mu_4 \rightarrow \min_{\mu_k} \quad (4.40)$$

$$\mu_1 + \mu_2 + \mu_3 + \mu_4 = 1, \quad (4.41)$$

$$0,2\mu_1 + 0,3\mu_2 + 0,4\mu_3 + 0,45\mu_4 = 0,35, \quad (4.42)$$

Таблиця 4.1

Основні показники системи управління якістю

| № забою | Середній вміст заліза у руді, відн. од. | СКВ вмісту заліза у руді | Обмеження за об'ємами руди, що доставляється із забоїв | Відносні витрати при доставці руди з забоїв | Оптимальні обсяги руди, що доставляються з забоїв для шихтування |
|---------|-----------------------------------------|--------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|
| 1       | 0,2                                     | 0,02                     | 0,3                                                    | 1                                           | 0,3                                                              |
| 2       | 0,3                                     | 0,03                     | 0,6                                                    | 2                                           | 0,1                                                              |
| 3       | 0,4                                     | 0,04                     | 0,2                                                    | 1                                           | 0,2                                                              |
| 4       | 0,45                                    | 0,05                     | 0,4                                                    | 3                                           | 0,4                                                              |

$$0,02\mu_1 + 0,03\mu_2 + 0,04\mu_3 + 0,05\mu_4 \leq 0,04, \quad (4.43)$$

$$\mu_1 \leq 0,3, \mu_2 \leq 0,6, \mu_3 \leq 0,2, \mu_4 \leq 0,4. \quad (4.44)$$

Рішення завдання (4.40)–(4.44) чисельним методом дає оптимальні обсяги руди для формування рудопотоку з заданими характеристиками

$$\mu_1^0 = 0,3, \mu_2^0 = 0,1, \mu_3^0 = 0,2, \mu_4^0 = 0,4.$$

При цьому середньоквадратичне відхилення становить  $\sigma=0,037$ .

Знання закону розподілу вмісту корисного компонента після шихтування дозволяє обчислити вірогідність того, що воно буде перебувати у заданих межах  $(\underline{c}, \bar{c})$

$$P(\underline{c} < C < \bar{c}) = F(\bar{c}) - F(\underline{c}), \quad (4.45)$$

де  $F(c)$  – інтегральна функція розподілу вмісту корисного компонента у рудопотоці.

Якщо закон розподілу в.к.к. в рудопотоці є нормальним з параметрами математичного очікування  $M[C] = c_0$  та середньоквадратичним відхиленням  $\sigma$ , формула (4.45) буде виглядати так

$$P(\underline{c} < C < \bar{c}) = \Phi\left(\frac{\bar{c} - c_0}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\underline{c} - c_0}{\sigma}\right), \quad (4.46)$$

де  $\Phi(x)$  – функція Лапласа.

Для прикладу, що розглянуто вище, маємо  $c_0=0,35$ ,  $\sigma=0,037$ . Беручи діапазон коливань в межах  $\underline{c} = 0,3$ ,  $\bar{c} = 0,4$ , за формулою (4.46) знаходимо:

$$P(0,3 < C < 0,4) = \Phi\left(\frac{0,4 - 0,35}{0,037}\right) - \Phi\left(\frac{0,3 - 0,35}{0,037}\right) = 2\Phi(1,35) = 2 \cdot 0,4115 = 0,823 \quad (4.47)$$

Приклад розв'язання задачі формування рудопотоку кар'єру показав, що за нормального закону розподілу, який визначається з в.к.к. в руді після усереднення



при видобутку в кар'єрі з чотирьох забоїв, що дорівнює 0,35, та за середньоквадратичного відхилення 0,037, вірогідність того, що вміст корисного компонента в сформованому рудопотоці буде перебувати в межах запланованого діапазону (0,3–0,4) складає  $P=0,823$  [101].

Використання даної методики розв'язання шихтувальної задачі дозволить формувати рудопотік із вмістом корисного компонента в заданому діапазоні з високим рівнем вірогідності.

#### 4.2. Математична модель процесу стабілізації якісних характеристик рудопотоку

Відомо, що стабілізація якісних характеристик рудопотоку є досить актуальною проблемою, вирішення якої безпосередньо впливає на якість кінцевої продукції – концентрату.

Коливання вмісту корисного компонента в рудопотоці знижують ефективність збагачувального виробництва, негативно впливаючи на основні техніко-економічні показники роботи гірничо-збагачувального комбінату.

Розглянемо математичну модель співвідношення початкового та додаткового обсягу рудної маси та в.к.к. для стабілізації амплітуди коливань корисного компонента в рудопотоці [102].

Стабілізація амплітуди коливань корисного компонента може бути досягнута обмеженням його відхилень від заданої величини, які визначаються мінімаксним коефіцієнтом «minimax», при цьому має виконуватися вимога

$$c_{\min} < c_1 < c_{\max}, \quad (4.48)$$

де  $c_{\min}$ ,  $c_{\max}$  – мінімальна та максимальна величини в.к.к. в руді.

Приймаючи до уваги рівність  $c_{cm} = \delta_0 \cdot c_0 + (1 - \delta_0) \cdot c_1$ , умова (4.48) набуде вигляду:

$$c_{\min} < \delta_0 c_0 + (1 - \delta_0) c_1 < c_{\max}, \quad (4.49)$$

де  $\delta_0, \delta_1$  – відносна частка руди з вмістом заліза  $c_0, c_1$  в рудопотоці. Враховуючи, що  $\delta_0 = 1 - \delta_1$ , нерівність (4.49) набуде вигляду

$$c_{\min} < (1 - \delta_1) c_0 + \delta_1 c_1 < c_{\max}. \quad (4.50)$$

Нерівність (4.50) послідовно перетвориться до вигляду

$$\begin{aligned} c_{\min} &< c_0 + \delta_1 (c_1 - c_0) < c_{\max} && \text{або} \\ c_{\min} - c_0 &< \delta_1 (c_1 - c_0) < c_{\max} - c_0. && (4.51) \end{aligned}$$

В подальшому необхідно розглянути два випадки.

В першому випадку

$$c_1 > c_{\max}. \quad (4.52)$$

Тоді згідно (4.4) нерівність (4.3) буде виконуватися за умови

$$\delta_1 \leq \frac{c_{\max} - c_0}{c_1 - c_0}. \quad (4.53)$$

У другому випадку

$$\delta_1 \leq \frac{c_0 - c_{\min}}{c_0 - c_1}. \quad (4.54)$$

Розглянемо процес змішування обсягів руди з забоїв при формуванні рудопотоку в певний період часу.

Виходячи з того, що  $\delta_1 = M_1 / (M_0 + M_1)$ , нерівність (4.53) послідовно спочатку перетвориться до вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{M_1}{M_0 + M_1} \leq \frac{c_{\max} - c_0}{c_1 - c_0} &\Rightarrow \frac{M_1}{M_0 + M_1} \leq \frac{c_{\max} - c_0}{c_1 - c_0} \Rightarrow \frac{M_0 + M_1}{M_1} \geq \frac{c_1 - c_0}{c_{\max} - c_0} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{M_0}{M_1} + 1 &\geq \frac{c_1 - c_0}{c_{\max} - c_0} \Rightarrow \frac{M_0}{M_1} \geq \frac{c_1 - c_0}{c_{\max} - c_0} - 1 \Rightarrow \frac{M_0}{M_1} \geq \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0}, \end{aligned}$$

та, остаточно

$$M_0 \geq \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} M_1. \quad (4.55)$$

Таким чином, якщо рудопотік із загальним обсягом рудної маси  $M_1$  має фактичний вміст корисного компонента  $c_1$ , який – вище максимально заданої величини вмісту  $c_{\max}$ , то для виконання умови  $c_1 < c_{\max}$  необхідно при його формуванні додати з резервного забою обсяг руди масою  $M_0$  з вмістом корисного компонента  $c_0$ , який визначається умовою (4.55) [102].

У другому випадку, коли має місце нерівність (4.54), повинна виконуватися умова (4.55). В цьому випадку нерівність (4.54) послідовно перетвориться до вигляду

$$\begin{aligned} \delta_1 \leq \frac{c_0 - c_{\min}}{c_0 - c_1} &\Rightarrow \frac{M_1}{M_0 + M_1} \leq \frac{c_0 - c_{\min}}{c_0 - c_1} \Rightarrow \frac{M_0 + M_1}{M_1} \geq \frac{c_0 - c_1}{c_0 - c_{\min}} \Rightarrow \\ \Rightarrow \frac{M_0}{M_1} + 1 &\geq \frac{c_0 - c_1}{c_0 - c_{\min}} \Rightarrow \frac{M_0}{M_1} \geq \frac{c_0 - c_1}{c_0 - c_{\min}} - 1 \Rightarrow \frac{M_0}{M_1} \geq \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}}, \end{aligned}$$

в результаті

$$M_0 \geq \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}} M_1. \quad (4.56)$$

Таким чином, якщо рудопотік масою  $M_1$  має вміст корисного компонента  $c_1$ , який – нижче мінімального вмісту  $c_{\min}$ , то для виконання протилежної нерівності  $c_1 > c_{\min}$  необхідно при формуванні рудопотоку додати з резервного забою обсяг руди масою  $M_0$  з вмістом  $c_0$ , який визначається умовою (4.56) [101].

Диференціюючи (4.55) та (4.56) за часом, знаходимо умови, що накладаються на обсяги руди з різним в.к.к. для вирішення поставленого завдання. У разі, коли має місце (4.52), повинна виконуватися нерівність, отримана шляхом диференціювання за часом виразу (4.55)

$$Q_0 \geq \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} Q_1. \quad (4.56)$$

За наявності (4.53), повинна виконуватися нерівність, отримана шляхом диференціювання за часом (4.56)

$$Q_0 \geq \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}} Q_1. \quad (4.57)$$

Записані вище умови (4.55) та (4.56) можна представити в загальній формі

$$M_0 = \begin{cases} \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}} M_1 & c_1 < c_{\min} \\ 0 & c_{\min} \leq c_1 \leq c_{\max} \\ \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} M_1 & c_1 > c_{\max} \end{cases}. \quad (4.58)$$

Якщо продиференціювати (4.58) за часом, то отримаємо формулу для визначення величини додаткового обсягу руди, необхідного для вирішення даної задачі

$$Q_0 = \begin{cases} \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}} Q_1 & c_1 < c_{\min} \\ 0 & c_{\min} \leq c_1 \leq c_{\max} \\ \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} Q_1 & c_1 > c_{\max} \end{cases} \quad (4.59)$$

Як і в попередньому випадку, перехід від нерівностей (4.55)–(4.58) до рівності (4.59) та (4.60) дозволяє використовувати мінімальний початковий обсяг руди в рудопотоці  $M_0$  і додатковий обсяг руди  $Q_0$  для вирішення даного завдання стабілізації амплітудних коливань якості.

Користуючись функцією Хевісайда, формули (4.59) і (4.60) можна відповідно записати в компактному вигляді

$$M_0 = \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}} M_1 \cdot (1 - \eta(c_1 - c_{\min})) + \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} M_1 \cdot \eta(c_1 - c_{\max}), \quad (4.61)$$

$$Q_0 = \frac{c_{\min} - c_1}{c_0 - c_{\min}} Q_1 \cdot (1 - \eta(c_1 - c_{\min})) + \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} Q_1 \cdot \eta(c_1 - c_{\max}) \quad (4.62)$$

У безрозмірному вигляді формули (4.14) і (4.15) набудуть вигляду:

$$\mu = \frac{\epsilon_{\min} - \epsilon_1}{1 - \epsilon_{\min}} \cdot (1 - \eta(\epsilon_1 - \epsilon_{\min})) + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_{\max}}{\epsilon_{\max} - 1} \cdot \eta(\epsilon_1 - \epsilon_{\max}), \quad (4.63)$$

$$q = \frac{\epsilon_{\min} - \epsilon_1}{1 - \epsilon_{\min}} \cdot (1 - \eta(\epsilon_1 - \epsilon_{\min})) + \frac{\epsilon_1 - \epsilon_{\max}}{\epsilon_{\max} - 1} \cdot \eta(\epsilon_1 - \epsilon_{\max}), \quad (4.64)$$

де

$$\epsilon_{\min} = \frac{c_{\min}}{c_0}, \quad \epsilon_{\max} = \frac{c_{\max}}{c_0}, \quad \epsilon_1 = \frac{c_1}{c_0}.$$

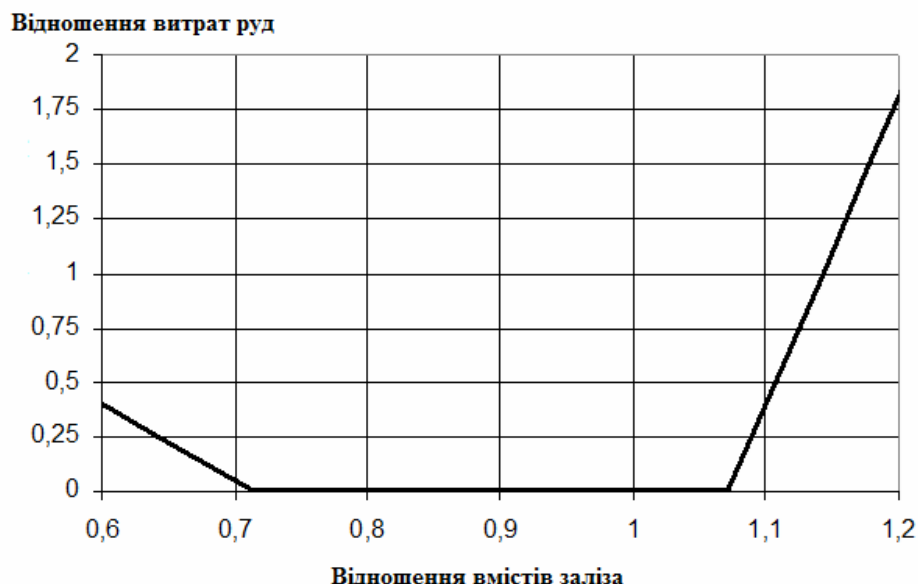


Рис. 4.3. Залежність співвідношення обсягів руди при формуванні рудопотоку від відношення вмістів корисного компоненту в руді  $\epsilon_1 = \frac{c_1}{c_0}$

На рис. 4.3 представлено графік функції (4.64) для умов  $c_{\min} = 20\%$ ,  $c_{\max} = 30\%$ ,  $c_0 = 28\%$ , який відображає процес стабілізації коливань корисного компоненту в рудопотоці кар'єру через розрахунок відношення об'ємів руди з різним вмістом корисного компоненту.

Відношення обсягів руд в даному випадку свідчить про необхідність застосування шихтування з резервного забою, що має вміст, котрий дорівнює  $c_0 = 28\%$  в діапазоні відношення вмісту корисного компоненту від 0,71 до 1,08 [102].

4.3. Дослідження випадкового процесу, що описує вміст корисного компоненту в рудопотоці з метою його прогнозування і подальшого зниження коливань

Вирішення проблеми зниження коливань в.к.к. в руді, що надходить на переробку на рудозбагачувальну фабрику, має ґрунтуватися на методах стохастичного управління. Першим кроком при цьому є дослідження випадкового

процесу, що описує вміст заліза в рудопотоці на вході РЗФ, з метою можливості прогнозування показника вмісту корисного компонента для подальшої стабілізації його коливань.

Внаслідок дискретності надходження інформації про в.к.к. в рудопотоці на вході рудозбагачувальної фабрики, випадковий процес, що описує вміст корисного компонента, можна розглядати як дискретний часовий ряд. При дослідженні цих рядів найбільш ефективним є використання параметричних математичних моделей.

Параметричні методи для даної задачі є найбільш ефективними, оскільки використовують меншу кількість параметрів у порівнянні з непараметричними (наприклад, спектральним аналізом). Слід зазначити, що параметричні моделі під час їх побудови вимагають більш повної апріорної інформації про часові ряди, що досліджуються, зокрема, необхідно вибрати структуру моделі часового ряду. При такому підході обґрунтовано застосування статистичної теорії оцінювання і теорії перевірки статистичних гіпотез.

Нехай на вхід РЗФ надходить фінальний рудопотік. Позначимо в.к.к., що були виміряні у моменти часу  $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_N$ , через  $c(t_1), c(t_2), \dots, c(t_k), \dots, c(t_N)$ . Враховуючи, що в.к.к. вимірюється через фіксований інтервал часу  $\Delta$ , то часовий ряд, який описує вміст корисного компонента в руді, являє собою послідовність величин вмісту, які є позначенням виміряних в.к.к. в рівновіддалені моменти часу  $t_0 + \Delta, t_0 + 2\Delta, \dots, t_0 + k\Delta, \dots, t_0 + N\Delta$

$$c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_N. \quad (4.65)$$

В подальшому, якщо прийняти  $t_0$  за початок відліку, а  $\Delta$  за одиницю часу, то  $c_t$  можна розглядати як вміст корисного компонента в момент часу  $t$ .

Послідовність (4.65) є випадковим (недетермінованим) часовим рядом. Тому його майбутні значення можуть бути описані тільки за допомогою статистичних розподілів.

Для побудови стохастичної моделі часового ряду (4.65) з метою прогнозування та регулювання якісних показників рудопотоку представляється доцільним скористатися параметричною моделлю, що має назву процесу авторегресії – проінтегрованого змінного середнього (АРПЗС) порядку

$$\varphi(B)c_t = \theta(B)a_t, \quad (4.66)$$

де  $\varphi(B) = \phi(B)(1 - B)^d$ ,

$\phi(B) = 1 - \phi_1 B - \phi_2 B^2 - \dots - \phi_p B^p$  – оператор авторегресії порядку  $p$ ,

$\theta(B) = 1 - \theta_1 B - \theta_2 B^2 - \dots - \theta_q B^q$  – оператор змінного середнього порядку  $q$ ,

$\phi_1, \phi_2, \dots, \phi_p, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_q$  – числові параметри, які оцінюються за статистичними даними.

$B$  – оператор зсуву назад, який визначається як  $Bc_t = c_{t-1}$ .

$a_t$  – послідовність незалежних імпульсів, тобто випадкових величин, з нормальним розподілом, яка має нульове середнє і дисперсію  $\sigma_a^2$  («білий шум»).

На практиці число параметрів, яке необхідно оцінити за статистичними даними, повинно бути мінімальним, що становить принцип економії. Таким чином, модель часового ряду повинна бути не тільки адекватною, але й економною.

На рис. 4.4 показано щомісячні усереднені значення сировинної якості – вмісту заліза магнітного в фінальному рудопотоці на вході рудо-збагачувальної фабрики ПАТ «Полтавський ГЗК» протягом одного року, які представлені у вигляді часового ряду.

Візуальний аналіз часового ряду дозволяє зробити висновок про його нестационарність.

Цей ряд не має фіксованого середнього значення, біля якого відбуваються його коливання. Разом з тим, такий ряд можна звести до можливості опису



стаціонарної моделі, скориставшись тим, що  $d$  – а різниця цього ряду є стаціонарним стохастичним рядом.

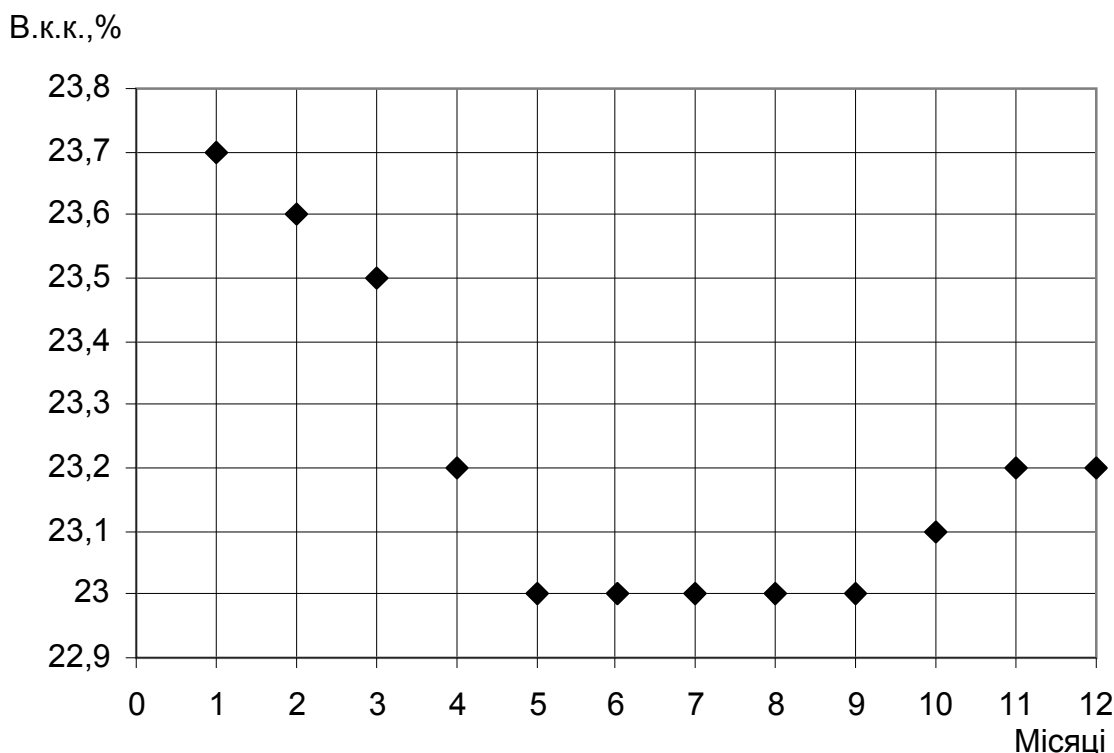


Рис. 4.4. Щомісячні усереднені показники вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці РЗФ ПАТ «Полтавський ГЗК»

У табл. 4.2 наведено середньомісячні величини в.к.к. (заліза магнітного) у фінальному рудо потоці на вході РЗФ ПАТ «Полтавський ГЗК» і розраховані перші різниці.

Аналіз величин перших різниць, які розраховуються за формулою:

$$z_t = \nabla c_t = c_t - c_{t-1}, \quad (4.67)$$

показує, що часовий ряд, який отримується, та який наведено в табл. 4.2, можна вважати стаціонарним.

Таблиця 4.2

Усереднені середньомісячні величини вмісту заліза магнітного у фінальному рудопотоці рудо-збагачувальної фабрики ПАТ «Полтавський ГЗК»

| Місяці | Середньомісячний вміст заліза магнітного в руді, % | Перші різниці вмісту заліза магнітного в руді, % |
|--------|----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1      | 23,7                                               |                                                  |
| 2      | 23,6                                               | -0,1                                             |
| 3      | 23,5                                               | -0,1                                             |
| 4      | 23,2                                               | -0,3                                             |
| 5      | 23                                                 | -0,2                                             |
| 6      | 23                                                 | 0                                                |
| 7      | 23                                                 | 0                                                |
| 8      | 23                                                 | 0                                                |
| 9      | 23                                                 | 0                                                |
| 10     | 23,1                                               | 0,1                                              |
| 11     | 23,2                                               | 0,1                                              |
| 12     | 23,2                                               | 0                                                |

Для знаходження структури моделі часового ряду, складеного з перших різниць (4.67), необхідно обчислити вибіркові автокореляції за формулою

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (z_t - \bar{z})(z_{t+k} - \bar{z})}{\sum_{t=1}^N (z_t - \bar{z})^2} \quad (4.68)$$

У табл. 4.3 наведено результати розрахунків за формулою (4.68).

Таблиця 4.3

#### Вибіркові автокореляції

| $k$   | 0 | 1     | 2     | 3     |
|-------|---|-------|-------|-------|
| $r_k$ | 1 | 0,623 | 0,231 | 0,274 |

Аналіз результатів розрахунків величин вибірових автокореляцій дозволяє зробити висновок, що в якості структури моделі часового ряду (4.67) можна вибрати процес авторегресії другого порядку:

$$z_t = \phi_1 z_{t-1} + \phi_2 z_{t-2} + a_t, \quad (4.69)$$

де  $\phi_1, \phi_2$  – числові параметри.

Для апріорного пошуку параметрів, що входять в (4.69), необхідно скористатися рівняннями Юла-Уокера, які в даному випадку набувають вигляду

$$\begin{cases} \phi_1 + \phi_2 \cdot r_1 = r_1 \\ \phi_1 \cdot r_1 + \phi_2 = r_2 \end{cases} \quad (4.70)$$

Розв'язавши систему рівнянь щодо  $\phi_1$  та  $\phi_2$ , знаходимо

$$\phi_1 = \frac{r_1(1-r_2)}{1-r_1^2}, \quad \phi_2 = \frac{r_2-r_1^2}{1-r_1^2}. \quad (4.71)$$

Однак для стаціонарності моделі авторегресії другого порядку необхідно, щоб параметри  $\phi_1$  та  $\phi_2$  задовольняли нерівностям

$$\begin{aligned} \phi_2 + \phi_1 &< 1, \\ \phi_2 - \phi_1 &< 1, \\ -1 &< \phi_2 < 1. \end{aligned} \quad (4.72)$$

Підставляючи величини вибірових автокореляцій, представлені в табл. 3.3, в формули (4.71), знаходимо

$$\phi_1 = 0,776, \quad \phi_2 = -0,251. \quad (4.73)$$

Величини  $\phi_1$  та  $\phi_2$ , наведені в (4.73), задовольняють умові стаціонарності синтезованої моделі (4.72). Підставляючи параметри  $\phi_1$  та  $\phi_2$  в рівняння авторегресії другого порядку (4.69), отримуємо

$$z_t = 0,776z_{t-1} - 0,251z_{t-2} + a_t. \quad (4.74)$$

Підставляючи (4.67) в рівняння (4.74), остаточно одержуємо рівняння, яке моделює часовий ряд, представлений в табл. 3.3

$$c_t = 1,776c_{t-1} - 1,026c_{t-2} + 0,251c_{t-3} + a_t. \quad (4.75)$$

Для уточнення знайдених параметрів моделі часового ряду необхідно скористатися методом найменших квадратів. З цією метою складається функція, що представляє собою суму квадратів відхилень

$$\Phi(b_1, b_2, b_3) = \sum_{t=4}^N a_t^2 = \sum_{t=4}^N (c_t - b_1c_{t-1} - b_2c_{t-2} - b_3c_{t-3})^2, \quad (4.76)$$

де  $b_1, b_2, b_3$  – невідомі параметри.

Так як невідомі параметри входять в рівняння лінійно, то мінімізація функції (4.76) приводить до системи трьох лінійних алгебраїчних рівнянь відносно потрібних параметрів  $b_1, b_2, b_3$

$$\begin{cases} b_1 \sum_{t=4}^N c_{t-1}^2 + b_2 \sum_{t=4}^N c_{t-2}c_{t-1} + b_3 \sum_{t=4}^N c_{t-3}c_{t-1} = \sum_{t=4}^N c_t c_{t-1} \\ b_1 \sum_{t=4}^N c_{t-1}c_{t-2} + b_2 \sum_{t=4}^N c_{t-2}^2 + b_3 \sum_{t=4}^N c_{t-3}c_{t-2} = \sum_{t=4}^N c_t c_{t-2} \\ b_1 \sum_{t=4}^N c_{t-1}c_{t-3} + b_2 \sum_{t=4}^N c_{t-3}c_{t-2} + b_3 \sum_{t=4}^N c_{t-3}^2 = \sum_{t=4}^N c_t c_{t-3} \end{cases} \quad (4.77)$$

Підставляючи величини вмістів, взяті з табл. 4.2, в систему лінійних рівнянь (4.77) і розв'язуючи її, знаходимо

$$b_1=1,732, \quad b_2=-0,972, \quad b_3=0,241. \quad (4.78)$$

Підставляючи результати в рівняння, отримаємо модель часового ряду, що практично збігається зі знайденою при апіорному налаштуванні

$$c_t = 1,732c_{t-1} - 0,972c_{t-2} + 0,241c_{t-3}. \quad (4.79)$$

На рис. 4.5 представлено графіки середньомісячних вмістів магнітного заліза в руді, прогнозованих на один місяць вперед за формулою

$$\epsilon_t(1) = 1,732c_t - 0,972c_{t-1} + 0,241c_{t-2} \quad (4.80)$$

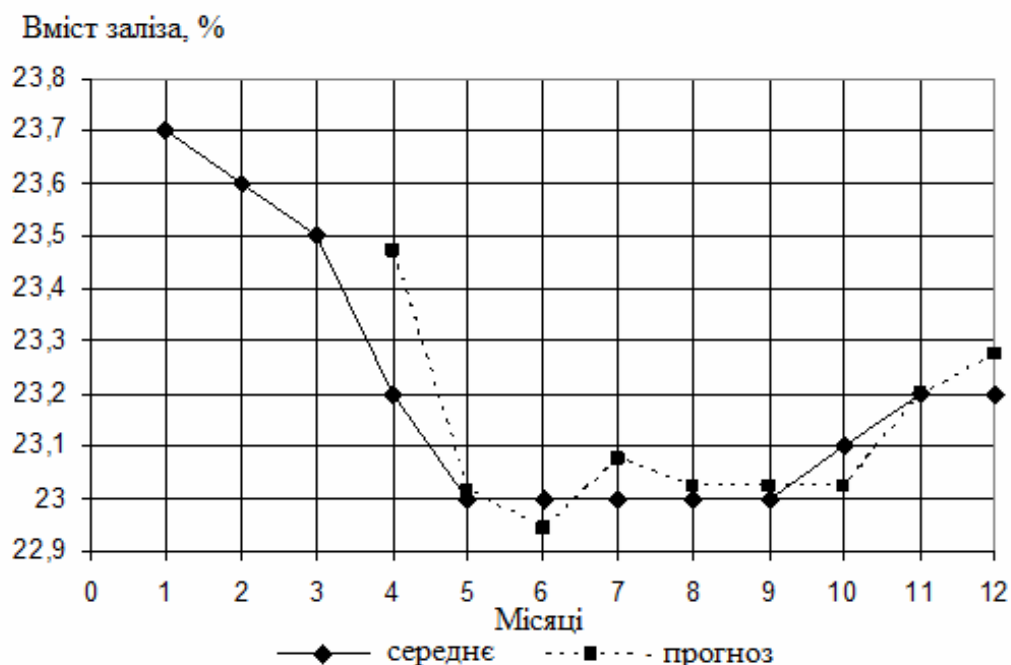


Рис. 4.5. Графіки середньомісячних вмістів магнітного заліза в руді фінального рудопотока, прогнозованих на один місяць вперед для ПАТ «Полтавський ГЗК»

Таким чином, дослідження випадкового процесу, що описує вміст корисного компонента в рудопотоці за допомогою математичного апарату, дає можливість прогнозування на місяць вперед якісних характеристик рудопотоку і подальшої стабілізації амплітудних коливань.

Аналіз наведених графіків, які побудовані за формулою  $\epsilon_t(1) = 1,732c_t - 0,972c_{t-1} + 0,241c_{t-2}$ , показує достатню збіжність реальних і змодельованих величин вмісту заліза у вихідній руді на вході збагачувальної фабрики ПАТ «Полтавський ГЗК» [103].

#### 4.4. Обґрунтування періоду опробування якості в забоях кар'єру на основі статистичних даних

Формування рудопотоку із заданими показниками якості здійснюється на підставі розв'язання шихтувального завдання, що полягає в розподілі обсягів видобутку між забоями з різними показниками вмісту корисного компонента на весь період робочої зміни. При розв'язанні даного завдання апріорно вважається, що забої починають роботу одночасно і працюють усю зміну без зупинок. Другим допуском при розв'язанні шихтувального завдання є постійне середнє значення вмісту корисного компонента в кожному окремо взятому забої протягом всієї зміни.

Насправді, впродовж зміни відбуваються суттєві відхилення від початкового розрахунку шихтувального завдання, що безпосередньо впливає на якісні характеристики рудопотоку. Зумовлюються ці відхилення неодноразовістю початку роботи по забоях, поломками устаткування в забоях упродовж зміни (повна зупинка забою), а також існуючою динамікою зміни вмісту корисного компонента в кожному видобувному забої.

У зв'язку з цим, для усунення дисбалансу між розрахунковим і фактичним значенням вмісту корисного компонента при формуванні фінального рудопотоку, необхідно виконувати коригувальний перерахунок у розв'язанні шихтувального завдання. Після виконання коригування навантаження на забої

перерозподіляються з урахуванням фактичного стану працездатності обладнання та поточного значення вмісту корисного компонента [104].

Вміст корисного компоненту в кожному забої визначається шляхом оперативного опробування з передачею даних на центральний сервер. При цьому факторами, що заважають, є запізнювання передачі інформації та різночасність опробування різних забоїв. Спираючись на різницю між попереднім і наступним середнім значенням вмісту, можна визначити необхідність внесення коригування.

Для забезпечення центрального сервера достовірною та своєчасною інформацією про стан якісних характеристик у забоях, необхідно визначити інтервал проведення опробування, виходячи з існуючого масиву статистичних даних про вміст корисного компонента в забоях і динаміки його зміни.

На сьогоднішній день у залізорудних кар'єрах України служби технічного контролю роблять виміри вмісту корисного компонента щозміни, використовуючи наявну в них апаратну базу, і виходять при цьому перш за все з технічних можливостей їх пристроїв з контролю якості. Період зняття інформації про вміст корисного компонента (опробування) – математично і технологічно не обґрунтований [105].

Обґрунтований період опробування дозволить отримувати більш достовірну інформацію про фактичні значення й динаміку зміни вмісту корисного компонента в забоях, які в подальшому будуть використані для виконання розрахунку змінно-добового завдання з метою формування рудопотоку із заданими параметрами за якістю. Похибка вимірювання в.к.к., як і особливості технологічних процесів при переробці руди, вказують на можливість обліку зміни в.к.к. з певною дискретністю. Це приводить до висновку про можливість вимірювання в.к.к. з певною дискретністю в часі та розглядати потік руди як дискретний часовий ряд.

Згідно із загальним підходом для чисельного аналізу вмісту корисного компонента в руді, виміри цього вмісту  $c(t)$  як безперервного в часі, необхідно здійснювати через деякий фіксований інтервал  $\Delta$ . Отримані таким чином дискретизовані значення будуть потім використовуватися для обчислень.

Дискретизовані значення можна розглядати як результат множення початкового безперервного часового ряду  $c(t)$  на часовий ряд  $i(t)$ , що складається з нескінченної низки дельта-функцій

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta), \quad (4.81)$$

$$\text{де } \delta(t) = \begin{cases} 0, & t \neq 0 \\ \infty, & t = 0 \end{cases}.$$

Це дає імпульсно-модульований вміст корисного компонента в руді:

$$c_i(t) = c(t)i(t). \quad (4.82)$$

Тоді, користуючись теоремою про згортку, знаходимо подання формули (4.82) в частотній області:

$$C_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(f - g)I(g)dg, \quad (4.83)$$

де  $C(f), I(f)$  – перетворення Фур'є від  $c(t)$  та  $i(t)$ , відповідно.

Враховуючи, що

$$I(g) = \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(g - \frac{n}{\Delta}\right), \quad (4.84)$$

формула (4.83) перетвориться до вигляду

$$C_i(f) = \int_{-\infty}^{\infty} C(f - g) \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta\left(g - \frac{n}{\Delta}\right) dg = \frac{1}{\Delta} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C\left(f - \frac{n}{\Delta}\right). \quad (4.85)$$



Рівність (4.85) показує, що імпульсно-модульований вміст корисного компонента в руді  $c(t)$  є перетворенням Фур'є з періодом  $1/\Delta$ . Якщо  $C(f)$  обертається на нуль при  $|f| \geq 1/(2\Delta)$ , то  $C_i(f)$  є періодично повторюваною функцією  $C(f)$ . Це означає, що можна відновити  $C(f)$  за  $C_i(f)$ , помноживши  $C_i(f)$  на  $H(f)$ , де

$$H(f) = \begin{cases} \Delta, & |f| \leq \frac{1}{2\Delta} \\ 0, & |f| > \frac{1}{2\Delta} \end{cases}. \quad (4.86)$$

Функція (4.86) є спектральним вікном і знаходиться, як перетворення Фур'є від часового вікна

$$h(t) = \frac{\Delta}{\pi \cdot t} \sin\left(\frac{\pi \cdot t}{\Delta}\right). \quad (4.87)$$

Так як множенню в частотній області відповідає згортка в часовій області, то, з урахуванням (4.87), отримуємо

$$c(t) = \frac{\Delta}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{u} \sin\left(\frac{\pi \cdot u}{\Delta}\right) \cdot c_i(t-u) du. \quad (4.88)$$

Частота  $f_N = 1/(2\Delta)$  називається частотою Найквіста-Котельникова і є найвищою частотою, яку можна виявити за даними, отриманими з інтервалом відліку  $\Delta$ . Для аналізу часового ряду, складеного з в.к.к. в руді, з метою знаходження оптимального періоду вимірювання, досліджуємо спектральні властивості цього ряду, які спираються на властивості автокореляційної функції і нормованого спектра. Якщо автокореляційна функція оцінюється за формулою

$$r_k = \frac{d_k}{d_0}, \quad (4.89)$$

де  $d_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (c_i - \bar{c})(c_{i+k} - \bar{c})$ ,  $\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_i$ ,  $k = 0, 1, 2, \dots, K$ , то вибіркового нормованого

спектра визначається за допомогою автокореляцій (4.89) наступним чином

$$S(f) = 2(1 + 2 \sum_{k=1}^{K-1} r_k \cos(2\pi \cdot f \cdot k)), \quad 0 \leq f \leq 0,5. \quad (4.90)$$

Таким чином, вибіркового нормованого спектра – це косинус-перетворення Фур'є вибіркової автокореляційної функції. Аналізуючи графік вибіркового нормованого спектра (4.90), можна оцінити розподіл дисперсії часового ряду за частотами.

На рис. 4.6 наведено величини вмістів магнітного заліза в руді, що добувається в кар'єрі №3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» різними екскаваторами впродовж місяця. Опробування видобувних забоїв виконувалися з інтервалом у 12 годин.

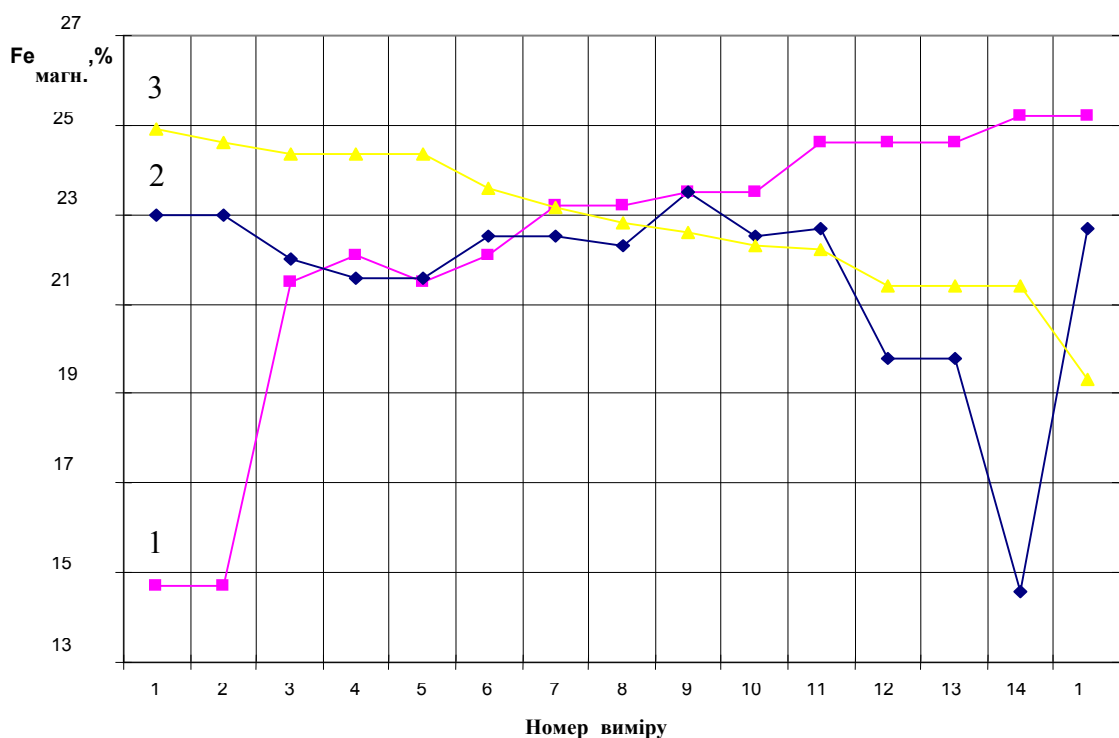


Рис. 4.6. Результати вимірів вмісту  $Fe_{\text{магн.}}$ , % в кар'єрі №3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»: 1 – екскаватор №56, 2 – екскаватор №23, 3 – екскаватор №97

Якщо значення дисперсії – сконцентровані на низьких частотах, що менші за частоти Найквіста-Котельникова  $f_N$ , то дискретність опробування можна збільшити [106]. Розглянемо приклад обґрунтування періоду опробування забоїв кар'єру на підставі статистики в.к.к. У табл. 4.4 подано значення вибірових автокореляційних функцій, розрахованих за (4.89).

Таблиця 4.4

| Значення вибірових автокореляційних функцій |       |      |      |
|---------------------------------------------|-------|------|------|
| №<br>екскаватора                            | 93    | 56   | 23   |
| 1                                           | 0,67  | 0,57 | 0,73 |
| 2                                           | 0,41  | 0,42 | 0,51 |
| 3                                           | 0,37  | 0,42 | 0,36 |
| 4                                           | 0,15  | 0,34 | 0,19 |
| 5                                           | 0,04  | 0,33 | 0,21 |
| 6                                           | -0,21 | 0,43 | 0,20 |
| 7                                           | -0,24 | 0,50 | 0,04 |

На рис. 4.7, 4.8 та 4.9 подано графіки вибірових автокореляційних функцій згідно з даними табл. 4.4.

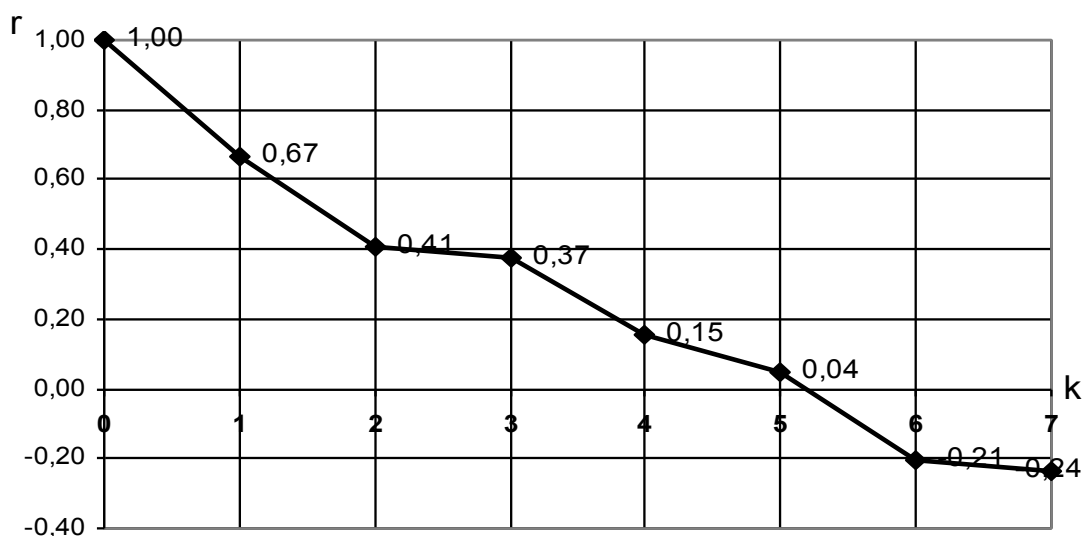


Рис. 4.7. Вибіркова автокореляційна функція вмісту заліза магнітного в руді, що видобувається екскаватором №93



Рис. 4.8. Вибіркова автокореляційна функція вмісту заліза магнітного в руді, що видобувається екскаватором №56

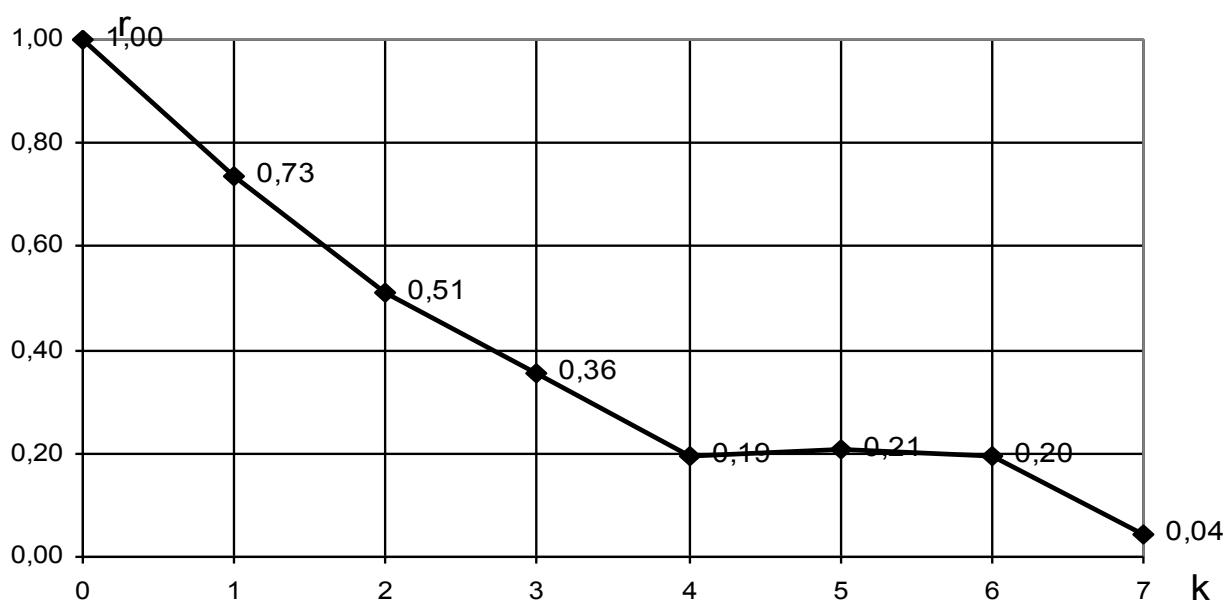


Рис. 4.9. Вибіркова автокореляційна функція вмісту заліза магнітного в руді, що видобувається екскаватором №23

В табл. 4.5 наведено значення вибірових нормованих спектрів, розраховані за формулою (4.90) згідно з даними табл. 4.4. Аналіз вибірових нормованих спектрів, який буде виконано далі, дозволить судити про те, на яких частотах і як концентрується дисперсія рядів, що досліджуються.

На рис. 4.10, 4.11 та 4.12 наведено графіки вибірових нормованих спектрів згідно з даними табл. 4.5.

Таблиця 4.5

Значення вибірових нормованих спектрів, розраховані за формулою (4.90)

| №<br>екскаватора | 93    | 56    | 23    |
|------------------|-------|-------|-------|
| 0                | 6,76  | 19,31 | 10,97 |
| 0,1              | 4,548 | 2,62  | 2,41  |
| 0,2              | 1,167 | 0,03  | 1,29  |
| 0,3              | 0,032 | 0,45  | 0,38  |
| 0,4              | 0,853 | 0,00  | 0,32  |
| 0,5              | 0,04  | 0,00  | 0,23  |

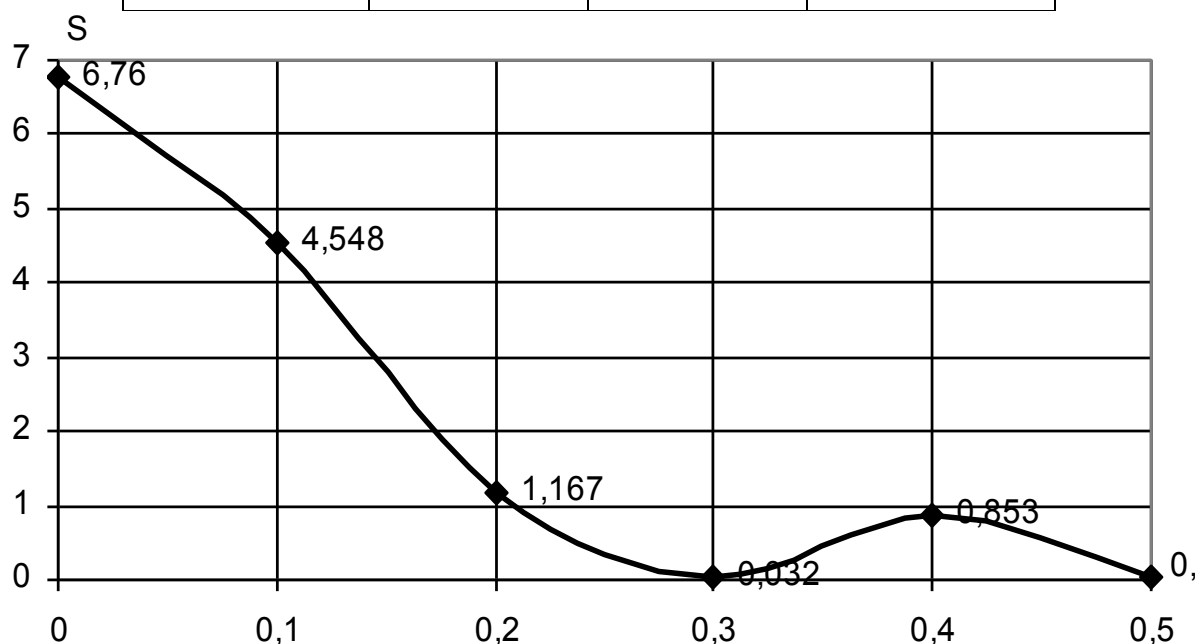


Рис. 4.10. Вибірковий нормований спектр вмісту заліза магнітного в руді, що видобувається екскаватором №93

Аналіз вибірових нормованих спектрів, представлених на рис. 4.10, 4.11 та 4.12, показує, що дисперсія досліджуваних рядів концентрується в основному на низьких частотах, а саме – від 0 до 0,3.

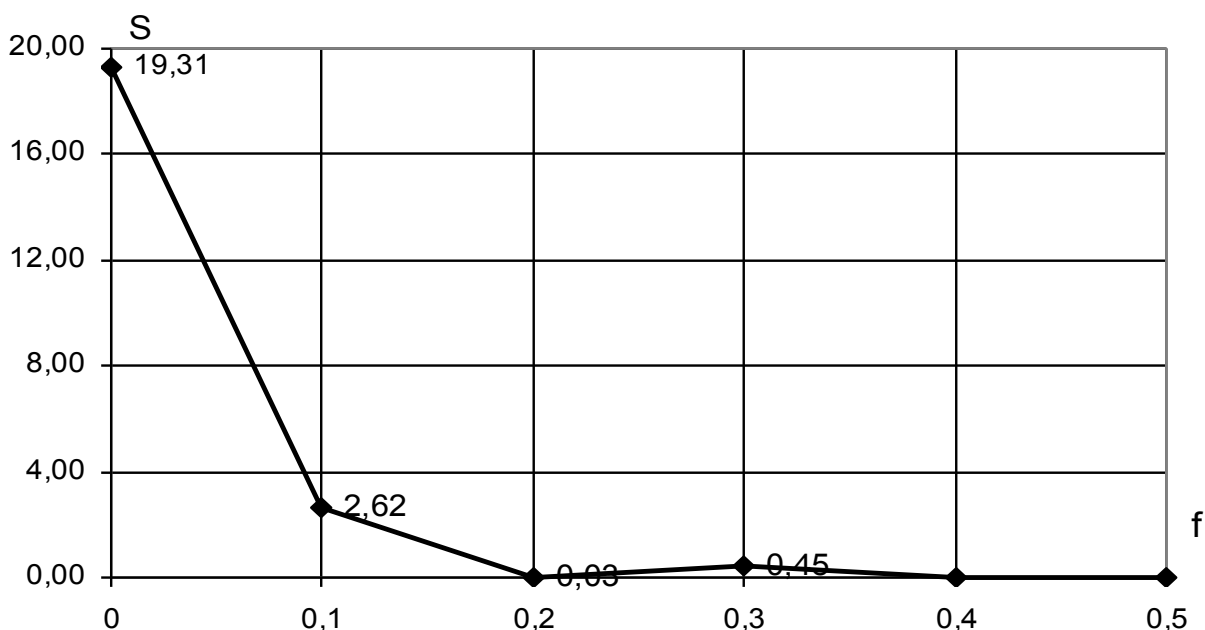


Рис. 4.11. Вибірковий нормований спектр вмісту заліза магнітного в руді, що видобувається екскаватором №56

Таким чином, для можливості виділення частот, пов'язаних зі зміною вмісту заліза в руді, досить вибрати частоту  $f = 0,3/\Delta$ , або позначити період знімання інформації про вміст корисного компонента в забоях кар'єру як  $T = \frac{10 \cdot \Delta}{3}$ .

Беручи до уваги, що згідно з даними про вміст заліза в руді, які зараз використовуються (період  $\Delta=12$  год.), знаходимо період опробування забоїв, який дозволить розрізняти максимальні частоти зміни вмісту заліза в руді

$$T = \frac{10 \cdot 12}{3} = 40 \text{ годин} \quad (4.91)$$

Отримане значення періоду вимірювання вмісту заліза в руді при видобутку в кар'єрі (4.91) вказує на можливість збільшення існуючого періоду в  $\frac{40}{12} = 3\frac{1}{3}$  рази

без втрати необхідної інформації про динаміку зміни вмісту корисного компонента.

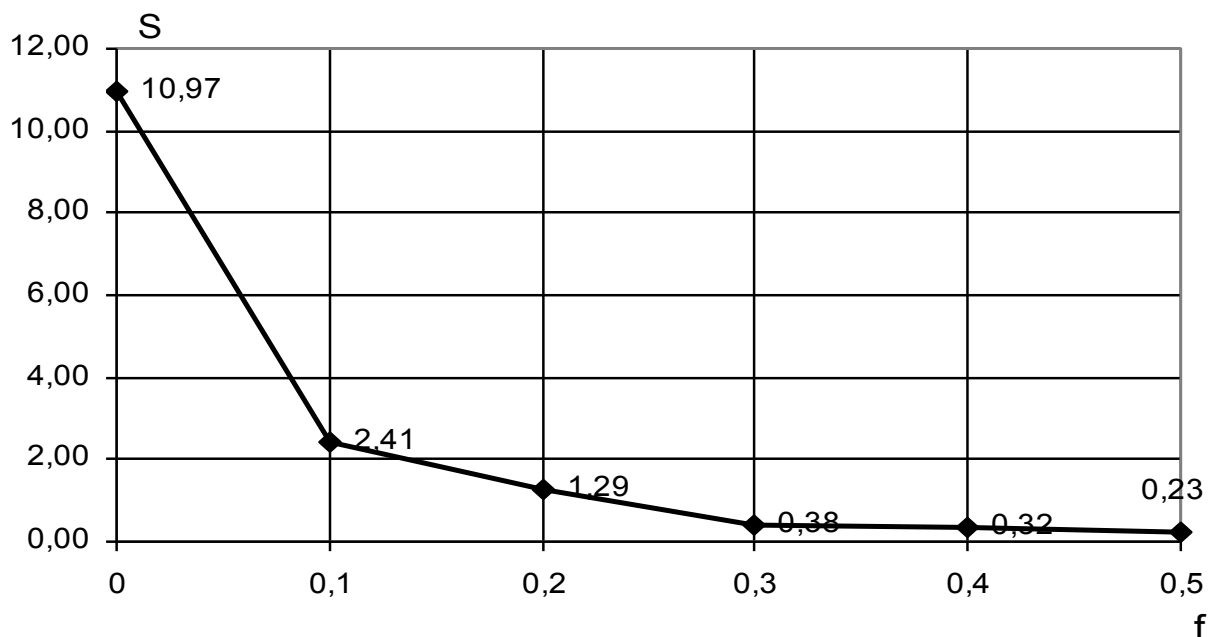


Рис. 4.12. Вибірковий нормований спектр вмісту заліза магнітного в руді, що видобувається екскаватором №23

Таким чином, виходячи зі статистики зміни вмістів корисного компонента в кар'єрі з урахуванням коливань  $Fe_{\text{маг.}}$  в забоях, обґрунтовано можливість збільшення періоду опробування без втрати необхідної інформації про вміст заліза і без зниження якісних характеристик сформованого фінального рудопотоку, що дозволить отримати економію коштів, зменшивши кількість рейсів на опробування у кар'єр. Дана методика може бути застосованою на всіх залізорудних кар'єрах, де є відповідний статистичний матеріал про вміст корисного компонента в видобувних забоях і динаміку його зміни [105].

#### 4.5. Оптимізація періоду опробування забоїв за критерієм мінімізації втрат інформації

Вміст корисного компонента в руді, що видобувається в забоях кар'єру, є стохастичною величиною, що обумовлено геологічними особливостями родовища.

Дослідження впливу стохастичності на процес формування рудопотоку є питанням вельми актуальним. Серед безлічі причин, пов'язаних з вмістом в руді корисного компоненту, що впливають на сировинну якість рудопотоку, представляється доцільним виділити вплив періоду вимірювань в.к.к. в забоях кар'єра.

В.к.к. в руді, що видобувається в забої кар'єру, є випадковою величиною, оскільки не є можливим точно передбачити його майбутнє значення, але – можна описати за допомогою статистичних законів.

Шляхом опробування видобувних забоїв кар'єру можна сформувати статистичну вибірку. Перше завдання, яке при цьому виникає – це репрезентативність отриманої вибірки вмісту корисного компоненту в руді, тобто відповідність характеристик вибірки характеристикам генеральної сукупності в.к.к. в забої в цілому. Таким чином, репрезентативність визначає, наскільки можливо узагальнювати результати дослідження із залученням певної вибірки на всю генеральну сукупність, з якої вона була зібрана. Разом з тим, репрезентативність можна визначити, як властивість вибіркової сукупності представляти параметри генеральної сукупності, які є значущими з точки зору завдань дослідження. Для репрезентативності вибірки необхідним є виконання ряду умов, пов'язаних з організацією експериментів, у розглянутому випадку – відборі проб руди. За даних умов основними вимогами щодо репрезентативності вибірки за вмістом корисного компонента в руді є випадковість відбору проб, їх незалежність і достатній обсяг сформованої вибірки.

Отримана вибірка проб руди з даного забою кар'єру дасть можливість побудувати гістограму в.к.к. в руді. Особливістю аналізу отриманого емпіричного розподілу є те, що цей розподіл дозволяє підтвердити гіпотезу про можливість опису даних за допомогою нормального розподілу з відповідними параметрами: середнім і стандартним відхиленням. Разом з тим, за реальних умов при видобутку руди в забої показник в.к.к. в руді значною мірою є випадковим, що зумовлює сама випадковість збігу факторів у технологічному процесі. Таким чином, внаслідок випадковості процесу визначення в.к.к. руді, вміст, що



спостерігається, фактично є невизначеним, як в конкретний момент часу, так і в наступні моменти, тобто – є реалізацією множини функцій, доступних спостереженню.

Взагалі, властивості випадкового процесу, який визначає в.к.к. в руді, залежать від часу. Але зокрема можна припустити, що даний випадковий процес, перебуває в стані статистичної рівноваги, а саме: статистичні властивості цього процесу не залежать від часу. Останнє означає, що щільність ймовірності не повинна залежати від часу і, отже, буде мати місце стаціонарний процес з постійним середнім значенням і постійної дисперсією.

Нехай  $C(t)$  – стаціонарний випадковий процес, що описує в.к.к. у видобутій руді будь-якого забою в кар'єрі. З припущення про статистичну рівновагу випадкового процесу, який розглядається, випливає, що спільна щільність ймовірності залежить тільки від різниці моментів часу. В цьому випадку автоковаріаційна функція в.к.к. в руді буде залежати тільки від різниці моментів часу  $\tau$  – так зване запізнення

$$R(\tau) = M[(c(t) - M[C])(c(t + \tau) - M[C])], \quad (4.92)$$

де  $M[C]$  – математичне очікування в.к.к. в руді.

Важливо підкреслити, що розглянутий випадковий процес визначення в.к.к. не може залишатися стаціонарним досить довго. Тому виникає запитання, наскільки довгу реалізацію можна використовувати з тим, щоб не порушилося припущення про стаціонарність. Одним із способів такої перевірки є побудова на обраних проміжках часу гістограм в.к.к. в руді. Якщо вид гістограм не змінюється, то гіпотеза про стаціонарність процесу підтверджується [107].

Припустимо, що цей процес є стаціонарним в широкому сенсі та ергодичним, тобто середнє за часом, яке є постійним, збігається із середнім за реалізаціями. В цьому випадку автоковаріаційна функція (4.92) обчислюється за формулою

$$R(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T (c(t) - M[C]) \cdot (c(t + \tau) - M[C]) dt, \quad (4.93)$$

де  $M[C] = \frac{1}{T} \int_0^T c(t) dt$ ,  $[0; T]$  – проміжок часу, на якому зберігається стаціонарність

та ергодичність процесу в.к.к. в руді.

Необхідно підкреслити, що за відсутності запізнювання ( $\tau = 0$ ) формула (4.93) визначає дисперсію в.к.к. в руді

$$R(0) = \frac{1}{T} \int_0^T (c(t) - M[C])^2 dt = D[C]. \quad (4.94)$$

Для випадкового процесу, що розглядається, за допомогою співвідношення Хинчина-Вінера можна записати формулу для спектральної щільності через косинус-перетворення Фур'є

$$S(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau, \quad (4.95)$$

де  $\omega$  – кругова частота.

У свою чергу, автоковаріаційна функція (4.93) виражається через зворотне косинус-перетворення Фур'є від спектральної щільності

$$R(\tau) = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega\tau) d\omega. \quad (4.96)$$

Необхідно підкреслити, що за відсутності запізнювання ( $\tau = 0$ ) згідно (3.94) формула (4.96) набуває вигляду

$$D[C] = 2 \int_0^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (4.97)$$

Таким чином, спектральна щільність характеризує розподіл «розкиду» вмісту корисного компонента в руді за частотами.

На практиці вимірювання величини в.к.к. проводиться або за допомогою хімічного аналізу, що характеризується певною часовою інерцією, або за допомогою геофізичного обладнання. Вимірювання проводяться з деяким інтервалом відліку  $\Delta$ , та вихідний випадковий процес перетворюється в дискретний часовий ряд. У зв'язку з цим виникає питання про вплив тривалості інтервалу відліку  $\Delta$  між вимірюваннями на втрату інформації про властивості вихідного процесу. Якщо вимірювання вмісту корисного компонента в руді проводяться з дискретністю  $\Delta$ , то максимальна частота, яка може бути зафіксована в цьому випадку, дорівнює

$$\omega = \frac{2\pi}{\Delta} \quad (4.98)$$

Тоді втрата інформації про дисперсію в.к.к. в руді складатиме величину

$$\delta D[C] = 2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta}}^{\infty} S(\omega) d\omega \quad (4.99)$$

Беручи до уваги, що СКВ обчислюється за формулою

$$\sigma_C = \sqrt{D[C]}. \quad (4.100)$$

Отже, втрата інформації про величину СКВ набуває вигляду

$$\delta \sigma_C = \frac{1}{2\sigma_C} \delta D[C], \quad (4.101)$$

або, з урахуванням (4.97) та (4.99)

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{\sigma_C} \int_{\frac{2\pi}{\Delta}}^{\infty} S(\omega) d\omega. \quad (4.102)$$

У разі, коли руда видобувається в кар'єрі в  $n$  забоях, то в  $k$ -му забої в.к.к. в руді описується випадковим процесом

$$C_k(t), (k=1,2,\dots,n). \quad (4.103)$$

Припускаючи, що цей процес є стаціонарним та ергодичним, для нього можна, згідно (4.93), записати автоковаріаційну функцію

$$R_k(\tau) = \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} (c_k(t) - M[C_k]) \cdot (c_k(t+\tau) - M[C_k]) dt, \quad (4.104)$$

де  $M[C_k] = \frac{1}{T_k} \int_0^{T_k} c_k(t) dt$  – математичне очікування в.к.к. в руді в  $k$ -му забої;

$[0; T_k]$  – проміжок часу, на якому зберігається стаціонарність та ергодичність процесу в.к.к. в  $k$ -му забої.

У свою чергу, спектральна щільність для в.к.к. в  $k$ -му забої, згідно (4.95), обчислюється за формулою

$$S_k(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} R_k(\tau) \cos(\omega\tau) d\tau. \quad (4.105)$$

В результаті дисперсія в.к.к. в руді в  $k$ -му забої, згідно (4.97), записується в формі

$$D[C_k] = 2 \int_0^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (4.106)$$

Тоді, згідно з (4.99), втрата інформації про дисперсії в.к.к. в руді, видобутої в  $k$ -му забої, визначається за формулою

$$\delta D[C_k] = 2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta_k}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega, \quad (4.107)$$

де  $\Delta_k$  – інтервал вимірювання вмісту заліза в  $k$ -му забої.

Вміст заліза в руді при формуванні рудопотоку визначається за формулою

$$C(t) \cdot \sum_{k=1}^n V_k = \sum_{k=1}^n C_k(t) \cdot V_k, \quad (4.108)$$

де  $V_k$  – обсяг руди з  $k$ -го забою, доставлений на шихтовку;

$C(t)$  – в.к.к. в рудопотоці в результаті шихтовки.

Надалі, формулу (4.108) зручно представити у вигляді

$$C(t) = \sum_{k=1}^n \mu_k \cdot C_k(t), \quad (4.109)$$

де  $\mu_k = \frac{V_k}{\sum_{k=1}^n V_k}$  – об'ємна частка руди з  $k$ -го забою, що доставляється на шихтовку.

Тоді дисперсія в.к.к. в рудопотоці, який формується, враховуючи незалежність величин в.к.к. в рудах, що видобуваються в забоях, визначається, згідно (4.109), за формулою

$$D[C] = \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \cdot D[C_k]. \quad (4.110)$$

Втрата інформації про дисперсії в.к.к. у рудопотоці згідно (4.110) визначається за формулою

$$\delta D[C] = \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \cdot \delta D[C_k]. \quad (4.111)$$

Підставляючи (4.107) у формулу (4.111), отримуємо оцінку величини втрати інформації про дисперсії в.к.к. в загальнокар'єрному рудопотоці, в залежності від величини дискретності виміру в.к.к. у руді, видобутої у забоях

$$\delta D[C] = 2 \sum_{k=1}^N \mu_k^2 \cdot \int_{\frac{2\pi}{\Delta_L}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (4.112)$$

Беручи до уваги (4.100), (4.111) та (4.112), можна записати величину втрати інформації щодо СКВ в.к.к. у рудопотоці внаслідок дискретності вимірювання вмісту корисного компонента в забоях

$$\delta \sigma_C = \frac{1}{\sigma_C} \sum_{k=1}^n \mu_k^2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta_k}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (4.113)$$

Руда доставляється з забоїв кар'єру до приймального отвору ЦПТ у продовж певного проміжку часу, тому в.к.к. може бути знайдено за формулою

$$C \cdot \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n V_{ik} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n C_{ik} V_{ik}, \quad (4.114)$$

де  $V_{ik}$  – об'єм руди, що доставляється у  $i$ -й момент часу із  $k$ -го забою;

$C_{ik}$  – в.к.к. у руді, що доставляється у  $i$ -й момент часу із  $k$ -го забою,

$N$  – число рейсів з забоїв у продовж даного проміжку часу.

Надалі, формулу (4.114) зручно представити у вигляді

$$C = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{ik} C_{ik}, \quad (4.115)$$

де  $\mu_{ik} = \frac{V_{ik}}{\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n V_{ik}}$  – об'ємна частка руди з  $k$ -го забою, що доставляється на ЦПТ

у  $i$ -й момент. Дисперсія в.к.к. у сформованому рудопотоці, згідно (4.115), визначається за формулою

$$D[C] = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^n \mu_{ik}^2 D[C_k]. \quad (4.116)$$

Переставляючи знаки підсумовування у формулі (4.116), отримуємо

$$D[C] = \sum_{k=1}^n D[C_k] \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2. \quad (4.117)$$

Тоді втрата інформації щодо дисперсії в.к.к. у рудопотоці визначається за формулою  $\delta D[C] = \sum_{k=1}^n \delta D[C_k] \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2$ , або, враховуючи (4.117)

$$\delta D[C] = 2 \sum_{k=1}^n \mu_{.k}^2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta_k}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega, \quad (4.118)$$

$$\text{де } \mu_{\cdot k}^2 = \sum_{i=1}^N \mu_{ik}^2.$$

В свою чергу, втрата інформації щодо СКВ в.к.к. у рудопотоці визначається, згідно (4.118), за формулою

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{\sigma_C} \sum_{k=1}^n \mu_{\cdot k}^2 \int_{\frac{2\pi}{\Delta_k}}^{\infty} S_k(\omega) d\omega. \quad (4.119)$$

Формули (4.99), (4.102), (4.112), (4.113), (4.118) та (4.119) дозволяють виявити «приховані» коливання в.к.к. в сформованому рудопотоці, зумовлені дискретністю вимірювання вмісту заліза у кожному з рудних забоїв.

Для отримання конкретних результатів розглянемо математичне моделювання на основі статистичних даних про в.к.к. у забоях кар'єру.

В табл. 4.6 наведено значення вмістів заліза магнітного в руді кар'єру №3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» трьома екскаваторами (№23, 56, 97), виміряні з інтервалом 12 год. Вимірювання в.к.к. проводилися протягом одного місяця.

Таблиця 4.6

Значення вмістів заліза магнітного у руді кар'єру №3 Гірничого департаменту  
ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

| № екскаватора | 97                         |                  | 56                         |                  | 23                         |                  |
|---------------|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|------------------|
| Вимірювання   | Fe <sub>магн.</sub> ,<br>% | Видобуток<br>, т | Fe <sub>магн.</sub> ,<br>% | Видобуток<br>, т | Fe <sub>магн.</sub> ,<br>% | Видобуток<br>, т |
| 1             | 25,2                       | 8148             | 14,6                       | 4100             | 21                         | 6000             |
| 2             | 25,2                       | 5709             | 22,7                       | 2500             | 15,8                       | 5000             |
| 3             | 24,6                       | 9249             | 19,8                       | 4000             | 21                         | 4000             |
| 4             | 24,6                       | 6165             | 19,8                       | 3000             | 21                         | 5000             |
| 5             | 24,6                       | 9184             | 22,7                       | 3200             | 23                         | 6500             |
| 6             | 23,2                       | 8920             | 22,5                       | 3500             | 25,4                       | 5800             |



Продовження табл. 4.6

|    |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 7  | 23,2 | 9282 | 22,3 | 4300 | 24,5 | 9000 |
| 8  | 23,5 | 5900 | 23,5 | 3000 | 24   | 8500 |
| 9  | 23,5 | 1639 | 22,5 | 0    | 23,3 | 8200 |
| 10 | 22,1 | 2368 | 22,5 | 0    | 26,5 | 8000 |
| 11 | 22,1 | 1640 | 21,6 | 2500 | 28,4 | 7500 |
| 12 | 21,5 | 7161 | 21,6 | 0    | 28,4 | 7800 |
| 13 | 21,5 | 0    | 22   | 0    | 28,4 | 8000 |
| 14 | 14,7 | 2295 | 23   | 0    | 29   | 8100 |
| 15 | 14,7 | 1640 | 23   | 5000 | 29,8 | 7900 |
| 16 | 14,7 | 2295 | 23   | 5200 | 29,8 | 8200 |
| 17 | 14,7 | 1640 | 23   | 5300 | 29,8 | 8500 |
| 18 | 14,7 | 0    | 23   | 4900 | 29,8 | 5000 |
| 19 | 14,7 | 1640 | 23   | 7200 | 29,8 | 2500 |
| 20 | 13,5 | 5020 | 23   | 3600 | 29,8 | 4500 |
| 21 | 21,5 | 0    | 23   | 0    | 29,8 | 3000 |
| 22 | 21,5 | 0    | 23   | 0    | 28,3 | 0    |
| 23 | 23,5 | 6298 | 23   | 0    | 27   | 0    |
| 24 | 20   | 0    | 22,5 | 5000 | 27,5 | 0    |
| 25 | 13,5 | 558  | 22,5 | 5200 | 27,5 | 5100 |
| 26 | 18   | 4920 | 22,5 | 5100 | 27,5 | 4800 |
| 27 | 23,4 | 2231 | 22,5 | 4800 | 27,5 | 4200 |
| 28 | 20   | 0    | 22,5 | 5000 | 27,5 | 5100 |
| 29 | 21   | 0    | 22,5 | 6000 | 25,3 | 5600 |
| 30 | 18   | 0    | 22,5 | 7100 | 25,3 | 4200 |
| 31 | 13,4 | 0    | 22,5 | 5600 | 23,6 | 4600 |
| 32 | 29,4 | 3936 | 22,5 | 5000 | 23,6 | 5300 |
| 33 | 29,4 | 5085 | 22,5 | 5200 | 29,5 | 5500 |
| 34 | 22   | 2298 | 22,5 | 5400 | 29,5 | 8000 |
| 35 | 27   | 2331 | 22,5 | 6200 | 23,5 | 7500 |

Продовження табл. 4.6

|    |      |      |      |      |      |      |
|----|------|------|------|------|------|------|
| 36 | 27   | 0    | 20   | 3500 | 23,5 | 7700 |
| 37 | 13,8 | 558  | 20   | 4900 | 23,5 | 6200 |
| 38 | 13,8 | 558  | 20   | 5100 | 30   | 6800 |
| 39 | 14,5 | 1968 | 20   | 6000 | 27,3 | 5500 |
| 40 | 14,5 | 1643 | 20   | 5800 | 27,3 | 4600 |
| 41 | 14,5 | 1085 | 20   | 5200 | 27,3 | 5560 |
| 42 | 14,5 | 4689 | 20   | 4100 | 27,3 | 6000 |
| 43 | 14,5 | 2301 | 12   | 3200 | 27,3 | 5800 |
| 44 | 14,5 | 530  | 15,9 | 0    | 30,2 | 6100 |
| 45 | 14,5 | 3280 | 15,9 | 0    | 30,2 | 7200 |
| 46 | 14,5 | 0    | 20   | 0    | 30,2 | 6200 |
| 47 | 18   | 0    | 20   | 3200 | 30,2 | 5900 |
| 48 | 18   | 0    | 20   | 4000 | 22,2 | 5666 |
| 49 | 18   | 0    | 20   | 4200 | 22,2 | 6555 |
| 50 | 26,3 | 3287 | 20   | 5200 | 23,4 | 7200 |
| 51 | 26,3 | 422  | 12   | 4300 | 23,4 | 3900 |
| 52 | 26,8 | 5372 | 12   | 6000 | 23,4 | 4000 |
| 53 | 26,8 | 4213 | 22,6 | 5500 | 23,4 | 5800 |

В табл. 4.7 наведено значення вибірових автоковаріаційних функцій в.к.к., які розрахованих за формулою

$$R_k = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (c_i - \bar{c})(c_{i+k} - \bar{c}) , \quad (4.120)$$

де  $\bar{c} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N c_i$ ;  $k = 0, 1, 2, \dots, K$  згідно з даними табл. 4.7.

На рис. 4.13, 4.14 та 4.15 наведено графічні зображення автоковаріаційних функцій, значення яких – у табл. 4.7 для екскаваторів №93, 56 та 23, а також апроксимація цих значень графіком функції

$$R(\tau) = D[C] \cdot e^{-\alpha \cdot \tau} \quad (4.121)$$

Таблиця 4.7

Значення вибірових автоковаріаційних функцій вмісту заліза магнітного у кар'єрі №3 Гірничого Департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

| №<br>екскаватора | 93    | 56   | 23    |
|------------------|-------|------|-------|
| 0                | 24,70 | 8,36 | 10,51 |
| 1                | 16,58 | 4,75 | 7,72  |
| 2                | 10,13 | 3,51 | 5,35  |
| 3                | 9,14  | 3,49 | 3,75  |
| 4                | 3,71  | 2,82 | 2,05  |
| 5                | 0,99  | 2,75 | 2,20  |

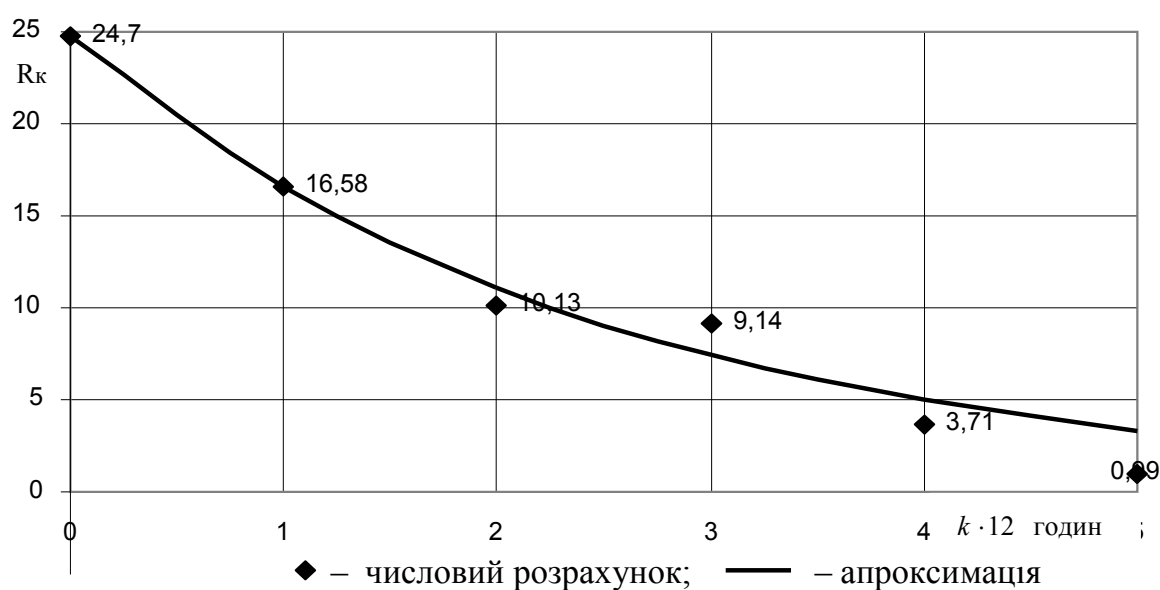


Рис. 4.13. Графік автоковаріаційної функції вмісту заліза для екскаватора № 93  
( $D[C] = 24,7$ ,  $\alpha = 0,0333$ )

Аналіз графіків, наведених на рис. 4.13, 4.14 та 4.15, показує задовільне наближення розрахованих даних за допомогою функції (4.121).

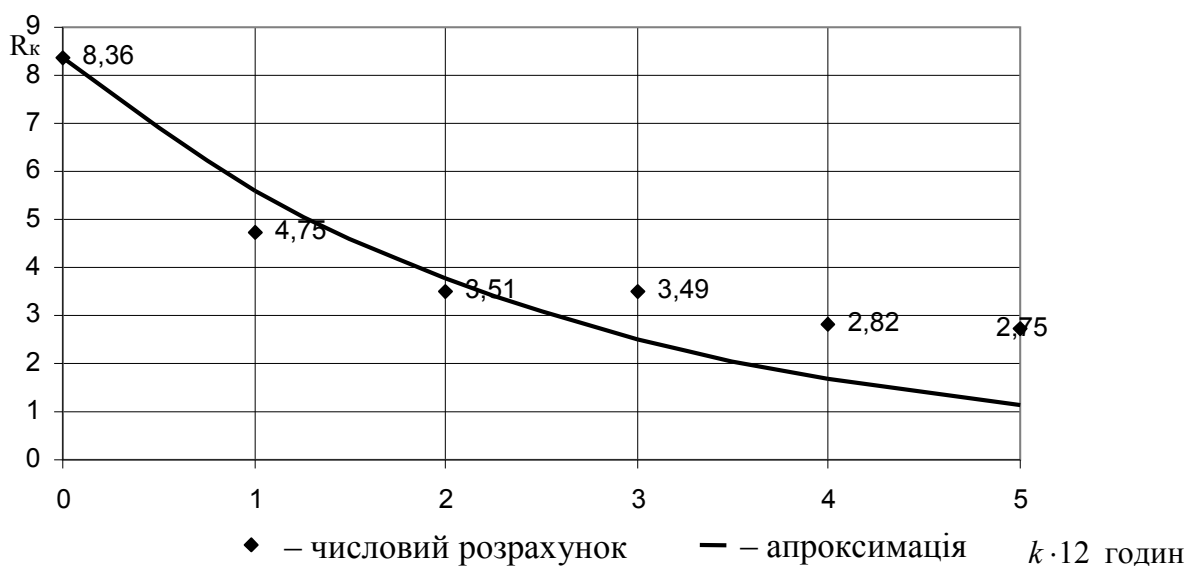


Рис. 4.14. Графік автоковаріаційної функції вмісту заліза для екскаватора № 56 ( $D[C] = 8,36$ ,  $\alpha = 0,0333$ )

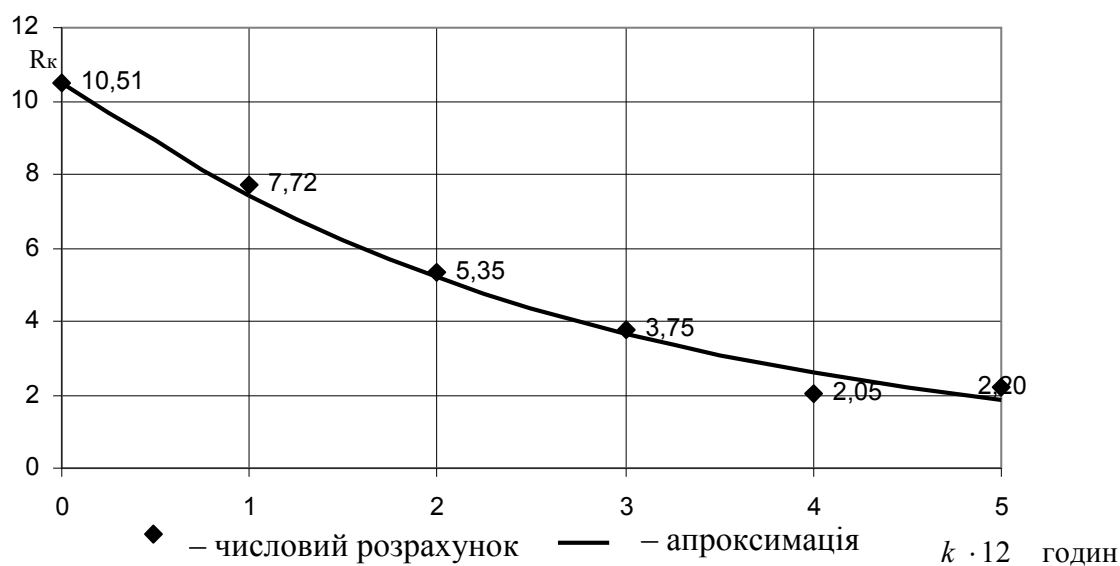


Рис. 4.15. Графік автоковаріаційної функції вмісту заліза для екскаватора № 23 ( $D[C] = 10,51$ ,  $\alpha = 0,0292$ ).

Спектральна щільність в.к.к. як зворотне перетворення від автоковаріаційної функції (4.121) розраховується за формулою (4.95) та має вигляд

$$S(\omega) = \frac{D[C]}{\pi} \frac{\alpha}{\omega^2 + \alpha^2}. \quad (4.122)$$

Підставляючи (4.122) у формулу (4.103) та інтегруючи, одержуємо

$$\delta\sigma_C = \frac{\sigma_C}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{\alpha \cdot \Delta}\right) \right), \quad (4.123)$$

де  $\sigma_C = \sqrt{D[C]}$ .

Формула (4.123) дає можливість оцінити втрату інформації про величину СКВ в.к.к. в руді в залежності від величини періоду опробування.

На рис. 4.16 наведено результати розрахунків за формулою (4.123) для даних, представлених в табл. 4.7.

Аналіз графіків, наведених на рис. 4.16, показує, що подовження інтервалу між опробуваннями в.к.к. в забоях призводить до лінійного збільшення втрати інформації про величину СКВ в.к.к. в руді.

Для рудопотоку, сформованого шляхом змішування руди з забоїв трьох екскаваторів, втрата інформації про значення СКВ в.к.к. обчислюється за формулою

$$\delta\sigma_C = \frac{1}{\sigma_C \cdot \pi} \cdot \sum_{k=1}^3 \mu_{\cdot k}^2 D[C_k] \left( \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{\alpha_k \cdot \Delta_k}\right) \right). \quad (4.124)$$

Згідно з даними, наведеними в табл. 4.6, знаходимо

$$D[C] = \sum_{k=1}^3 \mu_{\cdot k}^2 D[C_k] = 0,218 \cdot 24,702 + 0,260 \cdot 8,359 + 0,522 \cdot 10,506 = 13,04, \quad \sigma_C = 3,61.$$

В результаті формула (4.124) набуває

вигляду

$$\delta\sigma_c = \frac{1}{3,61 \cdot \pi} \cdot \left( 5,38 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{0,0333\Delta}\right) \right) + 2,18 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{0,0333\Delta}\right) \right) + 5,483 \cdot \left( \frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{0,0292\Delta}\right) \right) \right),$$

або після перетворень

$$\delta\sigma_c = 1,807 - 0,667 \cdot \arctg\left(\frac{188,684}{\Delta}\right) - 0,484 \cdot \arctg\left(\frac{215,177}{\Delta}\right). \quad (4.125)$$

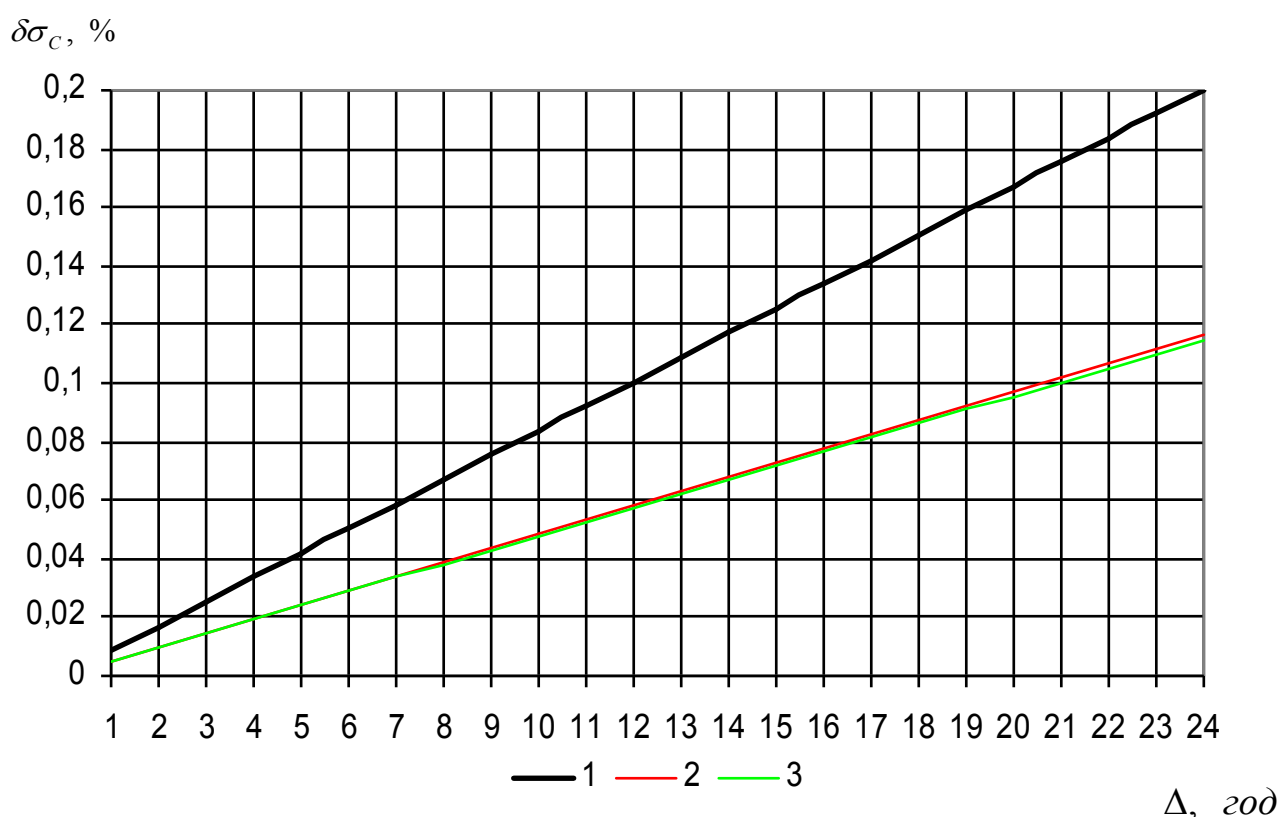


Рис. 4.16. Графіки залежності втрати інформації про СКВ в.к.к. в руді від періоду опробування видобувних забоїв кар'єру №3 Гірничого департаменту ПАТ

«АрселорМіттал Кривий Ріг»

: 1 – екскаватор №97, 2 – екскаватор №56, 3 – екскаватор №23

На рис. 4.17 представлено графік функції (4.125) – залежності втрати інформації про величину СКВ в.к.к. в загальнокар'єрному рудопотоці в

залежності від періоду опробування в забоях для кар'єру №3 ГД ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

$\delta\sigma, \%$

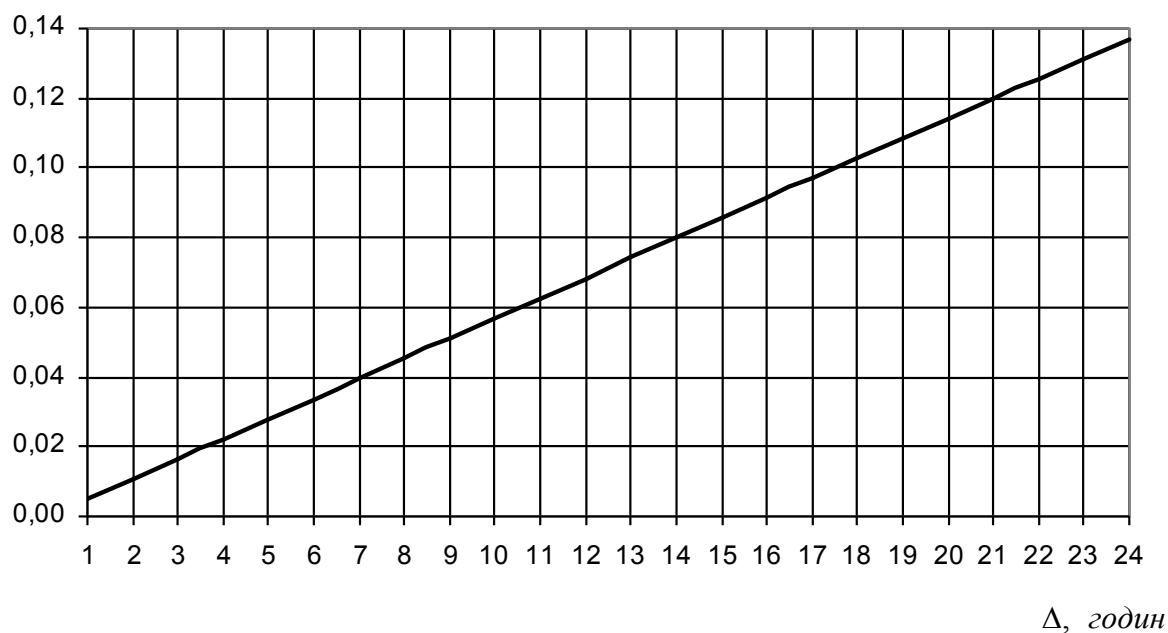


Рис. 4.17. Графік залежності втрати інформації про величину СКВ в.к.к. в загальнокар'єрному рудопотоці в залежності від періоду опробування в забоях для кар'єру №3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг»

Аналіз графіка, представленого на рис. 4.17, показує, що зі збільшенням інтервалу вимірювання вмісту заліза в забоях лінійно збільшується втрата інформації про величину СКВ в.к.к. в загальному рудопотоці кар'єру [104].

4.6. Дослідження впливу періоду опробування забоїв кар'єру на показник прибутку гірничо-збагачувального комбінату

Період опробування забоїв кар'єру повинен бути обґрунтованим, так як необґрунтоване зняття інформації про вміст корисного компоненту не дозволить мати достовірну базу даних для формування рудопотоку із заданими показниками якості.

Відсутність достовірної інформації про динаміку зміни вмісту корисного компоненту в забоях призводить до того, що якісні показники рудопотоку не відповідають розрахунковим значенням, це тягне за собою збільшення витрат при збагаченні та, як наслідок, зниження загального прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

Вплив періоду опробування забоїв кар'єру на показник прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату розглянемо на прикладі статистичних даних ПАТ «Полтавський ГЗК» [108].

В табл. 4.8 наведено дані про прогнозний прибуток ПАТ «Полтавський ГЗК» в залежності від СКВ в.к.к. фінального рудопотоку та крупності подрібнення руди на РЗФ.

Таблиця 4.8

Прогнозний прибуток ПАТ «Полтавський ГЗК» в залежності від величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компоненту в фінальному рудопотоці та крупності подрібнення руди

| ПАТ «Полтавський ГЗК»              |      |      |      |      |      |      |
|------------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| крупність подрібнення $d$ ,<br>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 |

Дані табл.4.8 можуть бути апроксимовані за формулою

$$\Pi = 2425 - 71,24 \cdot \sigma_c + 17,4 \cdot d - 0,2535 \cdot d^2, \quad (4.126)$$

де  $\Pi$  – прибуток, млн грн,



$\sigma_c$  – СКВ, %,

$d$  – крупність подрібнення, мкм.

Відносна втрата інформації про СКВ в.к.к. в залежності від періоду виміру

$$\frac{\delta\sigma_c}{\sigma_c} = \frac{1,33 - 0,85 \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right)}{2,68} 100\% \quad (4.127)$$

Отже, зниження прогнозного прибутку ГЗК від втрати інформації про СКВ в.к.к. в фінальному рудопотоці в залежності від дискретності вимірювання якості в забоях складатиме, згідно (4.126) та з урахуванням (4.123)

$$\delta\Pi = 71,24(1,33 - 0,85 \cdot \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right)). \quad (4.128)$$

Виходячи з формул (4.127) та (4.128), можна отримати залежність втрати відносного прибутку внаслідок дискретності періоду вимірювання в.к.к. в забоях

$$\frac{\delta\Pi}{\Pi} = \frac{94,75 - 60,55 \cdot \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right)}{\Pi} \cdot 100\% \quad (4.129)$$

На рис. 4.18 наведено графік залежності відносної втрати інформації про величину середньоквадратичного відхилення в.к.к. в рудопотоці від дискретності вимірювання в забоях кар'єру ПАТ «Полтавський ГЗК», а на рис. 4.19 – графік залежності зниження відносного показника прогнозного прибутку ПАТ «Полтавський ГЗК» від дискретності періоду вимірювання.

Аналіз графіків показує, що зі збільшенням періоду вимірювання вмісту корисного компоненту в забоях нелінійно збільшується втрата інформації про величину СКВ в.к.к. в загальному рудопотоці та знижується показник прибутку комбінату [109].

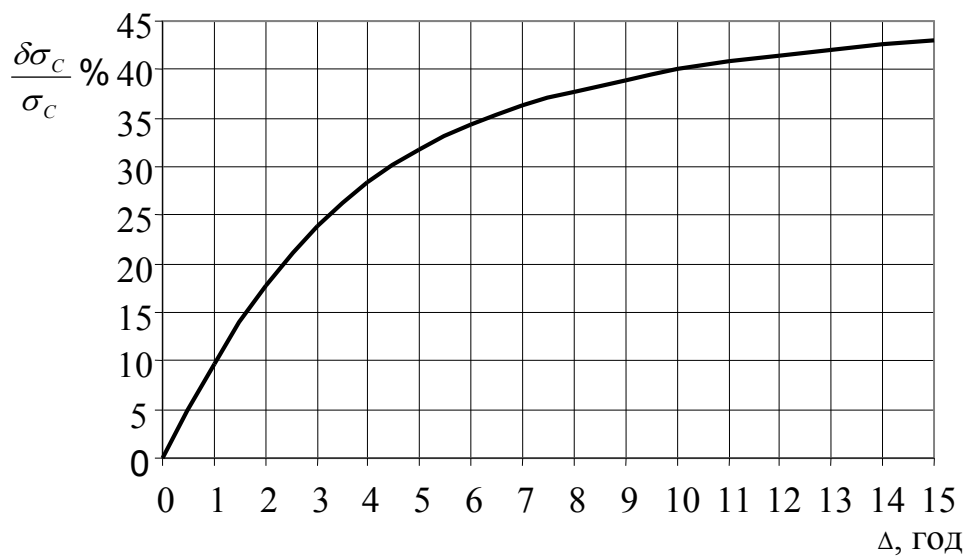


Рис. 4.18. Графік залежності відносної втрати інформації щодо СКВ в.к.к. в загальному рудопотоці в залежності від дискретності вимірювання в забоях кар'єру ПАТ «Полтавський ГЗК»

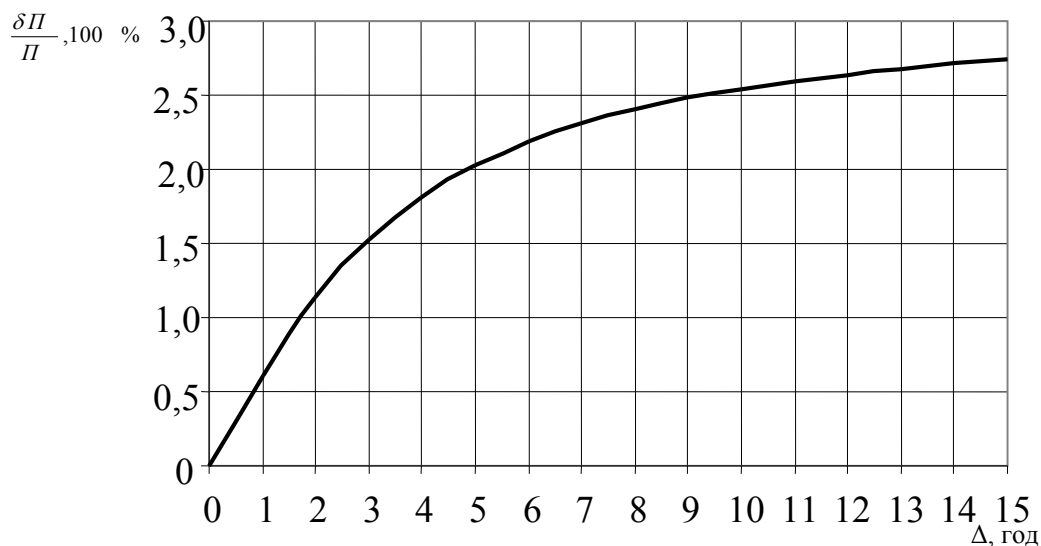


Рис. 4.19. Графік залежності відносного зниження показника прогностичного прибутку ГЗК від дискретності вимірювання в.к.к. в забоях кар'єру ПАТ «Полтавський ГЗК»

Отримана залежність зниження величини прогнозного прибутку від дискретності опробування забоїв кар'єру може бути використана для вибору та обґрунтування оптимального періоду опробування забоїв при формуванні системи управління сировинною якістю генералізованого комплексу рудопотоків для будь яких залізрудних ГЗК.

Оптимізація циклу опробування рудних забоїв кар'єру дозволить знизити втрати інформації про вміст корисного компонента, сформувати загальнокар'єрний рудопотік із заданими якісними характеристиками та збільшити показники прибутку залізрудного гірничо-збагачувального комбінату [110].

#### Висновки до розділу 4

1. Сучасна теорія управління дозволяє створити модель технології управління якістю, яка допомагає сформувати рудопотік із заданими значеннями вмісту корисного компонента.

2. Приклад розв'язання задачі формування рудопотоку з використанням математичної моделі системи управління якістю засвідчив, що за нормального закону розподілу, який визначається в.к.к. в руді після усереднення при видобутку з чотирьох забоїв, рівним 0,35 та середньоквадратичним відхиленням 0,037, ймовірність того, що вміст корисного компонента в сформованому рудопотоці буде перебувати в межах (0,3-0,4), становить  $P = 0,823$ . Використання даної матмоделі дозволить сформувати рудопотік кар'єру з вмістом корисного компонента в заданому діапазоні з високою ймовірністю.

3. Методика стабілізації амплітудних коливань корисного компонента в рудопотоці з використанням мінімаксного коефіцієнта «minimax» дозволяє визначити необхідні додаткові обсяги руди для шихтовки.

4. Дослідження за допомогою математичного апарату випадкового процесу, що описує вміст корисного компонента в рудопотоці, дає можливість прогнозувати динаміку зміни його якісних характеристик.

5. Аналіз графіків, побудованих в результаті прогнозування динаміки зміни вмісту корисного компонента, демонструє високу збіжність реальних і модельованих величин вмісту корисного компонента в рудопотоці.

6. Для забезпечення технології управління якістю рудопотоків достовірною та своєчасною інформацією про стан якісних характеристик в забоях, необхідно визначити інтервал проведення опробування на основі масиву статистичних даних про вміст корисного компонента в забоях і прогнозної динаміки його зміни.

7. Методика обґрунтування періоду вимірювання в.к.к. в забоях кар'єру, заснована на статистичних даних вмістів корисного компонента, дозволяє визначити максимально допустимий період опробування без зниження якісних характеристик рудопотоку, що формується.

8. Методика обґрунтування періоду вимірювання вмісту корисного компонента в забоях може бути використана на всіх залізрудних кар'єрах, де є відповідний статистичний матеріал, що дозволяє проаналізувати динаміку зміни вмісту корисного компонента в забоях.

9. Зі збільшенням проміжку опробування у видобувних забоях кар'єру лінійно збільшується втрата інформації про ймовірну величину середньоквадратичного відхилення вмісту заліза в рудопотоці.

10. Отримана залежність величини прогнозного прибутку залізрудного гірничо-збагачувального комбінату від дискретності випробування забоїв кар'єру придатна для обґрунтування оптимального періоду випробування.

11. Оптимізація циклу опробування рудних забоїв кар'єру дозволить знизити втрати інформації про вміст корисного компонента, сформулювати рудопотік із заданими якісними характеристиками та підвищити показники прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

## РОЗДІЛ 5

### МОБІЛЬНИЙ ДРОБИЛЬНО-СОРТУВАЛЬНИЙ КОМПЛЕКС ЯК ЧАСТИНА ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ РУДОПОТОКІВ

5.1. Дослідження впливу ефективного атомного номеру гірських порід на процес радіометричного сортування залізорудної сировини в кар'єрі

Процес радіометричного сортування як спосіб підвищення вмісту корисного компоненту в руді дозволяє вирішити проблему стабілізації якості рудного вантажопотоку за рахунок відсікання некондиційної гірничої маси. Принцип радіометричного сортування побудовано на залежності величини зареєстрованого потоку вторинного гамма-випромінювання від вмісту корисного компоненту в руді.

Як відомо, гірські породи мають складний і різноманітний неоднорідно-гетерогенний хімічний склад.

Для оцінки поглинаючих і розсіюючих властивостей подібних гетерогенних середовищ застосовано спеціальний параметр – "ефективний атомний номер". По суті, це атомний номер деякого фіктивного хімічного елемента, якому притаманний такий самий ефект фотопоглинання на одиницю електронної щільності, як і речовині складного хімічного складу, що досліджується. На відміну від інших фізико-хімічних параметрів гірських порід, ефективний атомний номер однозначно визначається елементним складом мінеральної сировини і не залежить від відмінності хімічних зв'язків або ж фізичного стану середовища [66].

Ефективний атомний номер визначається за формулою

$$Z_{ef} = m \sqrt{\frac{1}{\beta_{cp}} \sum_{i=1}^n q_i \beta_i Z_i^m}, \quad (5.1)$$

де  $q_i$  – ваговий вміст  $i$ -го елемента досліджуваної гірської породи;

$\beta_i$  – електронна щільність  $i$ -го елемента гірської породи;

$Z_i$  – атомний номер  $i$ -го елемента досліджуваної гірської породи.

Електронна щільність компонентів, що входять до складу досліджуваної гірської маси, визначається з виразу

$$\beta_i = Z_i / A_i, \quad (5.2)$$

де  $A_i$  – атомна вага  $i$ -го елемента.

Для гірських порід "середнього" атомного складу постійна  $\beta_i = 0.5$ . Для цих же гірських порід  $15 \leq Z \leq 40$ , де енергія  $K$ -стрибка фотопоглинання лежить нижче зареєстрованої енергії розсіяного гамма-випромінювання, коефіцієнт  $m=3,0$ . Зі збільшенням зареєстрованої енергії гамма-квантів до 1 МеВ коефіцієнт  $m=3,5$  [111].

Практичне значення  $Z_{ef}$  полягає в тому, що з його допомогою можна оцінити вплив речовинного складу середовища, яке досліджується, як на ефекти поглинання, так і розсіювання гамма-квантів при взаємодії гамма-випромінювання з гірськими породами.

При цьому значення  $Z_{ef}$  дозволяє проаналізувати речовинний склад гірничої маси, що досліджується, в усьому діапазоні вмісту корисного компонента і встановити можливість застосування селективного гамма-гамма методу для оперативного контролю вмісту корисного компонента.

За допомогою  $Z_{ef}$  також можна систематизувати (класифікувати) гірські породи з різним матеріальним складом щодо застосування того чи іншого гамма-методу для оперативного контролю вмісту корисного компонента і сортування за встановленим порогом.

Крім того,  $Z_{ef}$ . дозволяє багатокomпонентну гірничу масу розглядати як двокомпонентну (бінарну), що складається з корисного компонента і наповнювача [112].

Ефективний атомний номер проби можна обчислити за такою формулою

$$Z_{ef} = Z_A \sqrt[3]{\sum q_i (Z_i / Z_A)^3}, \quad (5.3)$$

де  $Z_A$  – атомний номер елемента, що визначається, а підкореневий вираз характеризує еквівалентний вміст (наприклад, по залізу)  $i$ -го елемента, тобто

$$q_i^{екв} = (Z_i / Z_A)^3 \times q_i. \quad (5.4)$$

Якщо в досліджуваному середовищі один з елементів наповнювача з атомним номером  $Z_1$  заміщується в рівних вагових якостях іншим елементом з атомним номером  $Z_2$ , то еквівалентне збільшення вмісту елемента, що визначається, обчислюється за формулою

$$\Delta q_{екв} = q \times (Z_2^3 - Z_1^3) / Z_A^3, \quad (5.5)$$

де  $q$  – вміст елемента, що визначається.

Розглянемо речовинний склад залізних руд Криворізького залізорудного басейну, наведений в табл. 5.1, де еквівалентний приріст  $\Delta q_{екв}$  обчислено для  $q=10\%$ .

Оскільки основним компонентом, котрий заважає, є кремнезем, то даний хімічний елемент обрано в якості опорного [113,114].

Із табл. 5.1 видно, що за наявності в складі гірничої маси (наповнювача) хімічних елементів з  $Z < 14$ , еквівалентний вміст заліза знижується, а наявність більш важких елементів, навпаки – збільшує еквівалентний вміст  $\Delta q_{екв}$ .

Залежність ефективного атомного номера від еквівалентного вмісту корисного компонента наведено на рис. 5.1.

Таблиця 5.1

Речовинний склад залізних руд Криворізького залізорудної басейну

| Хімічний елемент     | Na    | Mg   | Al    | Si | P    | S    | Ca   | Ti  | Cr  | Mn  |
|----------------------|-------|------|-------|----|------|------|------|-----|-----|-----|
| $Z_i$                | 11    | 12   | 13    | 14 | 15   | 16   | 20   | 22  | 24  | 25  |
| $\Delta q_{екв}, \%$ | -0,86 | -0,5 | -0,31 | 0  | 0,36 | 0,77 | 2,99 | 4,5 | 6,3 | 7,3 |

Аналітична залежність (5.6) має вигляд

$$Z_i = 13.921 + 3.062\Delta q_{екв.} - 0.48\Delta q_{екв.}^2 + 0.051\Delta q_{екв.}^3 - 0.001\Delta q_{екв.}^4 - 4\Delta q_{екв.}^5. \quad (5.6)$$

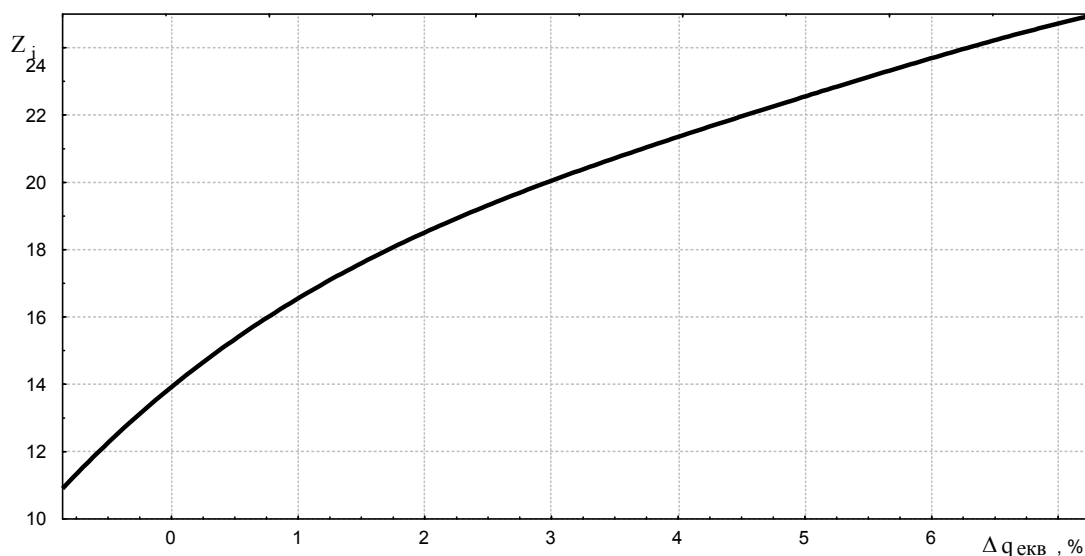


Рис. 5.1. Залежність ефективного атомного номера від еквівалентного вмісту загального заліза

В табл. 5.2 наведено різновиди залізних руд Кривбасу, їх повний речовинний склад і ефективний атомний номер.

Ефективний атомний номер розраховано за формулою



$$Z_{\text{эф}} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^n q_i Z_i^3}, \quad (5.7)$$

де  $q_i$  – ваговий вміст  $i$ -го елемента;

$Z_i$  – порядковий номер  $i$ -го елемента;

$n$  – кількість хімічних елементів у досліджуваній гірничій масі.

Таблиця 5.2

Різновиди залізних руд Криворізького залізорудного басейну, їх повний речовинний склад і ефективний атомний номер

| Речов. склад,<br>$q_{\text{эф}}$ | Різнovid руд |                      |                                  |                                  |
|----------------------------------|--------------|----------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                                  | Мартитова    | Гідрогема-<br>титова | Гідрогема-<br>титовий<br>роговик | Гідрогема-<br>титовий<br>сланець |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$          | -            | 4,96<br>9,9          | 5,5                              | 23,4                             |
| $\text{SiO}_2$                   | 0,8          | 4,4<br>12,7          | 17,8                             | 33,5                             |
| $\text{Fe}_2\text{O}_3$          | 97,8         | 87,2<br>67,57        | 54,5                             | 20,2                             |
| $\text{FeO}$                     | 0,5          | 0,9<br>0,97          | 0,75                             | 5,5                              |
| $\text{CaO}$                     | -            | -0,2                 | 0,3                              | 5,5                              |
| $\text{MgO}$                     | -            | 0,04<br>2,21         | -                                | 0,2                              |
| $\text{P}$                       | -            | 0,05<br>0,05         | 0,07                             | 0,014                            |
| $\text{TiO}_2$                   | 0,04         | -                    | -                                | 0,02                             |
| $\text{Fe}_{\text{заг}}$         | 69,9         | 61,7<br>48,0         | 40,9                             | 0,46                             |
| $q_{\text{эф}}$                  | 23,9         | 22,3<br>21,0         | 19,6                             | 18,31                            |

З графіку залежності ефективного атомного номера від вмісту загального заліза (рис. 5.2) видно, що зі збільшенням вмісту корисного компонента атомний номер зростає пропорційно. Аналітична залежність має вигляд

$$Z_{\text{эф.}} = \sqrt[3]{15568Fe_{\text{заг.}}^2 + 3015.36} . \quad (5.8)$$

Ефективний атомний номер  $Z_{\text{эф}}$

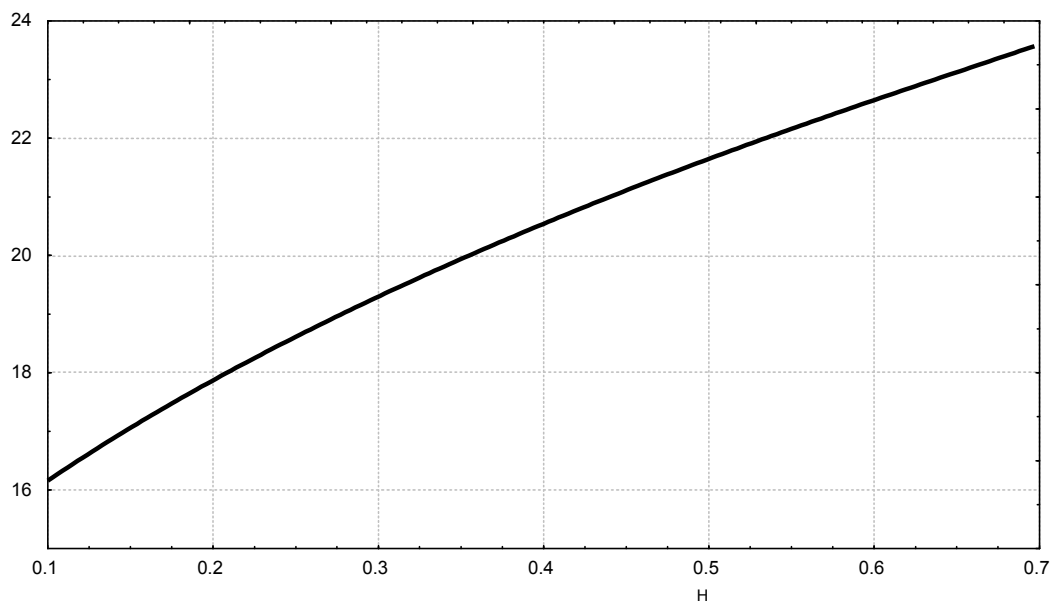


Рис. 5.2. Графік залежності ефективного атомного номера від вмісту загального заліза

В якості опорного елемента приймаємо кремнезем ( $Z=14$ ) і обчислюємо ефективний атомний номер залізної руди, де вміст заліза змінюється від 10 до 70 %. (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Ефективний атомний номер  $Z_{\text{эф}}$  залізорудної сировини Криворізького залізорудного басейну, розрахований за формулою (5.8)

| Приріст<br>$Z_{\text{эф}}$ , од. | Вміст Si, % |       |      |       |       |       |      |
|----------------------------------|-------------|-------|------|-------|-------|-------|------|
|                                  | 90%         | 80%   | 70%  | 60%   | 50%   | 40%   | 30%  |
| Fe                               | 0,1         | 0,2   | 0,3  | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7  |
| Si                               | 0,9         | 0,8   | 0,7  | 0,6   | 0,5   | 0,4   | 0,3  |
| $Z_{\text{эф}}$                  | 16,16       | 17,87 | 19,3 | 20,54 | 21,65 | 22,65 | 23,6 |

Аналітична залежність має вигляд

$$Z_{ef.} = (-4,388198)q_i^3 + (15,72309)q_i^2 + (14,84486)q_i \quad (5.9)$$

З табл. 5.3 видно, що приріст  $Z_{ef}$  в діапазоні зміни вмісту заліза в рудах Кривбасу від 10 до 70 %, складатиме 0,124 одиниць на один відсоток, або  $\Delta Z_{ef}/\Delta q = 0,744$  при  $\Delta q = 10$  %.

При взаємодії гамма-випромінювання з гірськими породами, в залежності від енергії джерела випромінювання, мають місце три основні процеси: фотоефект, комптонівське розсіювання й утворення пар часток – протон-електрон.

Фотоелектричним поглинанням є процес, коли гамма-кванти (фотони) передають всю свою енергію будь-якому електрону в атомі речовини. Роль фотоефекту є тим вищою, чим нижче енергія джерела випромінювання. Зі збільшенням енергії джерела ( $E \geq 300$  кеВ) зростає внесок розсіяних гамма-квантів в інтегральний потік вторинного випромінювання. Подальше збільшення енергії джерела випромінювання ( $E \geq 1,02$  МеВ) призводить до поглинання фотонів (анігіляції). В результаті фотони в електричному полі ядра перетворюються на електрони і позитрони.

Таким чином, процес взаємодії гамма-випромінювання з речовиною, в залежності від щільності (об'ємної маси) речовинного складу та інших фізико-хімічних властивостей даної речовини, можна характеризувати трьома коефіцієнтами ослаблення: атомним, лінійним і масовим.

Атомний коефіцієнт ослаблення характеризується ймовірністю поглинання на атом поглинача в барнах. Масовий коефіцієнт ослаблення характеризує ймовірність поглинання на грам поглинача на одиницю площі пучка ( $1 \text{ см}^2$ ).

Лінійний коефіцієнт ослаблення дорівнює добутку масового коефіцієнта ослаблення на щільність речовини поглинача, визначається за формулою (5.10) і має розмірність  $\text{см}^{-1}$

$$\mu_L = \mu_M \rho \quad (5.10)$$

де  $\mu_l$  - лінійний коефіцієнт ослаблення;

$\mu_m$  - масовий коефіцієнт ослаблення

Лінійний коефіцієнт ослаблення характеризує ймовірність поглинання гамма-кванта на сантиметр товщини речовини.

Сумарна ймовірність процесів поглинання і розсіювання, віднесена до одного атома, оцінюється "поперечним перетином" [115].

На рис. 5.3, 5.4 наведено графіки залежностей перетину розсіювання ( $\sigma_p$ ) і фотопоглинання ( $\tau_{cp}$ ) від атомних номерів хімічних елементів при енергії джерела випромінювання 60 кеВ.

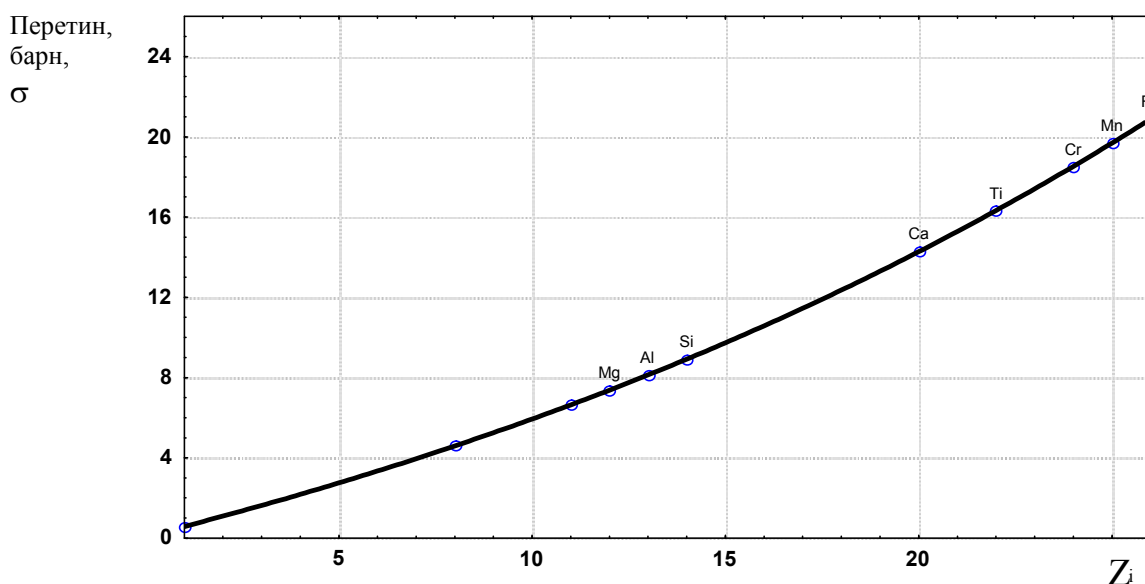


Рис. 5.3. Залежність перетину розсіювання від атомного номера хімічного елемента

Видно, що зі зростанням  $Z_i$  збільшуються  $\sigma_p$  та  $\tau_{cp}$ , проте перетини фотоефекту змінюються значно швидше. Коефіцієнти кореляції при цьому складають 0,95 і 0,94 відповідно.

На рис. 5.5–5.7 наведено графіки залежностей лінійного ( $\mu_l$ ), масового ( $\mu_m$ ) і атомного ( $\mu_a$ ) коефіцієнтів ослаблення від атомного номера хімічного елемента.

Видно, що у всіх трьох випадках є тісна кореляційна залежність. Коефіцієнти кореляції – 0,95; 0,93 і 0,94, відповідно.

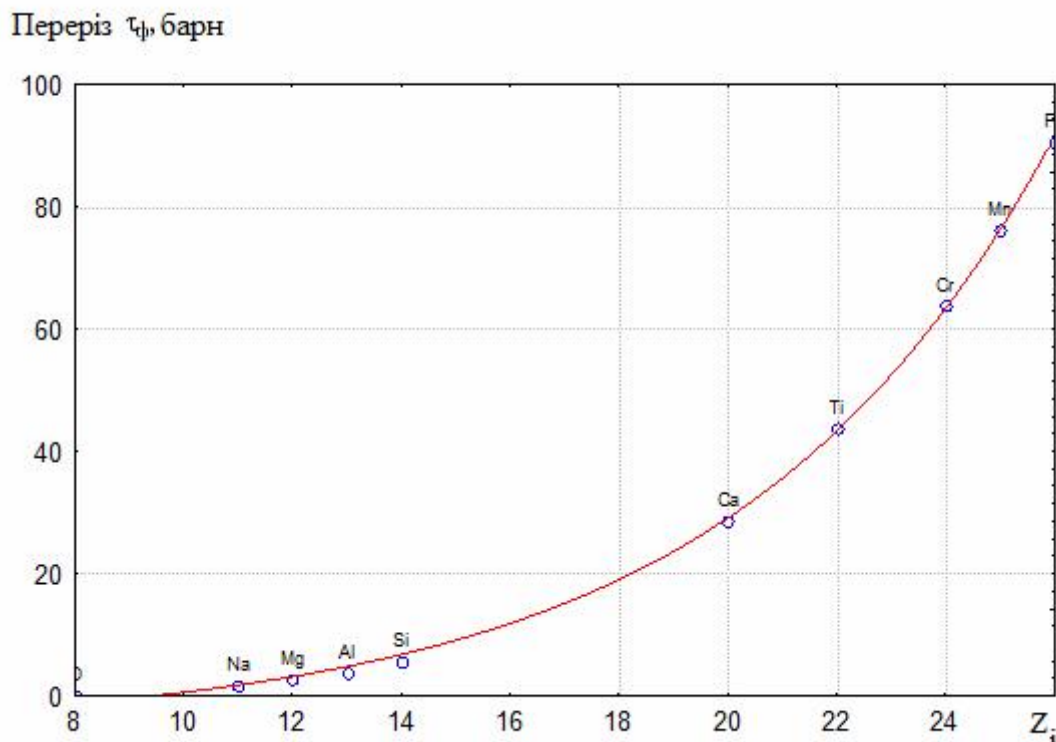


Рис. 5.4. Залежність фотопоглинання від атомного номера хімічного елемента

Аналітична формула залежності рис. 5.3 має вигляд:

$$\sigma_p = -13.68721 + \exp(2.622422 + (0.03541315)Z_i) \quad (5.11)$$

Аналітична формула залежності рис. 5.4 має вигляд:

$$l_\phi = -5.62619 + \exp(0.1225875 + (0.1712206)Z_i) \quad (5.12)$$

Для встановлення придатності гамма-гамма методу для сортування залізистих кварцитів потрібна чітка межа ефективного атомного номера для даного різновиду руд. У цьому випадку доцільно класифікувати різновиди руд на бінарне, квазібінарне і небінарне середовище з урахуванням умов застосування гамма-гамма методу [114].

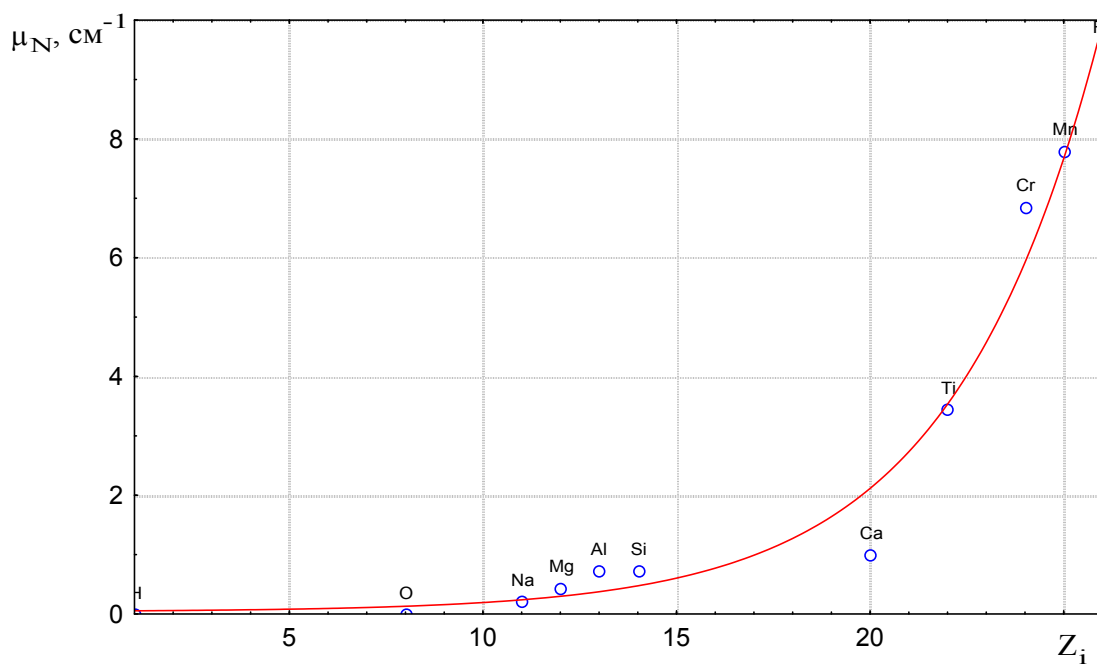


Рис. 5.5. Залежність лінійного коефіцієнта ослаблення від атомного номера хімічних елементів

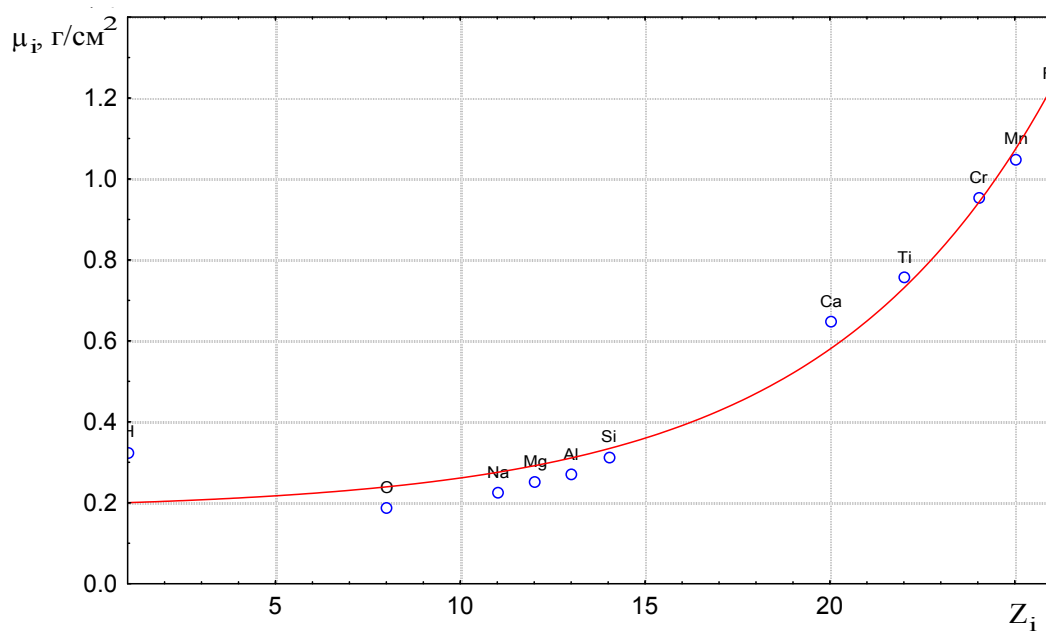


Рис. 5.6. Залежність масового коефіцієнту ослаблення від атомного номера хімічних елементів

Аналітичні формули залежностей рис. 5.5, 5.6, 5.7 мають вигляд

$$\mu_L = 0.03928541 + \exp(-4.476949 + (0.26036)Z_i), \quad (5.13)$$

$$\mu_{\text{л}} = 0.1815719 + \exp(-4.136573 + (0.160776)Z_i), \quad (5.14)$$

$$\mu_{\text{л}} = -2.63349 + \exp(0.7317663 + (0.1543944)Z_i). \quad (5.15)$$

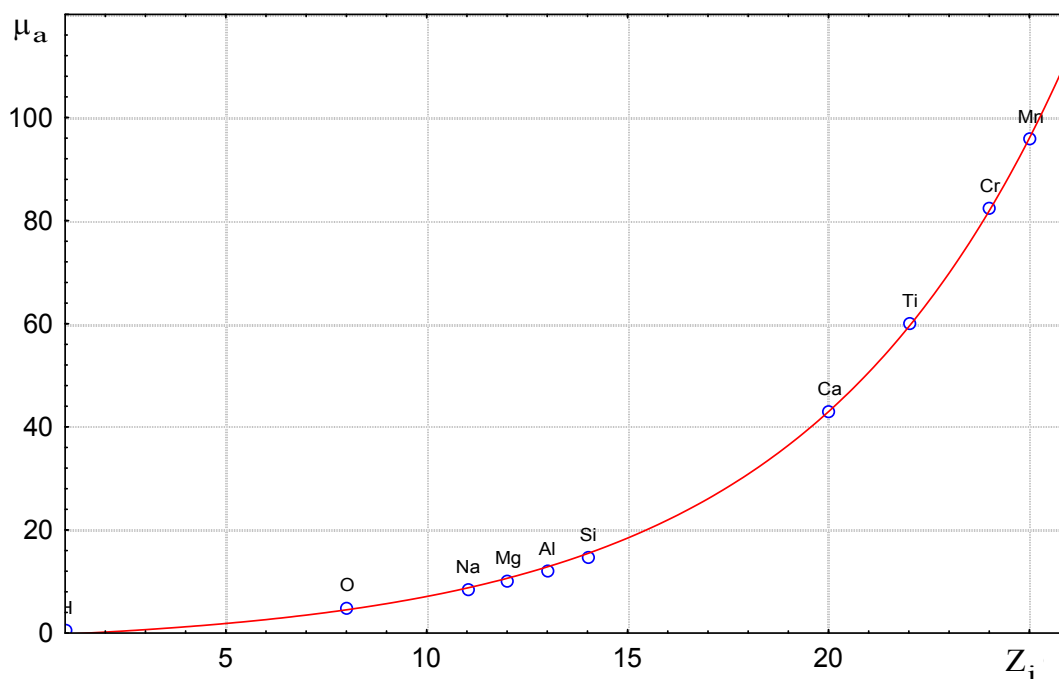


Рис. 5.7. Залежність атомного коефіцієнта ослаблення  $\mu_a$  від атомного номера хімічних елементів

Залежність інтенсивності випромінювання від ефективного атомного номера наведено на рис. 5.8., яка демонструє, що зі збільшенням  $Z_{\text{ef}}$  зменшується інтенсивність розсіяного випромінювання за експоненціальним законом

$$N = 4618.182 + \exp(10.46505 - 0.1215622)Z_{\text{ef}}. \quad (5.16)$$

Беручи за корисний сигнал пропорційне значення  $Z_{\text{ef}}$  проби, а сумарне значення "перешкод" –  $Z_{\text{ef}}$  наповнювача, і використовуючи співвідношення цих даних, можна встановити умовні межі бінарного та квазібінарного середовищ для подальшого використання в радіометричному сортуванні при розпізнаванні образів «руда» або «порода».

Досвід досліджень показує, що, якщо  $Z_{\text{еф. проби}}$  відрізняється від  $Z_{\text{еф. наповнювача}}$  хоча б на 10 %, то гамма-гамма метод дозволяє розпізнавати образ «руда» в даній гірничій масі [66, 114].

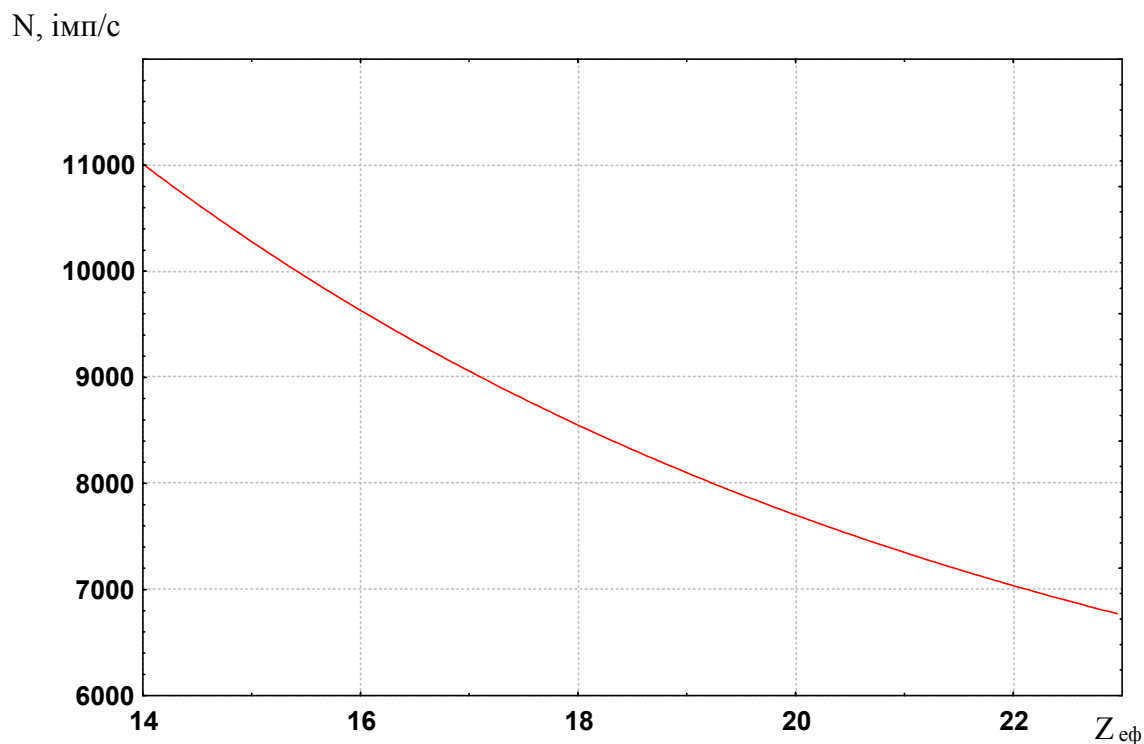


Рис. 5.8. Залежність інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання від ефективного атомного номера

Встановлено, що для джерела випромінювання Am-241 при співвідношенні  $Z_{\text{еф. проби}}/Z_{\text{еф. наповнювача}}=1,1$  середовище вважається квазібінарним.

Якщо ж  $Z_{\text{еф. проби}}/Z_{\text{еф. наповнювача}} \geq 1,2$ , то таке середовище відноситься до бінарного. При цьому ймовірність розпізнавання образу «руда» становить 95 % ймовірності.

Таким чином, позначивши  $C=Z_{\text{еф. проби}}/Z_{\text{еф. наповнювача}}$ , можна стверджувати, що бінарною називається гірнича маса, де  $C > 1,2$  і при цьому є ймовірність 95 % визначення вмісту корисного компонента із заданою точністю.

На підставі цього твердження основні різновиди руд Криворізького залізорудного басейну можна віднести до бінарних середовищ, тобто вони



можуть бути піддані ефективному сортуванню із застосуванням радіометричного методу [116].

## 5.2. Розробка функціональної схеми й алгоритму роботи мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу

Одним зі способів стабілізації якості сировини в рудопотоці є підвищення її якості в забоях з найбільшим показником розубожування. Це є можливим при використанні різних видів сепарації (сортування), що полягає у відсіканні некондиційної гірничої маси від загального потоку видобутої рудної маси [117].

Відсікання некондиційної гірничої маси дозволяє стабілізувати вміст корисного компонента в потоці руди з даного забою. Чим ближче до зони видобутку відбудеться вилучення некондиційної гірничої маси з подальшого процесу транспортування і переробки – тим суттєвішим буде ефект від сортування [118,119]. Тому функціональна схема і алгоритм роботи мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу повинні будуватися таким чином, щоб процес відсікання відбувався в точці, найбільш наближеній до забою на стадії видобутку.

Відомо, що найбільший відсоток втрат і разубожування руд припадає на відпрацювання видобувних блоків приконтатних зон родовищ. Межа «руда-порожня порода» не може бути однорідною в забої після застосування буровибухових робіт. Руда, яка надходить з таких забоїв, відрізняється низькою якістю і високим показником коливання вмісту корисного компонента.

За даними Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», показник величини засмічення в блоках приконтатної зони складає до 28 %. [120].

Раніше відомі варіанти мобільних дробильно-сортувальних комплексів у складі технології попереднього збагачення залізних руд в кар'єрах припускали тільки магнітну сепарацію. На сьогоднішній день вже опційно передбачено оснащення серійних мобільних дробильних комплексів «Terex Finlay» і

«Lokotrack» магнітними сепараторами, що дозволяє попередньо збагачувати руду, пов'язану з магнетитом.

При обґрунтуванні технології попереднього збагачення в умовах відкритої розробки слід враховувати, що не до всіх різновидів залізних руд можна застосовувати магнітні методи: руди, що не мають магнітної складової, – інертні до дії на них магнітних сепараторів.

Головною перевагою радіометричного сортування є те, що рудна маса, яка пройшла через сепаратор, має показник вмісту загального заліза відповідно до величини встановленого порога сортування [121].

Існуючі на сьогоднішній день розробки дробильно-сортувальних комплексів з радіометричним сортуванням, що застосовуються в умовах кар'єрів, мають стаціонарне розміщення, тому після екскавації рудної маси її необхідно транспортувати до приймального бункера комплексу, а потім продукти сепарації також переміщувати додатковою транспортною ланкою [122]. Ефект від підвищення якості в рудному потоці в цьому випадку знижується внаслідок як капітальних, так і поточних витрат.

Обґрунтування технологічної доцільності застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах відкритих розробок залізорудних родовищ ґрунтується на необхідності підвищення якості руди, що надходить із забоїв приконтальної зони «руда-порода», на яку припадає найбільший відсоток втрат і розубожіння руд. Ця обставина суттєво впливає на показники якості сформованого загальнокар'єрного або фінального рудопотоку, що надходить на збагачення, і безпосередньо впливає на якість концентрату та його собівартість [123].

Запропонований варіант мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу (МДСРК) є по суті синергією мобільного дробильного комплексу і радіометричного сепаратора, сумарний ефект якої полягає в можливості здійснення сепарації за встановленим порогом сортування на підставі ознаки бінарності рудної маси в зоні, найбільш наближеній до забою [44].

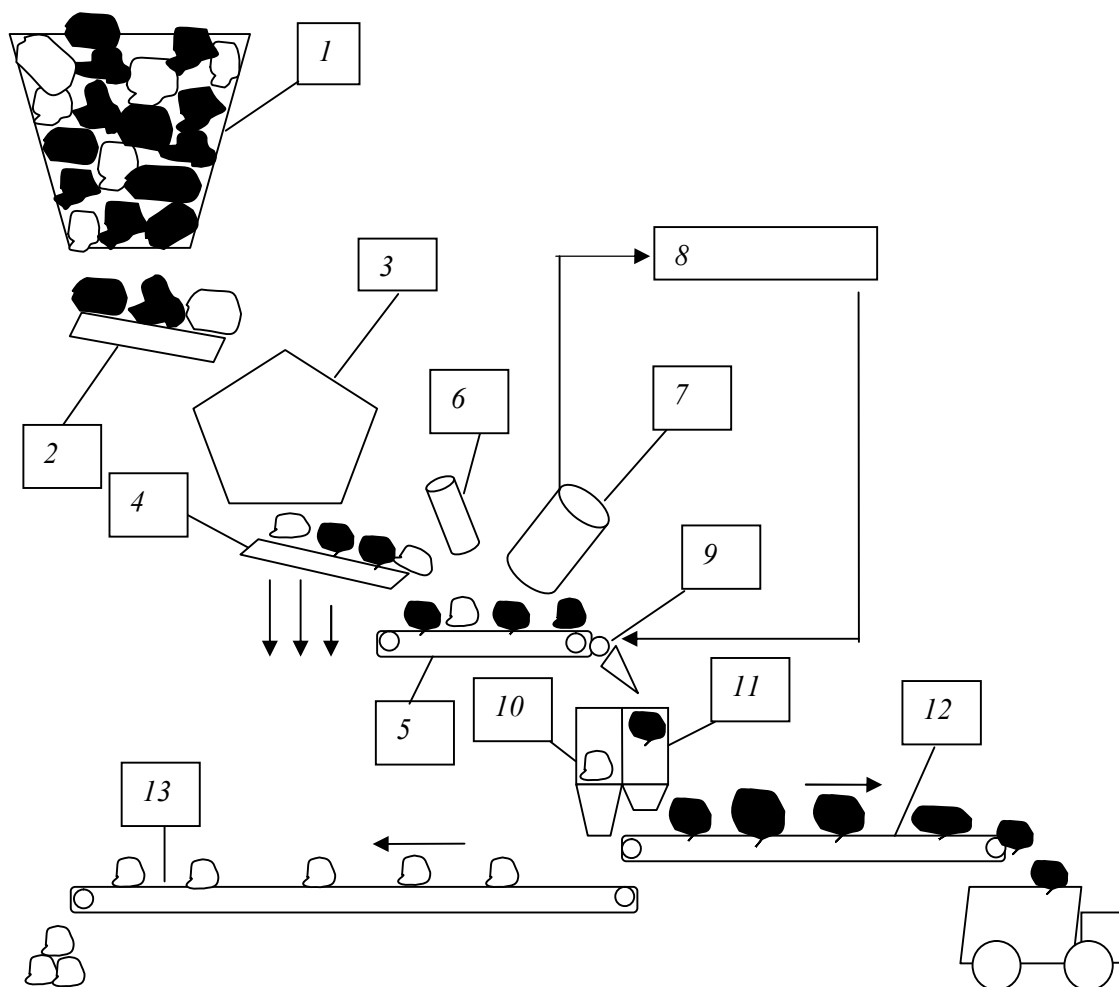


Рис. 5.9. Функціональна схема мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу

Основною технологічною перевагою МДСРК є його мобільність, яка дозволяє йому переміщуватись слідом за просуванням видобувного забою; рудна масса, що екскавується, завантажується безпосередньо в приймальний бункер комплексу, а руда після радіометричного сортування відвантажується на один з автосамоскидів, які обслуговують екскаватор в штатному режимі.

При цьому не потрібна додаткова транспортна ланка, знижуються капітальні витрати за рахунок виключення підготовленої площадки та капітальних споруд, в яких зазвичай розміщується стаціонарний радіометричний комплекс [124].

Функціональна схема мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу (рис. 5.9) складається з приймального бункера 1,

віброживильника 2, дробарки 3, віброгрохоту 4, конвеєра 5, джерела іонізуючого випромінювання 6, датчика випромінювання 7, вимірювального блоку 8, виконавчого пристрою (шибера) 9, рудного відсіку бункера 10, породного відсіку бункера 11, рудного конвеєра 12, породного конвеєра 13. Всі складові частини змонтовано на загальному шасі серійного мобільного дробильно-сортувального комплексу.

Для МДСРК прийнято наступний порядок роботи: підірвана рудна маса екскаватором завантажується в приймальний бункер, віброживильником подається в дробарку, потім дрібний клас видаляється за допомогою грохоту 4, по конвеєру 5 надрешітний матеріал подається в зону вимірювання, де піддається впливу гамма-випромінювання радіометричного модуля.

Потік розсіяного гамма-випромінювання реєструється датчиком 7, сигнал з якого надходить у вимірювальний блок 8, де він обробляється та формується командний імпульс для управління розділюючим пристроєм (шибер 9). Шиберний пристрій розділяє вхідну рудну масу за встановленим пороговим значенням, відсікаючи пусту породу і направляє кожен з продуктів до відповідних бункерів (10, 11) [123,124].

Рудна маса після сепарації відвантажується в один з транспортних засобів, які обслуговують екскаватор в даному забої, а пуста порода може або транспортуватися в зовнішній відвал, або, при достатніх габаритах робочої площадки уступу, розташованого на граничному контурі кар'єра, складуватися в зоні нижньої бровки у вигляді внутрішнього відвалу.

При варіанті внутрішнього відвалоутворення, тобто складування пустих порід в певному стаціонарному обсязі у відпрацьованому просторі кар'єру на граничному контурі, застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу забезпечує додатковий екологічний ефект.

Використання мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу дозволить знизити показник разубожування із забоїв приконтатної зони кар'єру і стабілізувати якість загальнокар'єрного та фінального рудопотоку ГЗК за рахунок мінімізації амплітудних коливань корисного компонента.

### 5.3. Розробка методології роботи мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу

Відомо, що інтегральний потік вторинного випромінювання, яке використовується в якості критерію оцінки вмісту корисного компонента як функція від класу крупності та вологості гірничої маси, енергії та активності джерела випромінювання, геометричних параметрів вимірювання інтенсивності розсіяного гама-випромінювання, є моделлю для попереднього збагачення мінеральної сировини на основі радіометричного сортування [125].

Процес взаємодії гама-випромінювання з гірськими породами описується законом Бугера-Лямперта-Бера, суть якого полягає в наступному: якщо на речовину падає випромінювання з інтенсивністю  $N_0$ , то інтенсивність вторинного випромінювання зменшується в наслідок поглинання і розсіювання у речовині.

Нехай в той момент, коли випромінювання пройшло в речовині відстань  $x$ , його інтенсивність стала  $N$ . При проходженні випромінювання через шар малої товщини  $dx$  його інтенсивність зменшується на малу величину  $dN$ , пропорційну товщині шару й інтенсивності  $N$ , тобто  $-\mu$

$$dN = -\mu N dx \quad (5.17)$$

Знак «-» в цій формулі говорить про те, що зміна інтенсивності  $dN < 0$ . Коефіцієнт пропорційності  $\mu$  – коефіцієнт поглинання, який залежить від речовини, від того, наскільки велике в даній речовині число елементарних процесів, що послаблюють потік часток.

Розділивши праву і ліву частини на  $N$ , отримуємо

$$dN/N = -\mu dx \quad (5.18)$$

Проінтегрувавши праву і ліву частини цього виразу, отримуємо

$$\ln(N) + C = -\mu x + C \quad (5.19)$$

Звідки 
$$N = \exp((- \mu * x) + C) \quad (5.20)$$

$$N = \exp(-\mu * x) * \exp(C) \quad (5.21)$$

Позначимо  $\exp(C)=C_1$  і підставляючи значення  $C_1$  у рівняння (5.21), отримаємо

$$N = C_1 \cdot \exp(-\mu \cdot x) \quad (5.22)$$

Згідно з теоремою Коші при  $X=X_0$   $N=N_0$   $dN / x = -\mu \cdot N$  ,  $N_{x=x_0} = N_0$

$$N_0 = C_1 \cdot \exp(-\mu \cdot x) = C_1 \quad (5.23)$$

Підставляючи значення  $C_1$  у формулу (5.22), отримаємо

$$N = N_0 \cdot \exp(-\mu \cdot x) \quad (5.24)$$

Для врахування впливу речовинного складу мінеральної сировини на інтегральний потік гамма-випромінювання, замінимо лінійний коефіцієнт  $\mu$  на масовий  $\mu_m$  и отримаємо

$$N = N_0 \cdot \exp(-\mu_m \cdot \rho \cdot x), \quad (5.25)$$

де  $\rho$  – поверхнева щільність породи;

$\mu_m$  – масовий коефіцієнт поглинання.

Закономірність (5.25) використовується в якості фундаментальної основи процесу радіометричної сепарації [126].

При розробці алгоритму роботи радіометричного модуля мобільного дробильно-сортувального комплексу (рис. 5.10) також використано закономірність за формулою (5.25).

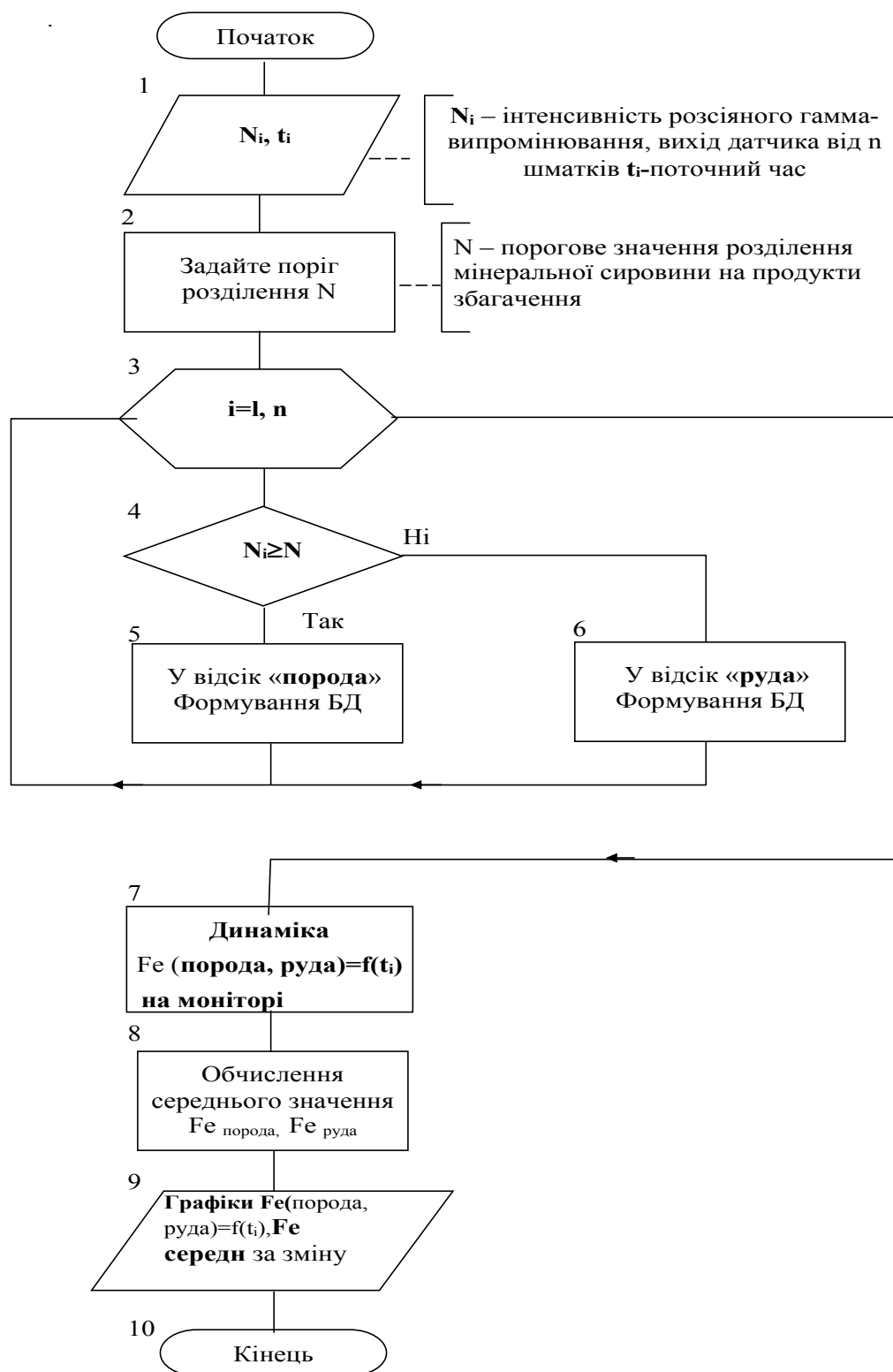


Рис. 5.10. Алгоритм роботи радіометричного модуля МДСРК

Основною розподільною ознакою «руда»-«порода» є зареєстроване значення інтегрального потоку розсіяного гамма-випромінювання, пропорційне величині вмісту корисного компонента в рудній масі [126].

Крім функції сепарації даний алгоритм має функцію формування бази даних про динаміку зміни якості, обчислення середнього значення вмісту корисного компонента в руді та породі.

Основою процесу сортування, що здійснюється мобільним дробильно-сортувальним радіометричним комплексом, є процес взаємодії гамма-випромінювання з гірськими породами. Задане граничне значення дозволяє розділити мінеральну сировину на продукти з різними показниками вмісту корисного компонента, використовуючи принцип бінарного середовища на основі значення  $C = Z_{\text{еф.проби}} / Z_{\text{еф.наповнювача}}$ .

Прототипами сепаратора для мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є радіометричні сепаратори РАС-2 и РС-2Ж, розроблені в лабораторії контролю якості Криворізького національного університету і випробувані на різних типах руд Криворізького залізорудного басейну.

Принципову схему сепаратора РАС-2 раніше було використано в якості елемента комплексу рудопідготовки в проекті, виконаному інститутом ДП «Кривбаспроект» для шахтоуправління підземного видобутку Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» [127].

Результати випробувань радіометричного модуля сепаратора РАС-2 з сортування бідної кускової руди ШУ підземного видобутку Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» на наведено в табл. 5.4.

При сортуванні кускової частини руди, розсіяної на класи крупності 20-50, 50–100 і 100–300 мм, було отримано кусковий концентрат із вмістом заліза 54-58,5 % [125].

Підвищення вмісту заліза руді після сепарації на радіометричному модулі РАС-2 склало від 11,5 до 16,8 %. Нижній рядок у таблиці є результатом проходження через модуль розубоженої рудної маси з вмістом заліза 41,7 %.



Таблиця 5.4

Результати випробувань зі сортування бідної кускової руди на сепараторі РАС-2

| Вхідна руда |                         | Руда після сепарації |          |                         | Некондиція  |       | Вилучення<br>$Fe_{заг.}, \%$ | Приріст<br>вмісту<br>$Fe_{заг.}, \%$ |
|-------------|-------------------------|----------------------|----------|-------------------------|-------------|-------|------------------------------|--------------------------------------|
| Fe,<br>%    | SiO <sub>2</sub> ,<br>% | Вихід,<br>%          | Fe,<br>% | SiO <sub>2</sub> ,<br>% | Вихід,<br>% | Fe, % |                              |                                      |
| 42,2        | 23,3                    | 70,5                 | 54,0     | 10,7                    | 29,5        | 14,0  | 90,2                         | 11,8                                 |
| 41,7        | 35,7                    | 34,0                 | 58,5     | 8,5                     | 66,0        | 33,0  | 47,7                         | 16,8                                 |

Надалі результати випробувань на радіометричному модулі сепаратора РС-2Ж показали, що підвищення вмісту заліза в рудній масі становило від 5 до 12,2 %, а витяг металу – від 75 до 90 % відповідно. Таким чином, випробування радіометричних модулів дозволило отримати хороші результати, забезпечивши відсікання некондиційної гірничої маси за встановленим пороговим значенням. Саме тому його було прийнято як прототип сепаратора для мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу.

В якості технологічної платформи мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу пропонується використовувати мобільні дробарки серійного виробництва «Terex Finlay» J-1160 або «Lokotrack» LT110, що мають паспортну продуктивність до 200 т/год.

Фактична продуктивність мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу не буде перевищувати 100 т/год, що регламентується насамперед технічними характеристиками радіометричного сепаратора.

Слід підкреслити, що мобільний дробильно-сортувальний комплекс призначений не для переробки всього обсягу рудної маси, видобутої в забої, а лише тієї його частини, що є найбільш разубоженою за рахунок перемішування з порожньою породою при виконанні буровибухових робіт у видобувних блоках приконтантної зони кар'єра [125].

#### 5.4. Мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс як частина і компоновочний елемент технології управління якістю рудопотоків

Мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс може застосовуватися як складова технології управління якістю рудопотоків кар'єра.

Технологічну схему відпрацювання видобувного забою приконтатної зони кар'єру із застосуванням мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу наведено на рис. 5.11.

Організація робіт в забої при цьому виглядає наступним чином: розрахункові параметри робочої площадки забезпечують розміщення виймального обладнання з урахуванням габаритів мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу та схеми подачі кар'єрних автосамоскидів під навантаження. МДСРК (3) розташовується позаду екскаватора (1). Завантаження рудної маси в автосамоскиди (2) з тієї частини забою, де показники вмісту корисного компонента в межах норми, ведеться в звичайному режимі, при обміні транспорту екскаватор не простоює, а виконує завантаження бункера мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу з тієї частини забою, де розубожування має максимальні показники. При цьому коефіцієнт використання екскаватора зростає, оскільки при обміні автосамоскидів виймальне обладнання продовжує працювати, завантажуючи бункер мобільного комплексу.

Процес сепарації в мобільному дробильно-сортувальному радіометричному комплексі йде безперервно, відсікаючи некондиційну гірничу масу за встановленим порогом сортування. При цьому вміст корисного компонента в рудній масі після сепарації зростає.

Під розвантажувальною консоллю МДСРК розташовано рудний бункер, з якого періодично, по мірі його заповнення, йде завантаження відсортованою рудною масою автосамоскидів трнспортної ланки, що обслуговує даний забій.

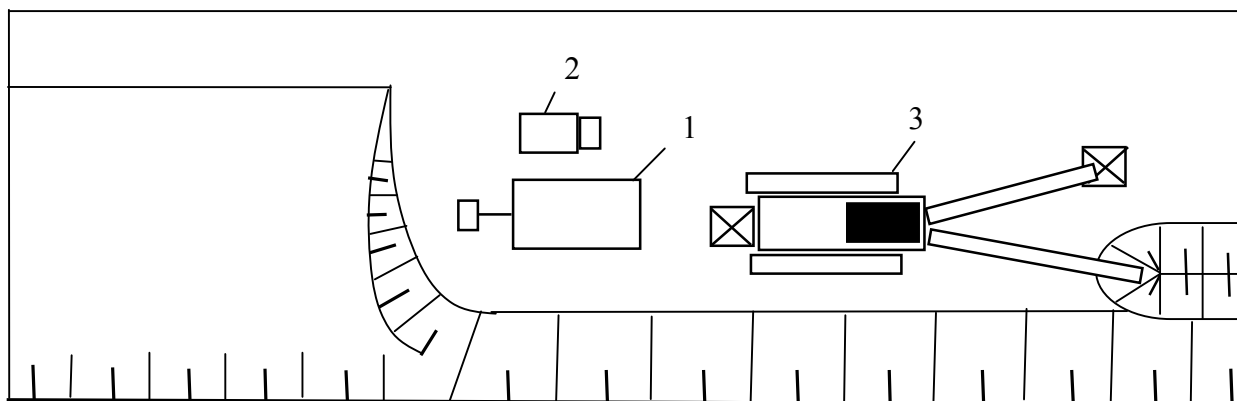


Рис. 5.11. Схема відпрацювання рудного забою із застосуванням мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу

Для мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу визначено два основних технологічних завдання.

Першим – є відсікання некондиційної гірничої маси з метою виключення її з подальшого транспортування, дроблення, подрібнення й участі в процесі збагачення. При цьому мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс переробляє не весь обсяг рудної маси із заходки, а лише ту її частину, що знаходиться в приконтатній зоні «руда-порода». Пуста порода після сепарації складається по можливості у внутрішніх відвалах, на граничному контурі кар'єру або вивозиться в зовнішній породний відвал [125].

Другим завданням є підвищення вмісту корисного компонента в рудній масі та стабілізація якості у потоці за рахунок установленого порога сортування на підставі критерію бінарності середовища. При цьому стабілізація якості загальнокар'єрного рудопотоку забезпечується за рахунок мінімізації амплітудних коливань вмісту корисного компонента із забоїв приконтатной зони.

Загальну схему формування рудопотоку кар'єра з використанням мобільного дробильно-сортувального комплексу показано на рис. 5.12.

Мобільний дробильно-сортувальний комплекс радіометричного сортування, що є складовою технології управління якістю рудопотоків кар'єрів, відтинає некондиційну гірничу масу в приконтатній зоні «руда-порода» за встановленим

критерієм бінарного середовища, виходячи зі значень ефективного атомного номера, дозволяє підвищити якість рудного потоку з приконтатних забоїв на 5 % і знизити обсяги транспортування гірничої маси.

Мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс використовується у виробничій схемі з урахуванням поставлених технологічних завдань. Разом з тим для об'єктивності слід зазначити, що в цьому випадку надійність схеми дещо знижується, через наявність додаткового технологічного обладнання збільшується ризик його незапланованої зупинки і зміни параметрів рудопотоку, що формується, відносно розрахункових показників.

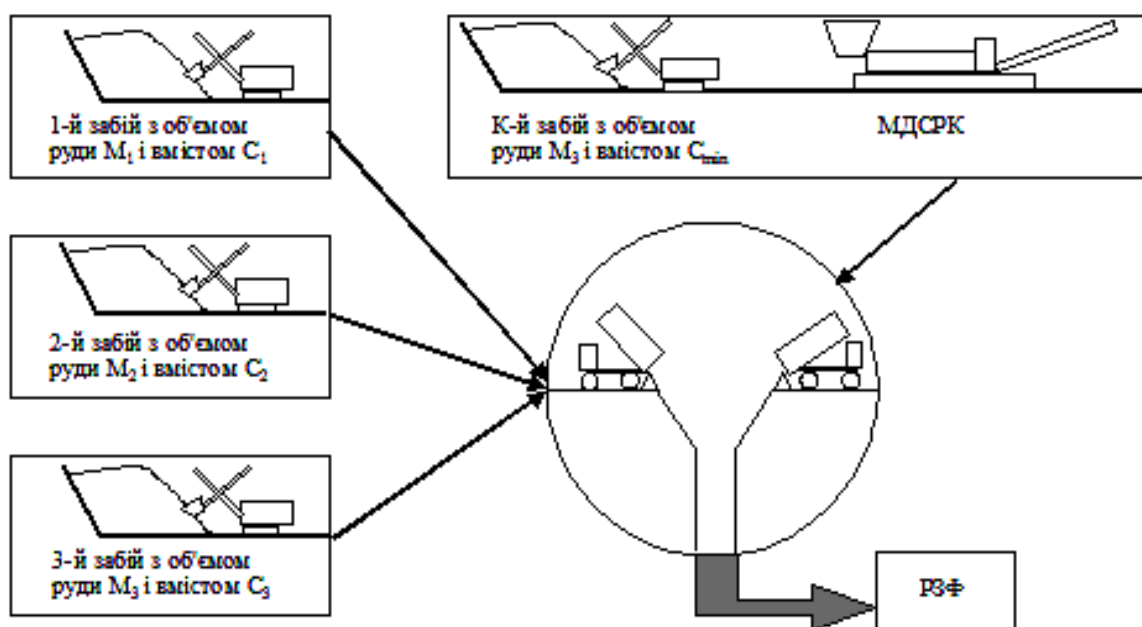


Рис. 5.12. Схема формування рудопотоку кар'єра з використанням мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу

Слід також урахувати ймовірність відносного зниження продуктивності забою, але при цьому пріоритет запропонованої технологічної схеми буде полягати в безумовному підвищенні якості рудного потоку та стабілізації амплітудних коливань локального рудопотоку з даного забою і рудопотоку кар'єра в цілому [125].

Застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як складової технології управління якістю рудопотоків в умовах відкритих гірничих робіт забезпечить технологічний, екологічний, енергозберігаючий та економічний ефект [123].

Технологічний ефект від застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу полягає в підвищенні якості рудного потоку із забоїв приконтатних зон кар'єру на 5 % по вмісту загального заліза за рахунок відсікання некондиційної гірничої маси; в зниженні амплітуди коливань якості в рудному потоці з забоїв приконтатних зон і за рахунок цього – загальної стабілізації рудопотоку кар'єра; в зниженні на 1,2 % загального обсягу руди, що направляється на збагачення; зменшенні обсягу транспортування порожніх порід до зовнішніх відвалів за рахунок можливості застосування внутрішнього відвалоутворення на граничному контурі кар'єру.

Екологічний ефект від застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу полягає в зменшенні загального обсягу породних відвалів на земній поверхні за рахунок можливості розміщення хвостів сепарації у внутрішньокар'єрному відвалі на граничному контурі.

Енергозберігаючий ефект від застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу полягає в зниженні витрат енергоресурсів при переробці в зв'язку зі зменшенням загального обсягу рудної маси, що направляється на збагачення. Відомо, що витрати на подрібнення становлять близько 70 % від собівартості збагачення, а процес збагачення займає не менше 60 % в структурі собівартості гірничо-збагачувального комбінату. Таким чином, зниження обсягу рудної маси за рахунок відсікання некондиційної її частини дозволить зменшити енерговитрати.

Економічний ефект від застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу полягає в зниженні собівартості збагачення на 1,0-1,5 % внаслідок отримання додаткового обсягу концентрату при стабілізації якості руди в заданому діапазоні на вході збагачувального процесу. Зниження

собівартості дозволить отримати додатковий приріст прибутку за умови константності цін реалізації продукції.

Оптимізація процесу збагачення реалізується при формуванні фінального рудопотоку із заданими якісними характеристиками за рахунок підвищення вмісту корисного компонента в руді при відсіканні некондиційної гірничої маси в призабойній зоні, що забезпечує високі техніко-економічні показники роботи збагачувальної фабрики й усього ГЗК.

Також економічний ефект може бути при зниженні загальних витрат на транспортування гірничої маси в кар'єрі за рахунок зменшення обсягу перевезеної рудної маси із забоїв приконтатної зони «руда-порода», оскільки некондиційна частина відсікається мобільним дробильно-сортувальним радіометричним комплексом.

Доцільно використовувати МДСРК разом з новою технологією комбінованого відокремлення пород від масиву, яка дозволяє більш точно здійснити відбійку руди у приконтатній зоні, зменшити обсяги засміченої рудної маси та за рахунок цього знизити показник втрат та розубожування корисної копалини [128,129].

#### 5.5. Обґрунтування доцільності та умов застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в залізорудному кар'єрі

Технологічна доцільність застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах залізорудного кар'єру як елемента технології управління якістю рудопотоків є очевидною і полягає в можливості відсікти некондиційну гірничу масу і тим самим підвищити вміст корисного компонента у видобутій руді, знизити коливання якості в рудопотоці кар'єру, що формується [130].

Для застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах залізорудного кар'єру необхідним є існування декількох технологічних передумов. Технологічні передумови – це наявність забоїв на межі

«руда-порода», які можуть дати найбільший показник розубожування і привести до значних амплітудних коливань якості в рудопотоці кар'єру; можливість створення робочих площадок з параметрами, необхідними для розміщення всього комплексу технологічного обладнання; здійснення внутрішнього відвалоутворення. Внутрішнє відвалоутворення є найбільш доцільним з точки зору екологічної безпеки регіону, в якому розташовано кар'єри [131].

Обґрунтування економічної доцільності зводиться до економічного розрахунку, що включає в себе визначення очікуваного ефекту від:

- підвищення стабільності вмісту корисного компонента в рудопотоці, що визначається зниженням витрат при збагаченні –  $Q_{n.o.}$  (грн/рік);
- зменшення загального обсягу транспортованої гірничої маси до 1,2 % і за рахунок цього – зниження транспортних витрат –  $Q_{т.з.}$  (грн/рік);
- отримання додаткового обсягу концентрату за рахунок стабілізації якісних характеристик рудопотоку –  $\Delta M_{конц.}$  і додаткового доходу ГЗК:  $\Delta M_{конц.} \times C_{конц.}$ , (грн/рік), де  $C_{конц.}$  – відпускна ціна концентрату.

Сумарно це можна виразити наступним чином:

$$\sum \sum ((Q_{n.o.} + Q_{т.з.}) + \Delta M_{конц.} \times C_{конц.}) \quad (5.26)$$

Разом з тим, застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу вимагає певного обсягу капіталовкладень ( $K_3$ ). До капіталовкладень входять витрати: на придбання мобільної дробарки як платформи для МДСРК, на монтаж радіометричного сепаратора, на пуско-налагоджувальні роботи і введення в експлуатацію.

Математично вираз обґрунтування доцільності застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах залізрудного кар'єру має вигляд простої нерівності:

$$\sum \sum ((Q_{n.o.} + Q_{т.з.}) + \Delta M_{конц.} \times C_{конц.}) > K_3 \times E_n \quad (5.27)$$

При цьому у виразі (5.27) не враховується можливий ефект від застосування внутрішнього відвалоутворення на граничному контурі кар'єру, тому що внутрішнє відвалоутворення можливим є не завжди. Але ж якщо частина відсортованої гірничої маси, яка у вигляді порожньої породи може бути закладована у внутрішньому відвалі без необхідності подальшого переміщення, то це безумовно дасть додатковий екологічний ефект [130].

Таким чином, вираз (5.27) дозволяє розрахунковим методом обґрунтувати можливість застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу для умов конкретного залізрудного кар'єру.

### Висновки до розділу 5

1. Якщо  $Z_{\text{эф. проби}}$  відрізняється від  $Z_{\text{эф. наповнювача}}$  хоча б на 10 %, то гамма-гамма метод дозволяє розпізнавати образ (руду) в даній гірничій масі.

2. Для джерела випромінювання Am-241 при відношенні  $Z_{\text{эф. проби}}/Z_{\text{эф. наповнювача}}=1,1$  середовище можна вважати квазібінарним. Якщо ж  $Z_{\text{эф. проби}}/Z_{\text{эф. наповнювача}}\geq 1,2$ , то подібне середовище можна віднести до бінарного.

3. Розпізнавання образу (руды) в бінарному середовищі становить на рівні 95 % ймовірності, що є обґрунтуванням можливості застосування радіометричного сортування для даних умов.

4. Дослідження фізико-хімічних і фізико-механічних властивостей гірських порід дозволяє віднести руди Криворізького залізрудного басейну за ознакою взаємодії з гамма-квантами до бінарних середовищ, що допускає здійснення ефективного радіометричного сортування залізрудної сировини в кар'єрі.

5. Основною перевагою радіометричного сортування є те, що воно здійснюється за заданим значенням, тобто рудна маса, що пройшла через сепаратор, має показник вмісту загального заліза – не нижчий значення встановленого порогу.



6. За даними Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» середній показник розубожування в блоках приконтатної зони – до 28 %.

7. Обґрунтування необхідності застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах відкритих розробок залізородних родовищ ґрунтується на необхідності підвищення якості руди, що надходить із забоїв приконтатної зони «руда-порода», на які припадає найбільший відсоток втрат і розубожування руд. При формуванні рудопотоку кар'єру руда з цих забоїв знижує сировинну якість і стабільність вмісту корисного компонента за рахунок значних амплітудних коливань.

8. Запропонований варіант мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є синергією мобільного дробильного комплексу і радіометричного сепаратора та може використовуватися як складова технології управління якістю рудопотоків.

9. Технологічною перевагою мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в порівнянні зі стаціонарними комплексами є його мобільність, яка дозволяє йому переміщуватися слідом за посуванням видобувного забою, постійно перебуваючи в призабійній зоні.

10. Прототипами сепаратора для мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є радіометричні сепаратори РАС-2 і РС-2Ж, успішно випробувані на різних типах руд Криворізького залізородного басейну.

11. Першим технологічним завданням мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є відсікання некондиційної гірничої маси з метою виключення її з подальшого транспортування, дроблення, подрібнення й участі в процесі збагачення. При цьому комплекс переробляє не весь обсяг рудної маси із заходки, а тільки ту частину, яка знаходиться в приконтатній зоні «руда-порода». Хвости сепарації складуються по можливості у внутрішніх відвалах, на граничному контурі кар'єру.

12. Другим технологічним завданням мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу є підвищення вмісту корисного компонента в рудній

масі та стабілізація амплітудних коливань в потоці за рахунок встановленого порога сортування.

13. Мобільний дробильно-сортувальний комплекс радіометричного сортування, що є складовою технології управління якістю рудопотоків, відтинає некондиційну гірничу масу в приконтатній зоні «руда-порода» за встановленим критерієм бінарного середовища, виходячи зі значень ефективного атомного номеру, дозволяє підвищити якість рудного потоку з приконтатних забоїв і знизити обсяги транспортування гірничої маси.

14. Застосування МДСРК як елемента технології управління якістю рудопотоків кар'єрів дозволить отримати технологічний, екологічний, енергозберігаючий і економічний ефект.

15. Технологічний ефект від застосування МДСРК полягає в підвищенні якості рудного потоку із забоїв приконтатних зон кар'єру на 5 % за вмістом загального заліза за рахунок відсікання некондиційної гірничої маси; в зниженні амплітуди коливань якості в рудному потоці із забоїв приконтатних зон і за рахунок цього загальної стабілізації рудопотоку кар'єру; у зниженні засмічення на 12÷18 %; у зниженні на 1,2 % загального обсягу руди, що направляється на збагачення; зменшенні обсягу транспортування порожніх порід до зовнішніх відвалів за рахунок можливості застосування внутрішнього відвалоутворення на граничному контурі кар'єру.

16. Екологічний ефект від застосування МДСРК полягає в зменшенні загального обсягу породних відвалів на поверхні за рахунок можливості розміщення хвостів сепарації у внутрішньокар'єрних відвалах на граничному контурі.

17. Енергозберігаючий ефект від застосування МДСРК полягає в скороченні витрат енергоресурсів при переробці в зв'язку зі зменшенням загального обсягу рудної маси, що направляється на збагачення. Таким чином, зниження обсягу рудної маси за рахунок відсікання некондиційної її частини дозволить зменшити енерговитрати.

18. Економічний ефект від застосування МДСРК полягає в зниженні собівартості збагачення на 1,0–1,5 % внаслідок отримання додаткового обсягу концентрату при стабілізації якості вхідної руди збагачувального процесу в заданому діапазоні. Також економічний ефект може мати місце при зниженні загальних витрат на транспортування гірничої маси в кар'єрі за рахунок зменшення обсягу перевезеної рудної маси із забоїв приконтактної зони «руда-порода»

19. Для застосування мобільного МДСРК як складової технології управління якістю рудопотоків в умовах залізорудних кар'єрів необхідною є наявність визначених технологічних передумов і економічне обґрунтування, що враховує загальний розмір капітальних вкладень і термін окупності проекту.

## РОЗДІЛ 6

### **СИНЕРГІЯ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ЯК ОСНОВА ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ ГЕНЕРАЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ РУДОПОТОКІВ ГІРНИЧО-ЗБАГАЧУВАЛЬНИХ КОМБІНАТІВ**

6.1. Розробка функціональної схеми технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Відомо, що процесом управління є спеціально організований вплив на об'єкт управління з метою отримання бажаного результату. Пристрій або засіб, що виробляє керуючий сигнал на об'єкт управління, є керуючим пристроєм, або засобом управління [132].

В системі управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків таким пристроєм є центральний сервер, а об'єктом управління – процес формування рудопотоку із заданими в певних межах значеннями вмісту корисного компонента.

Керуючий сигнал (команда), вироблений керуючим пристроєм (сервером), передається каналами зв'язку та впливає на об'єкт управління.

Сукупність об'єкта управління, керуючого пристрою (засобу управління), засобів інформації та органів управління утворює систему управління [132].

Технологія управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків базується на синергії систем контролю і систем управління, та складається із засобів контролю якості в забоях в локальних та фінальних потоках, каналів передачі оперативної інформації та центрального сервера, який аналізує за допомогою спеціального програмного забезпечення ситуацію та формує керуючий вплив у вигляді команд екскаваторам і транспортним засобам [133].

Основною метою запропонованої нової технології є забезпечення сталої планової якості руди, що надходить на збагачення в цілому по ГЗК, і мінімізації амплітудних та часових коливань вмісту корисного компонента в рудному

вантажопотоці в гарантованих межах заданого інтервалу шляхом інтеграції всіх елементів систем контролю та управління [95,134].

Таким чином, основною проблемою, яка вирішується технологією управління якістю, є формування фінальних інтегрованих рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату із заданими показниками вмісту корисного компонента.

Відомо, що значення вмісту корисного компонента у вхідній руді збагачувального процесу, як правило, непостійне і є об'єктом контролю та впливу при управлінні якістю рудопотоків ГЗК. Необхідність застосування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків зумовлена об'єктивними факторами. У рудопотоках ГЗК (як локальних, так і фінальних) необхідний вміст корисного компонента забезпечується, як правило, лише в середньому значенні в деякому часовому інтервалі (доба, місяць). Усередині ж цього інтервалу вміст корисного компонента коливається, часто виходячи за межі допустимого діапазону.

Застосування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків ГЗК надасть можливість максимально оперативно реагувати на будь-які зміни в.к.к., комплексно коригуючи роботу виймально-навантажувального і транспортного обладнання в усіх ланках інтегрованого рудопотоку для забезпечення виконання планового завдання.

Функціонування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків побудовано на принципі застосування усереднення як способу управління якістю мінеральної сировини на підставі достовірної і своєчасної інформації про вміст корисного компонента в забоях і в сформованому потоці.

Для вирішення цієї проблеми можуть бути використані існуючі автоматизовані системи диспетчерського управління гірничо-транспортним устаткуванням (АСДУ ГТУ), призначені для управління комплексом обладнання відкритих гірничих робіт.

Прикладом розгорнутої системи диспетчеризації, розробленої на основі технології GPS, є автоматизована система диспетчерського управління гірничо-транспортним устаткуванням, розроблена «ВІСТ Груп».

Дана система складається з диспетчерського центру, що об'єднує радіонавігаційний комплекс (РНК) та інформаційно-обчислювальний комплекс (ІОК). Радіонавігаційний комплекс слугує для прийому-передачі інформації з різних технологічних місць, а інформаційно-обчислювальний – обробляє цю інформацію і через РНК здійснює коригування змінних завдань по видобувних забоях. При цьому дану систему з самого початку не було оснащено засобами оперативного контролю якості, як в забоях, так і в рудопотоці, а центральний сервер не мав спеціального програмного забезпечення для обробки інформації про фактичні значення вмісту корисного компонента в забоях та у сформованому рудопотоці [135].

Одним із завдань системи гірничо-транспортної диспетчеризації при її розробці було заявлено формування інтегрованого рудопотоку із заданими якісними характеристиками. Однак, на практиці, рішення даного завдання передбачає або прогнозно-імітаційне управління, або прийняття рішень на підставі даних хіманалізу вмісту корисного компонента, що запізнюються, як мінімум, на дві-три години і втрачають свою технологічну цінність внаслідок несвоєчасності.

При цьому засоби оперативного контролю якості на основних етапах гірничого виробництва – або відсутні, або не використовуються як єдина система управління якістю.

У зв'язку з цим коригування змінного завдання проводиться тільки при виході з ладу будь-якого технологічного обладнання, причому здійснюється це, як правило, в ручному режимі перерахунку завдань на забої (шихтувального завдання), а якісні характеристики рудопотоку, що формується, при цьому не відповідають вимогам збагачувального виробництва.

Також при плануванні в роботі систем гірничо-транспортної диспетчеризації використовуються методи прогнозування вмісту корисного компонента, так як

повноцінні системи контролю якості, що охоплюють всі етапи виробництва, відсутні.

Таким чином, відсутність ефективної функції контролю якості в забоях і рудопотоці є основним недоліком існуючих систем гірничо-транспортної диспетчеризації, тому амплітудні та часові коливання вмісту корисного компонента виходять за межі заданого діапазону, істотно знижуючи якісні показники фінального рудопотоку, що є вхідною рудою рудозбагачувальної фабрики.

Концепція створення технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків виглядає як синергія автоматизованої системи диспетчерського управління ГЗК з загальнокомбінатовською системою управління якістю.

Оскільки завдання оперативного управління рудопотоками належать до класу задач оперативного управління, то методики, що застосовуються до задач дослідження, застосовно і до неї.

В даному випадку цикл завдання управління складається з наступних етапів:

- отримання достовірної інформації про статику і динаміку ситуації;
- контроль розвитку ситуації на підставі обраних критеріїв;
- прийняття рішення при відхиленні від критеріальних значень;
- передача рішення на об'єкт управління.

Функціональну схему технології управління якістю рудопотоків наведено на рис. 6.1. [136,137]

При прямій передачі даних на сервер інформаційно-обчислювального комплексу операції з прогнозування та імітаційного моделювання не потрібні, тому що в даному випадку інформація про вміст в забоях – достовірна і своєчасна. У разі виходу показників вмісту корисного компонента за розрахункові значення, центральний сервер інформаційно-обчислювального комплексу здійснює перерахунок продуктивності забоїв з метою повернення величини коливань якості в рудопотоці до нормативних величин.

Тому обґрунтування технології управління якістю рудопотоків є рішенням важливої виробничої проблеми забезпечення стабільності якості фінального інтегрованого рудопотоку ГЗК, дозволяє контролювати й аналізувати вміст в забоях і потоці, та, за необхідності, здійснювати коригування виробничого навантаження на видобувні забої.

Запропонована функціональна схема в подальшому буде використана як основа для розробки функціональної схеми технології управління сировинною якістю залізовмісної сировини вже генералізованого в масштабах гірничо-збагачувального комбінату комплексу рудопотоків [137].

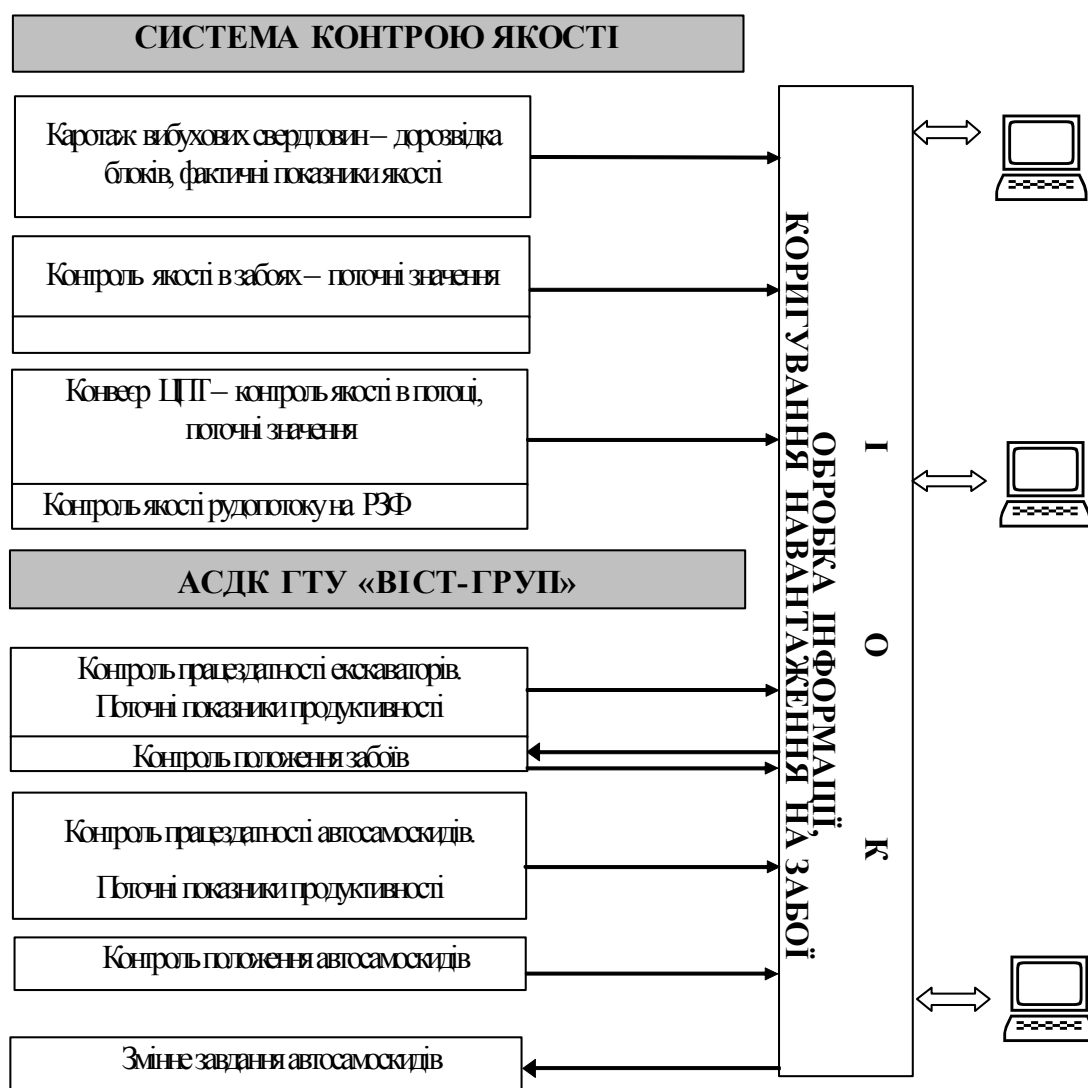


Рис. 6.1. Функціональна схема технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків



## 6.2. Розробка структурної та функціональної схеми технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Структурну схему технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків зображено на рис. 6.2.



Рис. 6.2. Структурна схема технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків

Вона використовує існуючу структурну схему автоматизованої системи гірничо-транспортної диспетчерізації: центр управління, що об'єднує

радіонавігаційний та інформаційно-обчислювальний комплекс та охоплює всі основні технологічні етапи відкритих гірничих робіт [137].

Радіонавігаційний комплекс (1) використовується для прийому-передачі інформації з різних точок опробування – в забоях та в рудопотоці, а також для контролю стану всього комплексу технологічного обладнання – виймального і транспортного. Основною вимогою до радіонавігаційного комплексу (РНК) є висока швидкість передачі інформації та її перешкодозахищеність з метою забезпечення центрального сервера своєчасною та достовірною інформацією, а технологічний комплекс обладнання – чіткими командами управління. В якості практичної реалізації РНК найкраще використовувати транкінгову цифрову багатозонну систему радіозв'язку типу «TETRA».

Інформаційно-обчислювальний комплекс (2) обробляє інформацію відділу технічного контролю (ВТК) про стан якості в забоях (6), про стан працездатності виймального та транспортного обладнання (3), і, після обробки, формує первинний керуючий сигнал у вигляді змінного завдання на видобувні забої (5).

У разі, якщо значення вмісту корисного компонента в рудопотоці виходить за межі заданого діапазону за певний часовий період, або при виході з ладу будь-якого технологічного обладнання, центральний сервер здійснює коригування навантаження (перерахунок змінного завдання) для видобувних забоїв кар'єру (4) і, як керуючий вплив, передає у вигляді команди на екскаватори й автосамоскиди (7). При формуванні рудопотоку (9) відбувається безперервний контроль якості, що полягає у визначенні відповідності фактичного значення вмісту корисного компонента заданому значенню в амплітудному діапазоні коливань (8). Ці дані через РНК (1) або лінії кабельного зв'язку передаються на центральний сервер ІОЦ (2), де також підлягають обробці.

Додатковою точкою контролю є вихідна та вихідна руда на вході рудозбагачувальної фабрики (11), яка може бути задіяна як елемент для управління розміром розвантажувальної щілини конусної дробарки [138].

Технічними засобами відділу технічного контролю є, як стаціонарні системи, так і переносні пристрої. Опробування в потоці може здійснюватися в

безперервному режимі існуючою системою НАКС-ПК, але крупність руди не завжди дозволяє отримати поточне значення вмісту корисного компонента з необхідною точністю [139]. Тому найбільш ефективним способом контролю є комбінований контроль, як в потоці, так і використання вже підготовлених до хіманалізу проб (подрібнених і висушених) для експрес-контролю за допомогою пристрою «Датчик заліза магнітного ДЖМ-4» (магнітне залізо) або «Порошковий аналізатор проб ПАП-1» [47] (загальне залізо) з подальшою схемою передачі даних на центральний сервер, аналогічною при випробуванні в забоях.

При цьому точність вимірювання вмісту корисного компонента ДЖМ-4 і ПАП-1 перебуває на рівні хімічного аналізу, а час отримання результатів після підготовки проб становить всього 30–60 с.

Основною при цьому є інформація про амплітуду коливань вмісту корисного компонента  $\alpha$  у фінальному рудопотоці від заданого значення, яка враховується для обчислення і коригування змінного завдання у забоях та основою для застосування генералізованої технології управління якістю рудопотків ГЗК.

Вирішення технологічних задач з формування рудопотків кар'єрів із заданими якісними показниками дозволяє в подальшому обґрунтувати систему контролю якості залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотків, функціональну схему якої зображено на рис. 6.3.

Дана система дозволяє контролювати якість в усіх технологічних процесах і на всіх етапах виробництва: від забою до відвантаження готової продукції споживачам, що, в свою чергу, дозволить вирішити ряд головних проблем, що зараз стоять перед гірничою промисловістю: забезпечення концепції розширення сировинної бази України, побудова раціональної еколого-економічної моделі залізорудних ГЗК і забезпечення концепції енерго- та ресурсозберігання.

Забезпечення концепції розширення сировинної бази України стає можливим за рахунок залучення в процес переробки всього обсягу кондиційних руд, для чого необхідно здійснювати відпрацювання не тільки забоїв з максимальним вмістом корисного компонента, внаслідок чого розширюється

сировинна база кар'єру і родовища в цілому, оптимізується порядок відпрацювання кар'єрного поля. Також відбувається зниження втрат та разубоження рудної маси, що теж відповідає завданням регіонального надровикористання. Дані, що отримуються з різних етапів виробництва ГЗК, обробляються на центральному сервері системи та використовуються в подальшому для автоматизованого робочого місця (АРМ) «Якість».

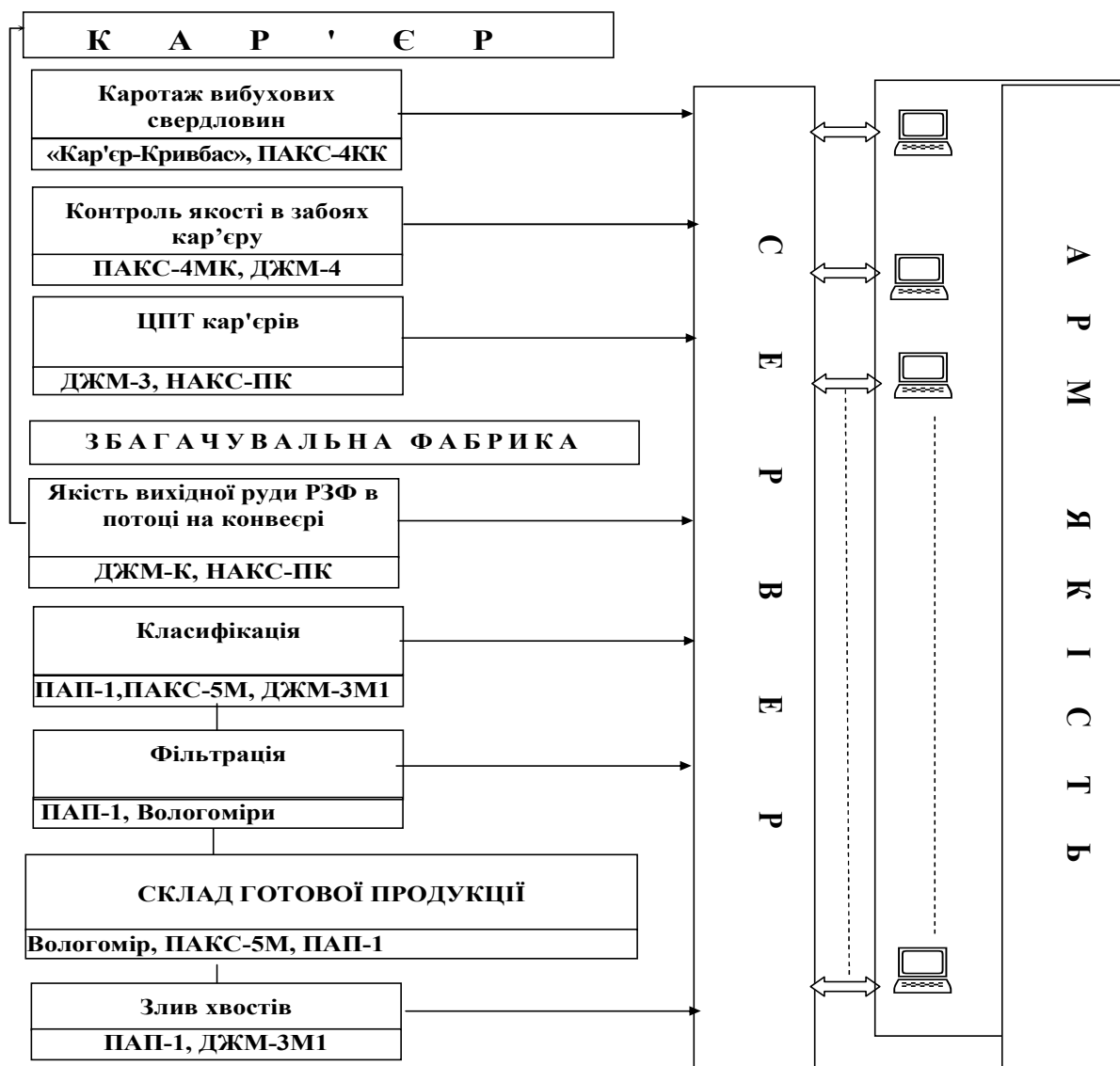


Рис. 6.3. Функціональна схема системи контролю якості залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Забезпечення концепції побудови раціональної еколого-економічної моделі залізорудних ГЗК України також є найважливішою виробничою проблемою, вирішити яку дозволить застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є забезпечення оптимальних режимів роботи гірничо-збагачувального виробництва. У цьому випадку втрати корисного компонента в хвостах і відвалах будуть в межах нормативних значень, що позначиться на загальній екологічній ситуації в регіоні розробки родовищ.

При цьому оптимізація збагачувального процесу за рахунок стабілізації якісних показників у фінальному рудопотоці дозволить оптимізувати економічні показники ГЗК.

Проблема забезпечення концепції ресурсо- та енергозберігання гірничо-збагачувального виробництва також може вирішуватися за допомогою застосування управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів. За сучасних умов це завдання стає найбільш актуальним, оскільки процес переробки корисних копалин має тенденцію до збільшення витрат перш за все за рахунок зростання цін на енергоносії.

Сучасне збагачувальне виробництво споживає значні обсяги електроенергії, води та інших ресурсів (кулі, футерування для млинів, допоміжні матеріали). Очевидно, тенденція до зростання вартості енергоносіїв буде зберігатися в найближчі десятиліття, тому ресурсо- та енергозберігання залишається одним із найбільш важливих виробничих завдань, вирішення якого позначиться на основних техніко-економічних показниках ГЗК.

При формуванні фінального рудопотоку з амплітудними значеннями вмісту корисного компонента, що не виходять за межі заданого діапазону, забезпечується оптимальний режим процесу збагачення, за якого витрата ресурсів для переробки залізорудної сировини (води, електроенергії, куль і футерування) буде такою, що не перевищує розрахункові значення.

Саме такий процес формування фінального інтегрованого рудопотоку може бути забезпечений застосуванням запропонованої технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів.

Оцінка рівня виконання поставленого завдання управління якістю інтегрованих рудопотоків виконується за критерієм ефективності: чим ефективніше працює технологія управління якістю, тим меншою буде амплітуда коливань вмісту корисного компонента  $\alpha$  у вхідній руді РЗФ і, відповідно, меншою різниця між розрахунковим і фактичним значенням виходу концентрату  $\gamma_p$  та  $\gamma_{\text{факт}}$ .

Чим достовірніша інформація про коливання  $\alpha$  – тим ефективніше управління технологією. При цьому одним з основних напрямків оцінки ефективності роботи системи може бути мінімізація показників амплітуди коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці [140].

Це ґрунтується на раніше доведеному твердженні: чим менше коливання якості в фінальному рудопотоці залізорудного ГЗК – тим ближче до оптимальних режимів робота збагачувального виробництва, які забезпечують максимальний вихід концентрату при мінімальній собівартості.

### 6.3. Алгоритмізація функціонування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Побудова блок-схеми алгоритму управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів (рис. 6.4) ґрунтується перш за все на функціональній і структурній схемі, а також прийнятій на даному підприємстві технології ведення відкритих гірничих робіт.

Вихідними даними для блок-схеми є розрахунковий змінний обсяг видобутку, кількість працездатних видобувних забоїв, продуктивність забоїв, вихідна якість руди в забоях, кількість робочих автосамоскидів, задане значення вмісту корисного компоненту в рудопотоці та мінімаксний коефіцієнт «minimax»,

що обмежує величину амплітуди коливань якості в потоці руди, а також період опробування забоїв кар'єру.

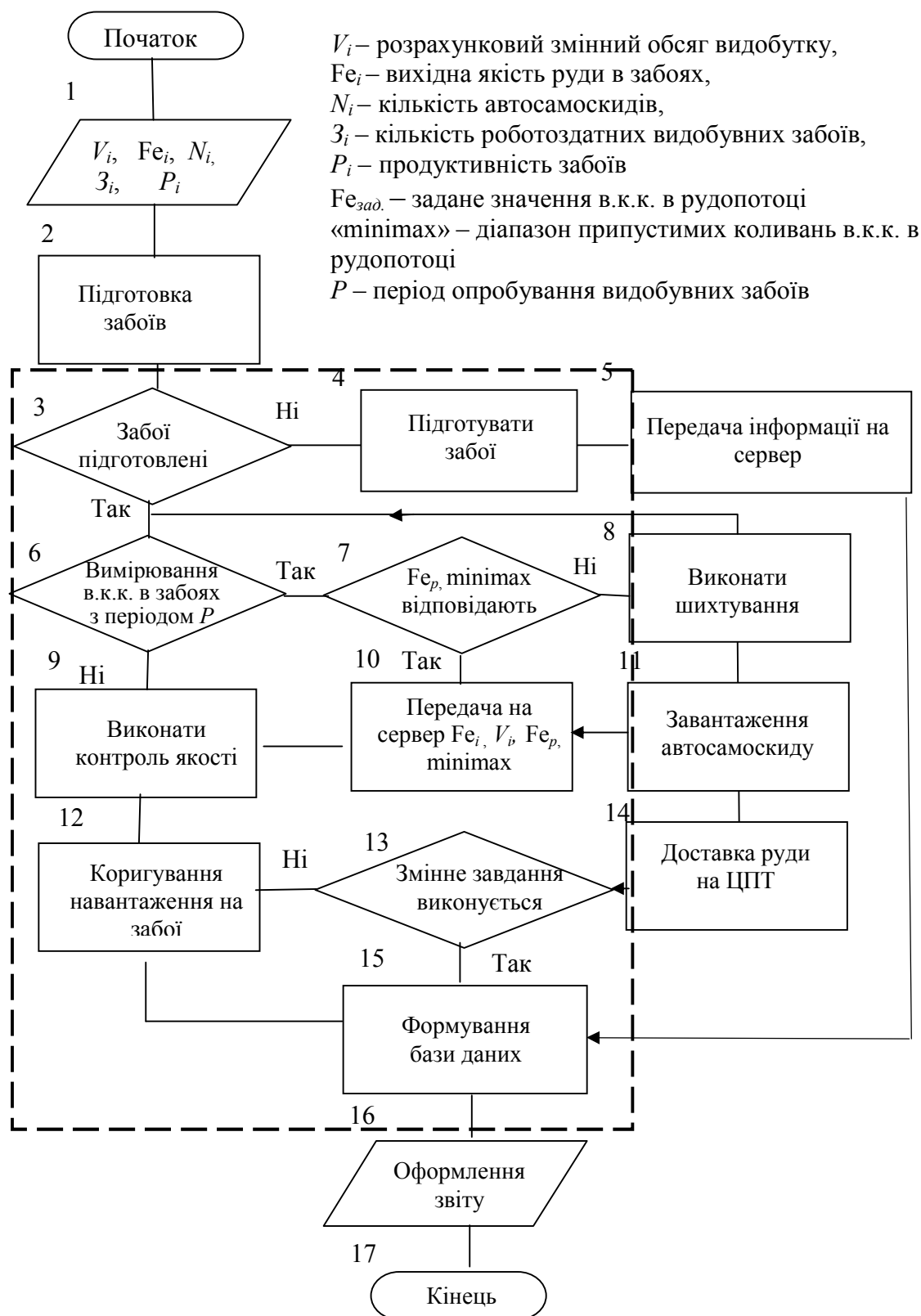


Рис. 6.4. Блок-схема алгоритму роботи технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків ГЗК

Вихідні дані в блок-схемі використовуються результати розв'язання стандартного шихтувального завдання.

При цьому обов'язково враховується працездатність забоїв, фактичні показники вмісту корисного компонента в кожному забої, обґрунтований період опробування, кількість автосамоскидів, які забезпечують формування рудопотоку за схемою доставки на ЦПТ дискретних обсягів руди, і прийнятий порядок змішування її в фінальний вантажопотік [45].

Блок-схема алгоритму технології управління якістю рудопотоків формується на основі принципу переваги виконання плану за якістю над планом за обсягом руди.

Пунктиром на рис. 6.4. виділено авторську частину блок-схеми, запропоновано вперше.

Алгоритм роботи технології передбачає облік неодночасності за фактом початку роботи видобувних забоїв кар'єру щодо початку зміни, що також вплине на якісні характеристики формування рудопотоку. Різночасний початок роботи видобувних забоїв вносить похибку в змінне завдання з формування рудопотоку, оскільки при вирішенні шихтувального завдання зміщення за часом початку роботи не враховуються. При критичному запізненні початку роботи хоча б одного забою центральний сервер, який не отримав підтвердження від даного забою про його працездатність, здійснює перерахунок навантаження на інші забої, що вже почали видобуток.

Далі функціонування системи зводиться до виконання контролю вмісту корисного компонента в забоях через обґрунтований період та в потоці руди – постійно.

При зміні вмісту корисного компонента після опробування в забоях проводиться перерахунок змінного завдання – повторне рішення шихтувального завдання сервером інформаційно-обчислювального центру через обґрунтований проміжок часу, а при відхиленні в.к.к. (виходу за діапазон мінімаксного коефіцієнта «*minimax*») – на час, більше встановленого обґрунтованого інтервалу, також перерахунок навантаження на забої.



Обґрунтовані проміжки часу перерахунку завдання необхідно розраховувати для умов конкретного гірничого підприємства, причому вони будуть залежати від величин коливання якості в забоях кар'єру, щоб виключити колапс керуючої системи. Колапс, тобто в даному випадку фактичне припинення виконання завдань технологією управління якістю рудопотоків, може полягати у видачі команд на перерахунок шихтовочного завдання з інтервалом, меншим за час рейсу автосамоскиду.

Якщо ж відхилення показника вмісту корисного компонента в рудопотоці фіксується за період, більший заданого обґрунтованого інтервалу часу, то центральний сервер інформаційно-обчислювального центру здійснює перерахунок навантаження на видобувні забої.

При нормальному функціонуванні технології, яка відбувається відповідно заданим умовам за амплітудними коливаннями сировинної якості рудопотоку ( $Fe_{\text{зад.}}$ , мінімаксний коефіцієнт «minimax»), перерахунок навантажень на видобувні забої протягом зміни не проводиться.

Завершальна частина блок-схеми передбачає формування звіту, що зберігається в пам'яті сервера, та дозволяє зробити аналіз формування рудопотоку кар'єра, і який може бути за необхідності представлений на різних носіях.

Наведена блок-схема алгоритма побудована для формування фінального рудопотоку з одного кар'єра.

6.4. Концепція створення технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах гірничо-збагачувального комбінату комплексу рудопотоків

Необхідність суворої та стійкої відповідності сформованого рудопотоку заданим якісним показникам обумовлюється тим, що оптимальні режими збагачення можуть бути забезпечені тільки при жорстко обмежених відхиленнях вмісту корисного компонента в загальнокомбінатівському рудопотоці, який пропонується називати кінцевим або фінальним, а не за кожною його складовою окремо, що є

характерним для сучасних ГЗК, які розробляють в одному (ПрАТ «Інгулецький ГЗК», ПАТ «Південний ГЗК», ПАТ «Полтавський ГЗК») або декількох (гірничий департамент ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг», ПАТ «Центральний ГЗК», ПрАТ «Північний ГЗК») кар'єрах поклади різнорідних руд.

У зв'язку з цим забезпечення обумовленого рівня якості та стабілізація амплітуди її коливань саме в такому фінальному рудопотоці є за важливістю, складністю і масштабами актуальною науковою проблемою, оскільки до теперішнього часу дослідження проводилися переважно в рамках часткових вантажопотоків з окремих видобувних заходів, сформованих з них загальнокар'єрних, але ніяк не загальнокомбінатівських, незважаючи на наявність у деяких гірничо-збагачувальних комбінатів декількох кар'єрів при єдиних збагачувальних фабриках [141].

Під управлінням якістю генералізованого комплексу фінального (кінцевого) рудопотоку мається на увазі об'єднання всіх засобів контролю, сортування і мікшування руд в єдину, технологічно домінуючу в масштабі не тільки окремого кар'єру, але й усього ГЗК комп'ютеризовану систему, підпорядковану загальній цільовій алгоритмізації.

Розглянемо принципи і концепцію технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах залізрудного ГЗК комплексу рудопотоків.

У даному контексті під ресурсами ГЗК маються на увазі:

- природно-геологічні (геогенні та техногенні родовища, вироблені простори, насипи, водосховища й ін.).
- фондові (основні фонди – виробничі будівлі та споруди, транспортні комунікації, обладнання й ін.).

Аналіз проектів подальшого розвитку гірничо-збагачувальних комбінатів України свідчить про те, що більшість з них з проектною продуктивністю пропрацюють ще 15–20 років, після чого вона почне планомірно знижуватися: або в міру доопрацювання продуктивних покладів руд, або – граничних за проектною глибиною горизонтів кар'єрів [142].

При цьому неминуче виникає проблема відповідного зниження завантаження збагачувальних фабрик та інших основних фондів пропорційно падінню видобутку руд. Техніко-економічні розрахунки свідчать про те, що відповідне зазначеному послідовне виведення збагачувальних секцій рудозбагачувальних фабрик (РЗФ) ГЗК є неминучою реальністю за даної тенденції. І тут виникає надзвичайно серйозна, майже не досліджена на сьогоднішній день, а тому й багато в чому несподівана проблема, суть якої полягає в тому, що збагачувальний процес, хоч і реалізується сукупністю збагачувальних секцій, які з точки зору управління є дискретними технологічними одиницями, але відбувається він усе ж таки в РЗФ – системі, яка є єдиним середовищем, що включає в себе не тільки підсистеми – збагачувальні секції, але й загальносистемні а тому масштабно незмінні складові (будівлі та споруди, спільні дробильно-сортувальні й інші технологічні комплекси, єдині транспортні та складські системи, енергетичні й інженерні мережі, загальні основні фонди та ресурси, наскрізну інфраструктуру, систему забезпечення, управління, логістики тощо).

Тому РЗФ є утворенням суцільно інтегрованим, надзвичайно складним функціонально та громіздким структурно, а головне – цілеспрямовано розрахованим виключно на повний масштаб об'єкта, як проектно, так і програмно. Саме тому РЗФ як система не тільки не має адаптаційної гнучкості щодо масштабної варіабельності активної чисельності її дискретних одиниць – збагачувальних секцій, а навпаки – вона саме проектно і програмно максимально захищена щодо будь-яких відхилень від проектних показників, внаслідок чого, скорочуючи кількість працюючих секцій, ГЗК не має можливості пропорційно скорочувати витрати на утримання РЗФ, а тому несе їх у повному масштабі [142].

Зважаючи на зазначене, було запропоновано і досліджено як варіант вирішення даної проблеми почергове закриття збагачувальних фабрик на ГЗК, продуктивність яких знижується в групі комбінатів до критичного значення, що визначається розробленим критерієм, суть якого полягає в співвідношенні витрат на утримання власної РЗФ ГЗК і прибутку від реалізації збагаченої продукції. А

після зниження рентабельності збагачення руд до мінімального рівня (з урахуванням необхідності витрат на повномасштабне утримання збагачувальної фабрики) закриття РЗФ стає неминучим і критерій оцінки ефективності функціонування ГЗК зводиться до співставлення витрат на видобуток товарної руди і прибутку від її реалізації як уже кінцевої продукції [142].

При цьому виділяються два етапи виведення РЗФ:

- робота фабрики з продуктивністю, що знижується, і почерговим виведенням і реалізацією тієї частини обладнання, яке перестає завантажуватися внаслідок цього зниження;

- демонтаж і реалізація устаткування, конструкцій і матеріалів після повної зупинки фабрики.

Спрощено критерій має вигляд

$$\sum Z_{3\Phi} \langle (V_k C_k - V_p C_p) \rangle \quad (6.1)$$

де  $Z_{3\Phi}$  – витрати на утримання збагачувальної фабрики;

$V_p$  – обсяги руди, які переробляє ЗФ;

$V_k$  – обсяги одержуваного концентрату;

$C_k$  – ціна концентрату;

$C_p$  – ціна руди [141,142].

Якщо не обмежуватися дослідженням вантажопотоку до вхідного на РЗФ, в разі більш широкого асортименту залізорудної переробної продукції ГЗК, і розглядати його впродовж усього процесу (руда→концентрат→агломерат→окотиші), цей критерій набуде вигляду

$$\sum Z_i \langle \sum (V_i C_i) - V_p C_p \rangle \quad (6.2)$$

де  $Z_i$  – витрати на утримання  $i$ -х переробних потужностей;

$V_i$  – обсяг  $i$ -ї залізорудної продукції;

$C_i$  – ціна залізорудної продукції  $i$ -го виду [142].

Дотримуючись цього принципу, можна оцінити ситуацію за кожною з переробок. Витрати на утримання збагачувальної фабрики можна виразити як

$$Z_{zf} = V_k C. \quad (6.3)$$

Відомо, що  $V_k = V_p \gamma$ , тоді витрати на утримання РЗФ мають вигляд:

$$Z_{zf} = V_p \gamma C \quad (6.4)$$

де  $C$  – собівартість збагачення;  $\gamma$  – показник виходу концентрату на РЗФ.

Виходячи з виразу (6.1), співвідношення можна записати як

$$V_p \gamma C \leq (V_p \gamma C_k - V_p C_p) \quad (6.5)$$

Після скорочення та перетворення вираз (6.5) набуває вигляду

$$C \leq (C_k - \frac{C_p}{\gamma}) \quad (6.6)$$

Якщо прийняти значення собівартості переробки мінеральної сировини як мінімально допустиме (граничне) для нормального функціонування РЗФ, то на основі даних, розрахований за виразом 6.6, які наведені в табл. 6.1 та табл. 6.2.

Побудовані графіки на рис. 6.5, та 6.6 дозволяють визначити область значень собівартості збагачувального виробництва за змінних значень цін на концентрат та руду за різних показників виходу концентрату.

На рис. 6.5. наведено залежність мінімальної собівартості збагачувального виробництва від рівня цін на концентрат за різних значень ціни на руду (від 50 до 55 \$/т) при виході концентрату  $\gamma=39\%$ , на рис. 6.6. – при  $\gamma=40\%$ .

Таблиця 6.1

Залежність мінімальної собівартості від рівня цін на концентрат за різних значень цін на руду при виході концентрату  $\gamma=39\%$

| Ціна руди, \$/т        | 50    | 51    | 52    | 53   | 54    | 55    |
|------------------------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| Ціна концентрату, \$/т |       |       |       |      |       |       |
| 61                     | 67,21 | 69,77 | 72,33 | 74,9 | 77,46 | 80,03 |
| 62                     | 66,21 | 68,77 | 71,33 | 73,9 | 76,46 | 79,03 |
| 63                     | 65,21 | 67,77 | 70,33 | 72,9 | 75,46 | 78,03 |
| 64                     | 64,21 | 66,77 | 69,33 | 71,9 | 74,46 | 77,03 |
| 65                     | 63,21 | 65,77 | 68,33 | 70,9 | 73,46 | 76,03 |
| 66                     | 62,21 | 64,77 | 67,33 | 69,9 | 72,46 | 75,03 |
| 67                     | 61,21 | 63,77 | 66,33 | 68,9 | 71,46 | 74,03 |
| 68                     | 60,21 | 62,77 | 65,33 | 67,9 | 70,46 | 73,03 |
| 69                     | 59,21 | 61,77 | 64,33 | 66,9 | 69,46 | 72,03 |
| 70                     | 58,21 | 60,77 | 63,33 | 65,9 | 68,46 | 71,03 |
| 71                     | 57,21 | 59,77 | 62,33 | 64,9 | 67,46 | 70,03 |
| 72                     | 56,21 | 58,77 | 61,33 | 63,9 | 66,46 | 69,03 |

При цьому треба враховувати собівартість транспортування руди на РЗФ іншого ГЗК, тому що ціна руди на вході рудозбагачувальної фабрики буде збільшена на величину витрат [142]

$$C_{p2} = C_{p1} + C_{mp}, \quad (6.7)$$

де  $C_{p2}$  – ціна руди на РЗФ другого ГЗК;

$C_{p1}$  – ціна руди на РЗФ ГЗК, де вона була видобута;

$C_{mp}$  – собівартість транспортування руди з першого на другий ГЗК.

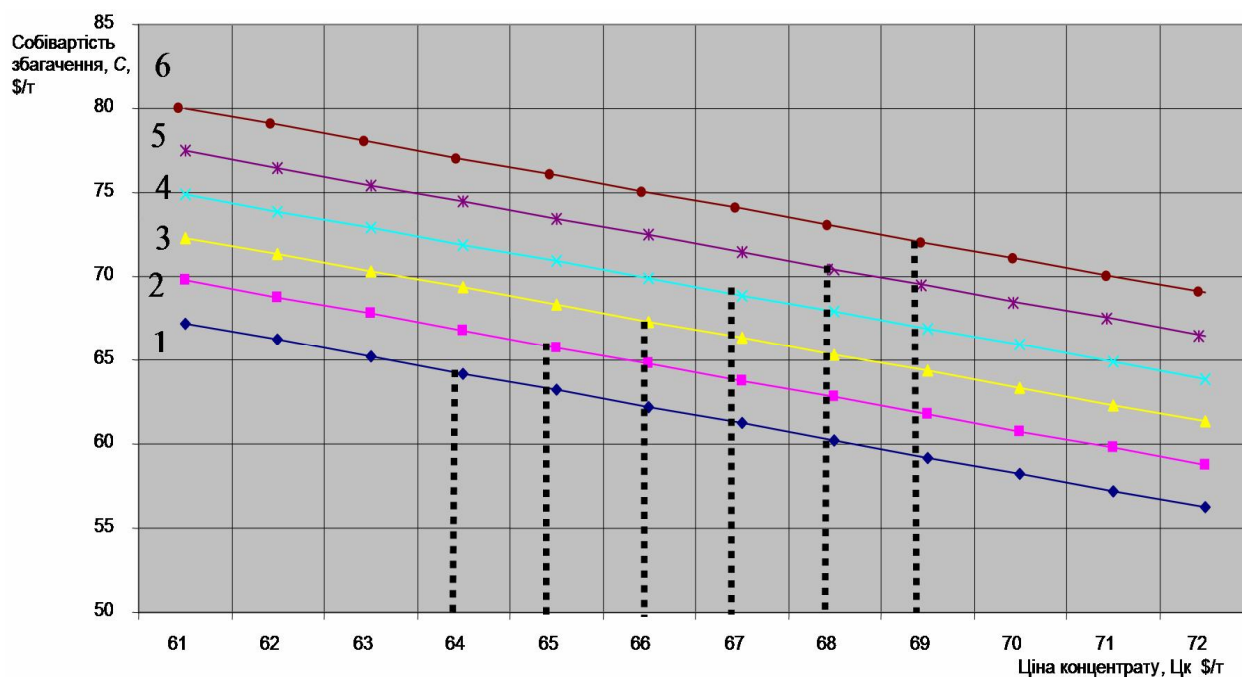


Рис. 6.5. Залежність мінімальної собівартості РЗФ від рівня цін на концентрат за різних значень ціни на руду при виході концентрату  $\gamma=39\%$ .

Таблиця 6.2

Залежність мінімальної собівартості від рівня цін на концентрат при різних значеннях цін на руду при виході концентрату  $\gamma=39\%$

| Ціна руди, \$/т        | 50 | 51   | 52 | 53   | 54 | 55   |
|------------------------|----|------|----|------|----|------|
| Ціна концентрату, \$/т | 64 | 66,5 | 69 | 71,5 | 74 | 76,5 |
| 61                     | 63 | 65,5 | 68 | 70,5 | 73 | 75,5 |
| 62                     | 62 | 64,5 | 67 | 69,5 | 72 | 74,5 |
| 63                     | 61 | 63,5 | 66 | 68,5 | 71 | 73,5 |
| 64                     | 60 | 62,5 | 65 | 67,5 | 70 | 72,5 |
| 65                     | 59 | 61,5 | 64 | 66,5 | 69 | 71,5 |
| 66                     | 58 | 60,5 | 63 | 65,5 | 68 | 70,5 |
| 67                     | 57 | 59,5 | 62 | 64,5 | 67 | 69,5 |
| 68                     | 56 | 58,5 | 61 | 63,5 | 66 | 68,5 |
| 69                     | 55 | 57,5 | 60 | 62,5 | 65 | 67,5 |
| 70                     | 54 | 56,5 | 59 | 61,5 | 64 | 66,5 |
| 71                     | 53 | 55,5 | 58 | 60,5 | 63 | 65,5 |

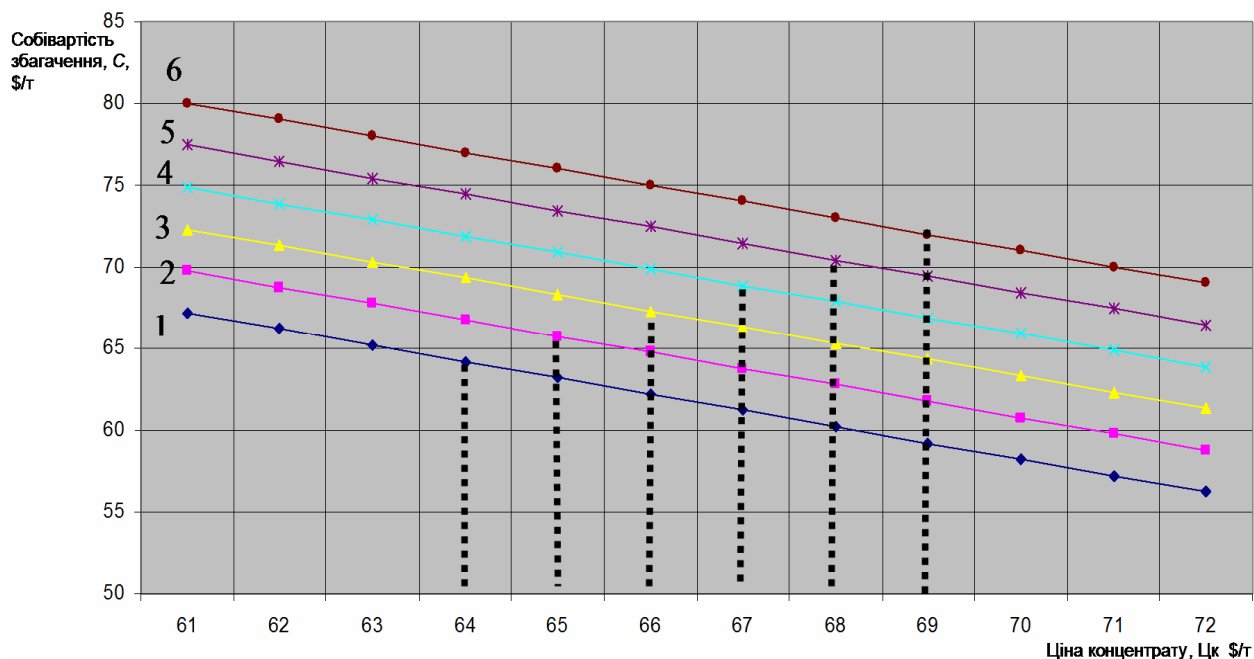


Рис. 6.6. Залежність мінімальної собівартості РЗФ від рівня цін на концентрат за різних значень ціни на руду при виході концентрату  $\gamma=40\%$ .

Ціна руди: 1 – 50 \$/т; 2 – 51 \$/т; 3 – 52 \$/т; 4 – 53 \$/т; 5 – 54 \$/т; 6 – 55 \$/т

Ціна руди: 1 – 50 \$/т; 2 – 51 \$/т; 3 – 52 \$/т; 4 – 53 \$/т; 5 – 54 \$/т; 6 – 55 \$/т

На графіках пунктиром позначено мінімальну ціну на концентрат, за якої з урахуванням ціни на руду та собівартості переробки рудозбагачувальної фабрики треба прийняти рішення про виведення з експлуатації всієї РЗФ або її частини (секції) та перенаправлення рудопотоку на інший ГЗК [141].

Підвищення ціни руди на РЗФ іншого ГЗК буде впливати на собівартість збагачення, але за рахунок збільшення обсягів руди на вході збагачувального виробництва зростання собівартості не буде пропорційним.

Для визначення необхідності виводу з експлуатації рудозбагачувальної фабрики та перенаправлення рудопотоку вхідної руди на інший ГЗК було розроблено алгоритм (рис. 6.7) [142].

Алгоритм побудований за допомогою цільовій функції  $C=f(X_i, Y_i, Z_i, K_i) \Rightarrow \min$ . При цьому алгоритм допомагає прийняти рішення, виходячи з того, чи є збагачувальне виробництво рентабельним за діючих цін на руду та концентрат.



Відомо, що ціни на руду та концентрат не є постійними, коливання ціни на концентрат мають дуже широкий діапазон: за десятиріччя він становив від 120 \$/т в 2007 р. до 65 \$/т в 2017 р., а песимістичний прогноз на 2018 р. цін на залізну руду виглядає як падіння її нижче рівня 50 \$/т.

Тому наявність алгоритму визначення необхідності виводу з експлуатації РЗФ на тому ГЗК, де собівартість переробки є вищою за ціну реалізації концентрату, є досить актуальним науковим питанням [141,142].

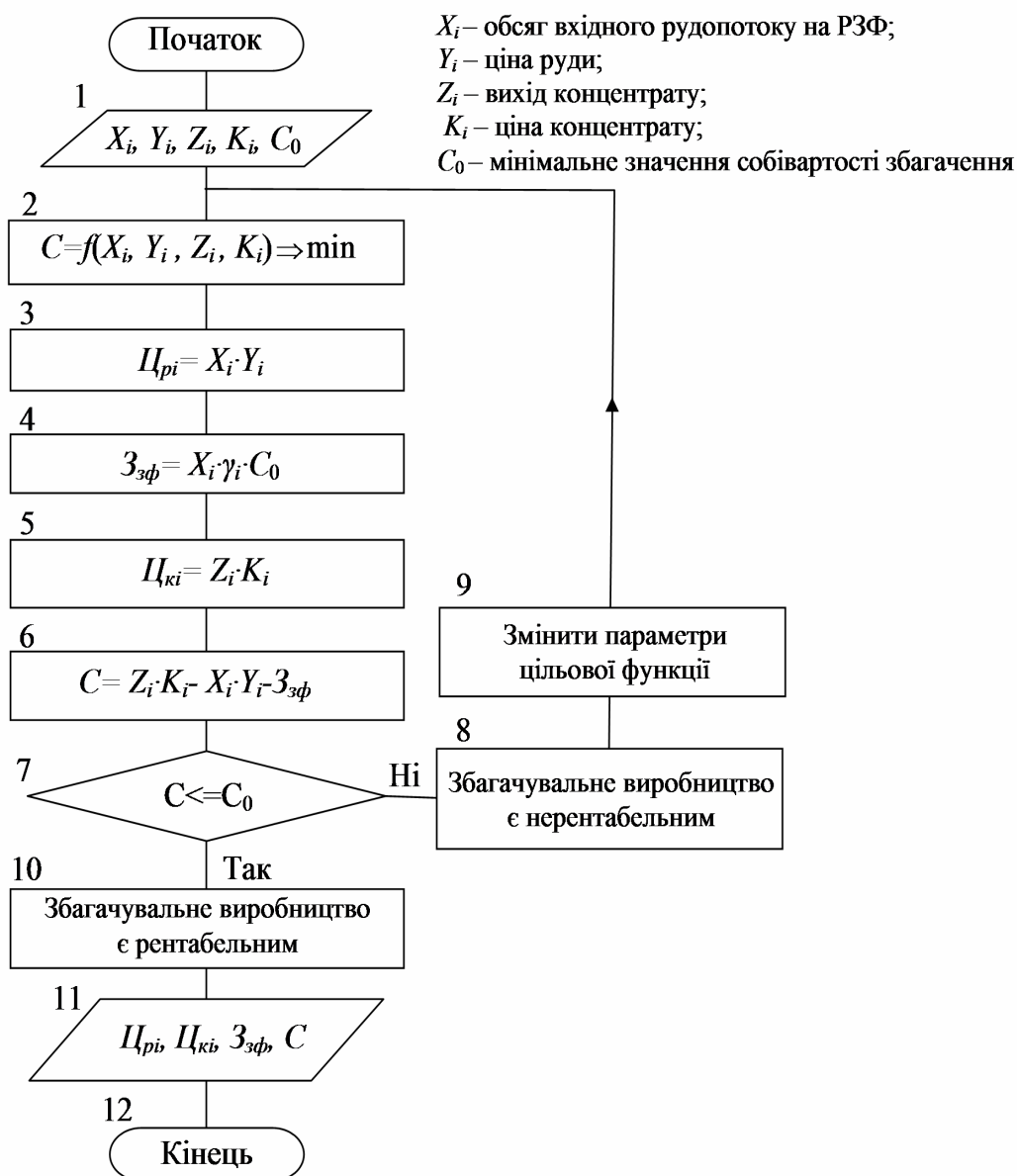


Рис. 6.7. Алгоритм для визначення доцільності експлуатації рудозбагачувальної фабрики або перенаправлення фінального рудопотоку на інший ГЗК

Зрештою протягом двох визначених вище особливих періодів на собівартість збагаченої продукції (в перший період) буде впливати – опосередковано – прибуток від продажу послідовно зупиняємих збагачувальних секцій (підперіоди), а на собівартість товарної руди як кінцевої продукції після повного припинення збагачення (другий період) – надходження від реалізації основних фондів й інших активів РЗФ у цілому [142].

Безумовно, розпродаж демонтованих а також цілісних основних фондів, виведених з експлуатації, відображається на фінансових показниках ГЗК у цілому. Але умовно можна співвіднести такий грошовий рух із собівартістю продукції в дані періоди – виключно для оціночної мотивації управлінських рішень.

$$\text{1-й період: } C_{з.н.н.i} = \{B_{з.н.н.j} - [\sum (H_i - D_i) + \sum \Delta_i P_i]\} / V_{з.н.н.j}, \quad (5.8)$$

де  $C_{з.н.н.j}$  – собівартість збагаченої продукції в  $j$ -й підперіод;

$B_{з.н.н.j}$  – сумарна вартість збагаченої продукції, виробленої в  $j$ -й підперіод;

$H_i$  – надходження від продажу  $i$ -х виведених з експлуатації активів у  $j$ -й підперіод;  $D_i$  – вартість демонтажу та реалізації  $i$ -х ресурсів у  $j$ -й підперіод;

$\Delta_i P_i$  – побіжні заощадження від скорочення споживання  $i$ -х ресурсів у  $j$ -й підперіод (прямі – враховуються у вартості збагачення руди);

$V_{з.н.н.j}$  – обсяги збагаченої продукції, виробленої в  $j$ -й підперіод.

$$\text{2-й період } C_{т.р.2} = \{B_{з.н.н.i} - [\sum (H_i - D_i) + \sum \Delta_i P_i] + \sum \Delta UPZ\Phi\} / V_{т.р.2}, \quad (6.9)$$

де  $C_{т.р.2}$  – собівартість товарної руди в  $i$ -й період;

$B_{з.н.н.i}$  – сумарна вартість збагаченої продукції, виробленої в  $i$ -й підперіод;

$H_i$  – надходження від продажу  $i$ -х виведених з експлуатації активів у  $i$ -й підперіод;  $D_i$  – вартість демонтажу та реалізації  $i$ -х ресурсів у  $i$ -й підперіод;

$\Delta_i P_i$  – побіжні заощадження від скорочення споживання  $i$ -х ресурсів у  $j$ -й підперіод (прямі – враховуються у вартості збагачення руди);

$V_{з.н.Пj}$  – обсяги збагаченої продукції, виробленої в  $j$ -й підперіод;

$\Delta U_{PЗФ}$  – решткові витрати на утримання РЗФ.

Даний підхід не забезпечує точного визначення конкретних техніко-економічних показників, та разом з тим дозволяє, хоч і вельми спрощено, але виключно оперативно та наочно оцінити, наскільки «пом'якшується» кожний з перехідних періодів, багато в чому екстремальних для ГЗК, компенсаторним впливом практично одночасних зі скороченням обсягів збагачення руд зазначених матеріальних надходжень, що дає змогу заздалегідь визначати, а відтак – і планувати узагальнені параметри досліджуваних систем та час, необхідний на підготовку й своєчасне превентивне упровадження заходів щодо технологічної реорганізації РЗФ та інтегрованих вантажопотоків ГЗК [142].

Що ж стосується безпосередньо технології формування рудопотоків, то тут важливою є сама принципова можливість такої узагальненої оцінки, що полегшує вирішення дилеми: переробляти руду на власній РЗФ, або ж – продавати її.

При досить щільній територіальній згрупованості ГЗК, що є характерною для Кривбасу, фактором гірничих технологій щодо управління якістю рудопотоків стає можливість, в разі доцільності, включення в фінальний рудопотік комбінату не тільки сировини з власних джерел, але також і з інших комбінатів басейну або того, що було придбане на сировинному ринку, що вже має місце в практиці окремих комбінатів.

Запропонована нова концепція технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу інтегрованих рудопотоків має ешелоновану по вертикалі ієрархію та згруповану за просторово-технологічними зонами і вимогами якості сировини багаторівневу структуру, схематично представлену на рис. 6.8. [141]

Геологічне картування передбачає оконтурювання в масивах кар'єрного поля руд з близьким вмістом корисного компонента, а технологічне районування – виділення ділянок, придатних для розробки за однаковою технологією, оскільки далеко не завжди сортності за вмістом заліза і за збагачуваністю руд збігаються.

Тому для вирішення таких завдань раніше було розроблено спеціальний метод геологічної додаткової розвідки шляхом радіометричного каротажу підричних свердловин, а також технологія структурно-кваліметричного зонування районів кар'єру, об'єднаних за технологічними ознаками.

Всі дані, що отримуються після додаткової розвідки, вносять до центрального сервера системи управління якістю фінальних рудопотоків залізородних ГЗК, які разом з інформацією про сировинну якість з інших етапів виробництва створюють загальну базу даних [143].

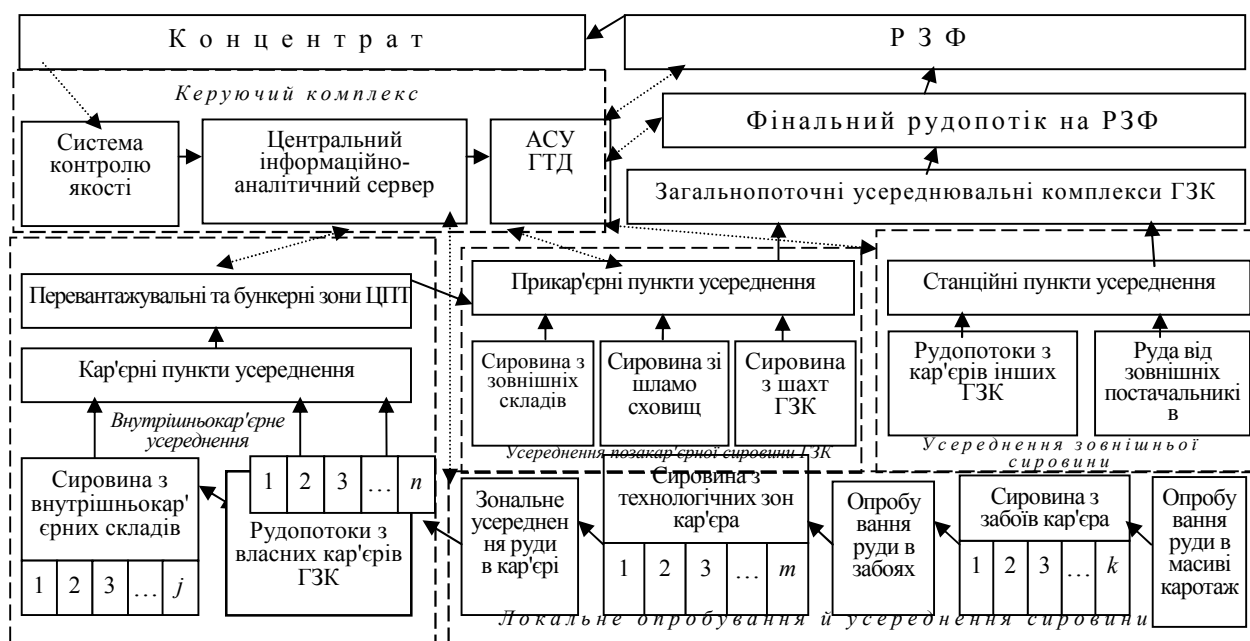


Рис. 6.8. Концептуальна схема технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудопотоків

6.5. Обґрунтування критеріїв оцінки точності оперативного контролю якості й ефективності управління якістю рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Методи оцінки управління якістю рудопотоків повинні насамперед відображати ефективність процесу та можливість досягнення кінцевої мети [144].

Відомо, що в якості критеріїв оцінки точності оперативного контролю якості й ефективності управління якістю рудопотоків можна застосувати наступні коефіцієнти:

- ефективності організації рудопотоку;
- ефективності планування рудопотоку;
- ефективності рудопідготовки;
- відповідності рудопотоку [145]

Коефіцієнт ефективності організації рудопотоку ( $K_{op}$ ) розраховується за формулою

$$k_{op.} = \alpha^{\phi}_{в.к.к.} \div \alpha^n_{в.к.к.} \quad (6.10)$$

де  $\alpha^{\phi}_{в.к.к.}$  – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці;

$\alpha^n_{в.к.к.}$  – плановий вміст корисного компонента в рудопотоці.

Відношення фактичного показника вмісту корисного компонента до планового в рудопотоці демонструє, наскільки ефективно виконано його формування. Чим ближче значення цього коефіцієнта до одиниці, тим ефективнішим вважається формування рудопотоку і тим ближчими є фактичні показники вмісту корисного компонента до розрахункових.

При роботі через усереднювальний рудсклад для оцінки ефективності планування рудопотоку застосовується коефіцієнт ефективності планування рудопотоку ( $K_{епр}$ ), який обчислюється за формулою

$$k_{e.n.p.} = \alpha^{\phi}_c \div \alpha^n_c \quad (6.11)$$

де  $\alpha^{\phi}_c$  – фактичний вміст корисного компонента в руді на складі;

$\alpha^n_c$  – плановий вміст корисного компонента в руді на складі.

Математична суть цього коефіцієнта, як і попереднього, полягає в прямуванні його значення до одиниці при ефективному виконанні планування рудопотоку.

Розрахунок коефіцієнта ефективності рудопідготовки ( $K_{EP}$ ) застосовується для оцінки технологічного процесу, пов'язаного з рудоподготовкою, і проводиться за формулою

$$k_{ep} = \alpha^{\phi}_{зф} \div \alpha^n_{зф} \quad (6.12)$$

де  $\alpha^{\phi}_{зф}$  – фактичний вміст корисного компонента у руді входу на збагачувальній фабриці;

$\alpha^n_{зф}$  – плановий вміст корисного компонента у руді входу на збагачувальній фабриці.

Коефіцієнт відповідності рудопотока ( $K_{BP}$ ) порівнює фактичні значення вмісту корисного компонента сформованого рудопотоку в кар'єрі з плановими показниками руди входу на збагачувальній фабриці, і розраховується за формулою

$$k_{в.р.} = \alpha^{\phi}_{в.к.к.} \div \alpha^n_{рзф} \quad (6.13)$$

де  $\alpha^{\phi}_{в.к.к.}$  – фактичний вміст корисного компонента в рудопотоці;

$\alpha^n_{рзф}$  – плановий вміст корисного компонента на збагачувальній фабриці [10, 11].

З урахуванням перерахованих вище коефіцієнтів було розроблено комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоком  $F_I$ .

Відомо, що для оцінки ефективності управління рудопотоку раніше застосовувався комплексний критерій  $F$ , який безпосередньо залежав від величини втрат руди внаслідок коливань якості, тобто від того, наскільки великою є різниця між розрахунковим і фактичним показниками виходу концентрату [41].

$$F = (C_1 + C_2 + C_3) \times Q_n + (\gamma_p - \gamma_{\phi}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min, \quad (6.14)$$

де  $C_1, C_2, C_3$  – собівартості при видобутку, транспортуванні та дробленні 1 т руди, грн/т;

$Q_n$  – втрати руди внаслідок коливань якості, т;

$\gamma_p, \gamma_\phi$  – розрахунковий і фактичний показники виходу концентрату на збагачувальній фабриці;

$Q_p$  – фактичний обсяг руди, що надходить на збагачення;

$C_4$  – собівартість збагачення, грн/т.

Відомо також, що якісні показники рудопотоку кар'єра впливають на процес збагачення, загальні показники витрат якого описує права частина виразу (6.14) і яка може бути використана окремо

$$(\gamma_p - \gamma_\phi) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min. \quad (6.15)$$

Величина виходу концентрату  $\gamma$  – прямо пропорційна вмісту корисного компонента у вхідній руді збагачувальної фабрики, це відомо з балансної формули

$$\gamma = \varepsilon \frac{\alpha}{\beta}, \quad (6.16)$$

де  $\varepsilon$  – витяг, частки од.,

$\alpha$  – в.к.к. в руді;

$\beta$  – в.к.к. в концентраті.

З формули (6.16), якщо прийняти за умовно-постійні величини витяг  $\varepsilon$  і значення вмісту корисного компонента в концентраті  $\beta$ , і позначити відповідно  $\alpha_{\text{факт.}}$  – фактичний вміст корисного компонента в рудо потоці та  $\alpha_{\text{план.}}$  – плановий вміст корисного компонента в рудопотоці на збагачувальній фабриці, то тоді вираз (6.15) набуде вигляду

$$(\varepsilon \frac{\alpha_{\text{факт.}}}{\beta} - \varepsilon \frac{\alpha_{\text{план.}}}{\beta}) \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (6.17)$$

або

$$(\alpha_{\text{факт.}} - \alpha_{\text{план.}}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \rightarrow \min \quad (6.18)$$

При цьому очевидно, що чим меншою буде різниця між фактичним показником вмісту корисного компонента фінальної рудопотоку і запланованим значенням у вхідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення.

Розглянемо праву частину виразу (6.18) та введемо позначення комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру, виходячи з вимог збагачувального процесу –  $F_1$

$$F_1 = (\gamma_p - \gamma_{\text{факт.}}) \times Q_p \times C_4 \quad (6.19)$$

Виходячи з виразів (6.18) та (6.19), випливає

$$F_1 = (\alpha_{\text{факт.}} - \alpha_{\text{план.}}) \frac{\varepsilon}{\beta} \times Q_p \times C_4 \quad (6.20)$$

З урахуванням (6.10), вираз (6.20) набуде вигляду

$$F_1 = \alpha_{\text{план.}} \frac{\varepsilon}{\beta} (1 - k_{op}) \times Q_p \times C_4, \quad (6.21)$$

або

$$F_1 = |1 - k_{op}| \times \gamma_p \times Q_p \times C_4. \quad (6.22)$$

Комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру  $F_1$  дозволив зв'язати воедино показники якісних характеристик



сформованого фінального рудопотоку, фактичного обсягу руди, що спрямовується на збагачення, виходу концентрату та собівартості збагачення. Цей критерій в подальшому може використовуватися для комплексної оцінки результатів технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК.

При цьому з виразів (6.21) та (6.22) очевидно, що, чим меншою буде різниця між фактичним показником вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці та і запланованим значенням у вхідній руді збагачувальної фабрики, тим ближчим до мінімального значення буде показник витрат на збагачення.

Відомо, що прибуток ГЗК визначається за формулою

$$\Pi = \sum (Q \times C \times \gamma) - \sum (Z_o + Z_n) \quad (6.23)$$

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

$C$  – відпускна ціна за 1 т концентрату, ця величина є непостійною в часі;

$\gamma$  – вихід концентрату;

$Q \gamma = Q_{\text{конц.}}$  – обсяг концентрату за обліковий період;

$Z_o$  – загальні витрати на видобуток корисних копалин;

$Z_n$  – витрати на переробку (збагачення) корисних копалин.

З виразу (6.23) видно, що при зниженні загальних витрат на збагачення можна домогтися зростання показника прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

Ефективність збагачення згідно формули (6.24) представлена як відношення різниці кінцевих значень збагачувального процесу (вмістів в концентраті та в хвостах, помножених на вихід концентрату) до вмісту вихідної руди.

$$E = \frac{\gamma(\beta_{\text{конц.}} - \beta_{\text{хв.}})}{\alpha(100 - \alpha)} \times 100\% . \quad (6.24)$$

Відомо, що вхідна руда збагачення – це фактично фінальний рудопотік гірничо-збагачувального комбінату, що формується з рудопотоків кар'єрів, усереднювальних складів та інших, як власних, так і зовнішніх джерел сировини. Фінальний рудопотік, як і будь-який інший потік руди, має амплітудні коливання сировинної якості, які безпосередньо впливають на показники збагачення. Тому було досліджено взаємозв'язок між показником ефективності збагачення та величиною середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці залізорудного ГЗК.

Математичну модель спочатку було представлено в табличному вигляді (табл. 6.3), який відображає прогностні значення показника ефективності збагачення за різних значень середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента фінального рудопотоку при в.к.к. 27 %, 25 %, 23 % та 21 % ( $Fe_{\text{магн.}}$ ).

Таблиця 6.3

Прогностні значення показника ефективності збагачення в залежності від величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці ГЗК за різних значень якості ( $Fe_{\text{магн.}}$ ).

| СКВ, %                      | 0,1  | 0,2  | 0,4  | 0,6  | 0,8  | 1    | 1,2  | 1,4  | 1,6  | 1,8  |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $\alpha_{\text{ср. 27 \%}}$ | 85   | 84,4 | 84,3 | 82,6 | 80,6 | 77,2 | 72,4 | 66,7 | 58,3 | 49,8 |
| $\alpha_{\text{ср. 25 \%}}$ | 83   | 82,6 | 81,1 | 78,3 | 75   | 70   | 64,3 | 58   | 49,4 | 40,2 |
| $\alpha_{\text{ср. 23 \%}}$ | 80,7 | 80   | 78   | 74,6 | 70   | 64,6 | 57,6 | 49,1 | 40,6 | 30,7 |
| $\alpha_{\text{ср. 21 \%}}$ | 78,1 | 76,9 | 74,3 | 70   | 65,2 | 57,8 | 48,7 | 39,4 | 30   | 19,6 |

Графіки залежності ефективності збагачення від величини СКВ в.к.к. фінального рудопотоку ГЗК наведено на рис. 6.9.

Відомо, що середньоквадратичне відхилення відповідно до правила «три сигма» по суті характеризує величину максимальної амплітуди коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці, що обумовлено коефіцієнтом «minimax»

Аналіз залежностей дозволяє зробити висновок, що, чим більшим є значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в

сформованому фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижче показник ефективності збагачення. При цьому амплітуда коливань в 1 % викликає незначне зниження ефективності, в межах 3–5 %; амплітуда коливань у 2 % знижує ефективність від 5 до 10 %, а амплітуда коливань 3 % знижує ефективність збагачення вже на 15–25 %.

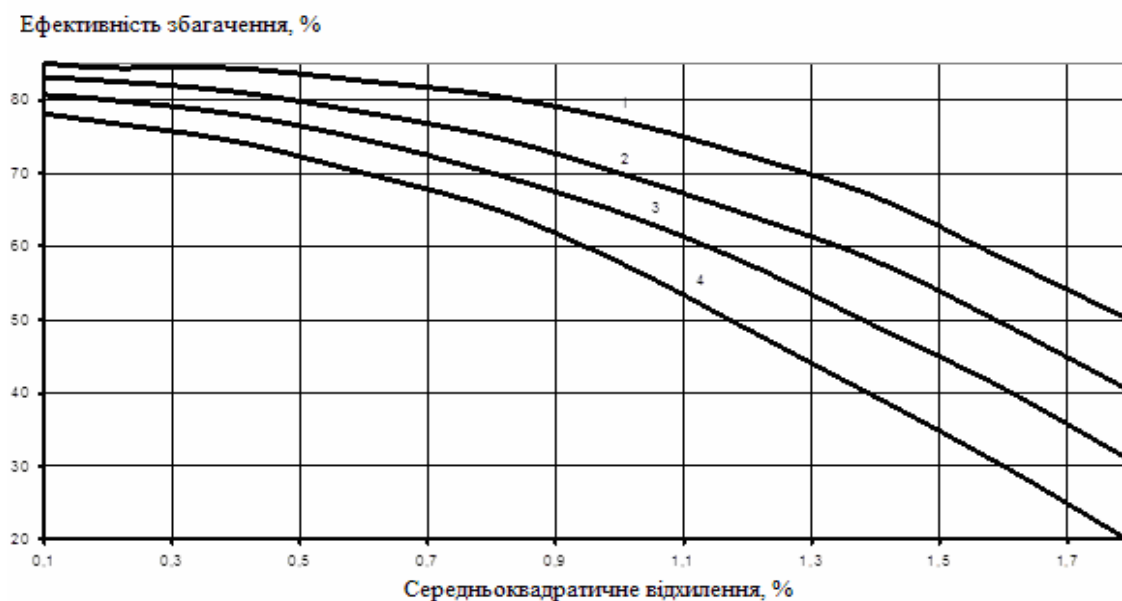


Рис. 6.9. Залежність ефективності збагачення від значення середньоквадратичного відхилення в.к.к. фінального рудопотоку

1. При  $\alpha_{ср.}$  27 % рівняння кривої:  $y = -3,0949x^3 - 6,2439x^2 + 1,7777x + 84,651$
2. При  $\alpha_{ср.}$  25 % рівняння кривої:  $y = -1,0301x^3 - 10,676x^2 - 1,3848x + 83,3$
3. При  $\alpha_{ср.}$  23 % рівняння кривої:  $y = 1,229x^3 - 17,678x^2 - 0,0128x + 80,782$
4. При  $\alpha_{ср.}$  21 % рівняння кривої:  $y = 4,4222x^3 - 27,329x^2 + 2,5103x + 77,734$

При величині СКВ 1,8 %, що відповідає амплітуді коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці в 5,4 %, спостерігається падіння ефективності збагачення від 35 % при середньому значенні якості 27 % до 55 % при середньому значенні якості 21 %.

Таким чином, зі збільшенням амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку при менш якійсній руді відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення.

## Висновки до розділу 6

1. Управління якістю рудопотоків забезпечується технологією на основі синергії двох систем: системи контролю та системи управління якістю. Система контролю якості забезпечує достовірну та оперативну інформацію про вміст корисного компонента в забоях і в рудопотоці, а система управління якістю дозволяє сформувати рудопотік із заданими значеннями вмісту корисного компонента.

2. Технологія управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків виконує функцію впливу на виймально-навантажувальне і транспортне обладнання з урахуванням неоднорідності сировинної якості руди на окремих ділянках родовища, неодночасного початку роботи забоїв, планових та позапланових простоїв техніки, зміни відстаней транспортування до ЦПТ, зміни вмісту корисного компонента в забоях, а також дозволяє відстежувати справжні показники якості в рудопотоці та співставляти їх з розрахунковими значеннями. При відхиленні показників вмісту корисного компонента в потоці за межі заданого діапазону проводиться змінний коригувальний перерахунок розподілу навантаження на забої.

3. Функціонування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків ГЗК побудовано на принципі застосування усереднення в якості способу зміни речовинних характеристик мінеральної сировини на підставі достовірної та своєчасної інформації про рівень вмісту заліза в руді в забоях і в сформованому потоці.

4. Функціонування технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків ГЗК враховує працездатність забоїв, фактичні показники якості – вмісту корисного компонента, кількість автосамоскидів, що забезпечують

формування рудопотока за схемою доставки на ЦПТ дискретних обсягів руди і змішування її в потік, а також показники якості в фінальному рудопотоці.

5. Блок-схема алгоритму технології управління якістю залізовмісної сировини рудопотоків ГЗК заснована на принципі переваги виконання плану за якістю над планом за обсягом.

6. Розв'язання технологічних завдань з формування інтегрованих рудопотоків із заданими якісними показниками дозволяє в подальшому створити єдину систему управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК

7. Технологія управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах ГЗК комплексу інтегрованих рудопотоків дозволяє використовувати, як власні, так і зовнішні джерела рудної сировини і техногенні родовища для формування фінального рудопотоку, який забезпечує сировиною збагачувальне виробництво, об'єднуючи всі засоби контролю, управління і мікшування комбінату в єдину комп'ютеризовану систему.

8. Розроблено комплексний критерій оцінки ефективності управління фінальним рудопотоком  $F_1$ , який дозволив зв'язати воедино показники якісних характеристик сформованого рудопотоку, фактичного обсягу руди, що спрямовується на збагачення, виходу концентрату і собівартості збагачення.

9. Встановлено, що, чим більшим є значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижче показник ефективності збагачення. Зі збільшенням амплітуди коливань вмісту корисного компонента в рудопотоці відбувається більш активне падіння показника ефективності збагачення при менш якісній руді.

## **РОЗДІЛ 7**

### **АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ Й ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ ГЕНЕРАЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ РУДОПОТОКІВ В УМОВАХ ГЗК УКРАЇНИ**

7.1. Обґрунтування умов застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Необхідність застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК в умовах діючого гірничорудного виробництва є очевидною. Але, як і будь-яка інновація, вона має потребу в обґрунтуванні можливості та доцільності використання з точки зору існуючої технології і з урахуванням прийнятих економічних критеріїв оцінки проекту.

Техніко-економічне обґрунтування застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК буде виконуватися з використанням раніше розробленої математичної моделі динамічної стабілізації рудопотоків.

Обґрунтування умов застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків для кожного гірничого підприємства буде здійснюватися на підставі розробленого алгоритму, із застосуванням надалі комп'ютерної програми.

Алгоритм обґрунтування застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК базується на твердженні: прибуток гірничо-збагачувального комбінату збільшується при стабілізації амплітудних коливань вмісту корисного компонента в заданому граничному діапазоні [39].

Відомо, що початковий етап формування рудопотоку зводиться до вирішення шихтувального завдання, тобто до розподілу по забоях кар'єру обсягів рудної маси, виходячи з кількості забоїв, показників вмісту корисного компонента й обсягів підготовленої до екскавації руди в кожному забої. При цьому, як правило, враховується середній вміст корисного компонента у підірваній рудній масі, без урахування динаміки його зміни по мірі відпрацювання видобувних блоків.

Алгоритм обґрунтування на першому етапі полягає в комплексній оцінці можливості формування рудопотоку з урахуванням динаміки зміни вмісту корисного компонента у видобувних забоях.

Безпосередній вплив на формування рудопотоку здійснює технологічна схема видобутку та транспортування, види і типорозміри виймально-навантажувального та транспортного обладнання, час циклу екскаватора і час рейсу автосамоскиду. Тому при розробці алгоритму обґрунтування застосування генералізованої технології управління якістю рудопотоків ураховуються всі основні технологічні параметри кар'єру.

Показники граничних фактичних значень вмісту корисного компонента, виражені через мінімаксний коефіцієнт «minimax», дозволяють оцінити сформований рудопотік за прийнятими критеріями. При цьому величина мінімаксного коефіцієнта «minimax», яка дорівнює 3 %, відповідає величині середньоквадратичного відхилення, що дорівнює одиниці [39].

У формуванні рудопотоку кар'єру велику роль відіграє період зняття інформації про вміст корисного компонента в забоях, що дозволяє реагувати на його зміну і, за необхідності, проводити перерахунок навантажень на забої. Методики визначення періоду опробування за критерієм втрати інформації дозволяють з урахуванням загальної динаміки зміни якісних характеристик у видобувних забоях кар'єру встановити інтервал, за якого достовірність даних про вміст корисного компонента буде достатньо високою.

При застосуванні технології управління якістю залізвмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК амплітуда коливань якості

(величина коливань вмісту корисного компонента в кожен момент часу) знижується до меж встановленого діапазону. Це забезпечується дотриманням технологічного критерію – комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком  $F_1$ . Цей критерій є основним при оцінці доцільності застосування розробленої технології управління якістю рудопотоків.

Імітаційна модель формування рудопотоку кар'єра, заснована на критерії  $F_1$ , дозволить оцінити технологічну відповідність фактичних показників розрахунковим значенням вмісту корисного компонента, і дати економічну оцінку процесу, виходячи з обсягу капітальних витрат та собівартості збагачення.

Дуже важливим також буде використання інформації про збагачуваність різних типів руд, що розробляються даним ГЗК. Формування рудопотоку має відбуватися не тільки з урахуванням вмісту корисного компонента, а й показників збагачуваності руд. Показник збагачуваності безпосередньо впливає на  $\gamma_p$  та  $\gamma_\phi$  – розрахунковий і фактичний вихід концентрату, і, безумовно, позначиться на собівартості збагачення  $C_4$  [146].

7.2. Розробка алгоритму технологічної та економічної оцінки застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Відповідність показників якості рудопотоку заданому діапазону коливань дозволить збагачувальній фабриці працювати в оптимальному режимі, що позначиться на якості концентрату, величині втрат у хвостах, а також забезпечить оптимальну собівартість. Відомо, що собівартість збагачення в сучасному гірничо-збагачувальному виробництві становить 57–61 % від загальної собівартості комбінату, тому вирішальний вплив даного показника на прибуток всього підприємства є очевидним. При цьому від якості концентрату залежить показник загального доходу комбінату і, таким чином, прибутку підприємства.

Основне завдання технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК визначене як формування



рудопотоку із заданими показниками вмісту корисного компонента, що не виходять за межі заданого збагачувальним виробництвом діапазону.

Для оцінки можливості застосування технології управління якістю залізозмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків розроблено алгоритми, які дозволять виконати обґрунтування застосування даної системи в умовах конкретного підприємства. При цьому враховуються, як технологічні, так і економічні критерії.

Технологічним критерієм є формування рудопотоку з амплітудою коливань вмісту корисного компонента, що не виходить за заданий діапазон. При цьому для оцінки відповідності фактичних показників рудопотоку розрахунковим значенням буде використано комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру, виходячи з вимог збагачувального процесу  $F_1$ . Прогнозний показник прибутку ГЗК, заснований на раніше отриманих залежностях від СКВ в.к.к. фінального рудо потоку, у зведеному вигляді зображено на рис. 7.1.

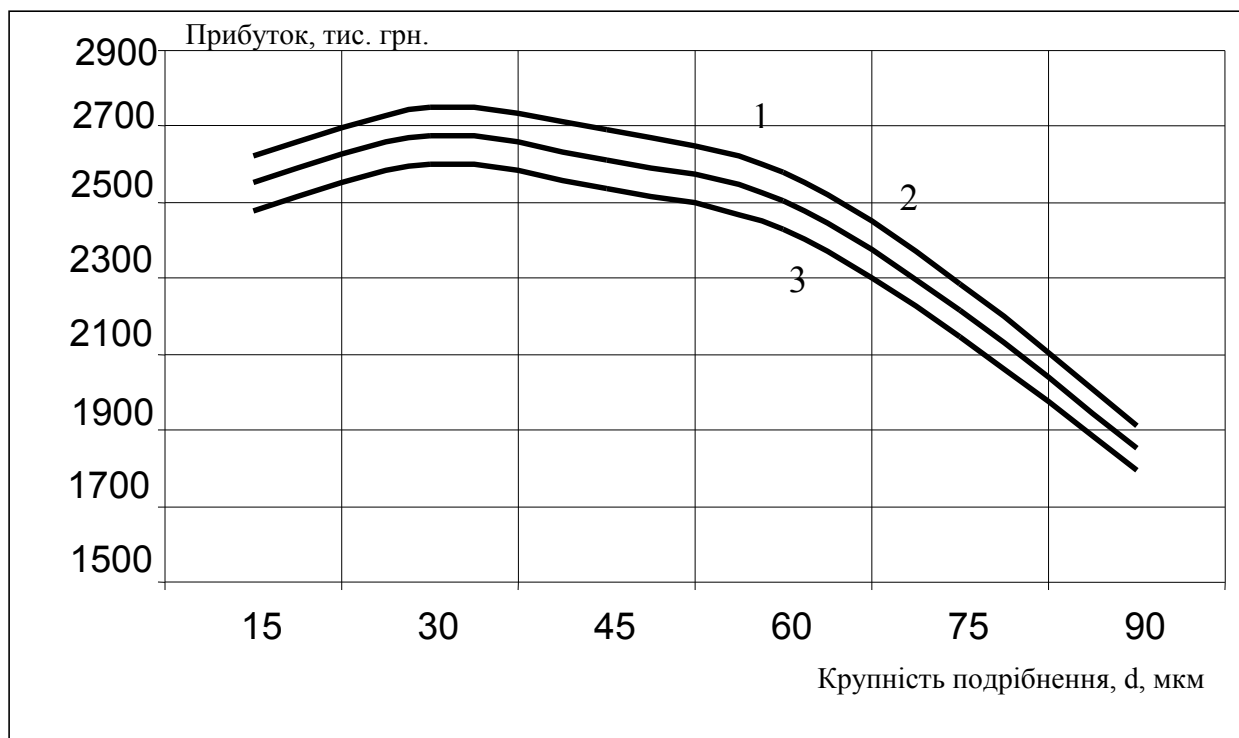


Рис. 7.1. Залежність значень прогнозного прибутку від СКВ вмісту корисного компонента фінального рудопотоку ГЗК

1. При СКВ=1 рівняння кривої  $y = -0,7292x^4 + 11,829x^3 - 123,53x^2 + 407,19x + 2186,20$ ;

$$2. \text{ При СКВ}=2 - y = -0,7083x^4 + 11,509x^3 - 123,76x^2 + 414,30x + 2251,70;$$

$$3. \text{ При СКВ}=3 - y = -0,6042x^4 + 10,171x^3 - 114,38x^2 + 384,84x + 2128,80.$$

Відомо, що в умовах збагачувального виробництва необхідним є досягнення подрібнення 75 мкм, тому ця крупність розглядається при визначенні прогнозного показника прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

Збільшення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в сформованому рудопотоці на одиницю згідно правила «3σ» відповідає показнику мінімаксного коефіцієнта «minimax» – 3 % вмісту корисного компонента, тобто амплітуда коливань вмісту корисного компонента збільшується на 3 %.

Таким чином, математична модель залежності прогнозного прибутку від величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента в фінальному інтегрованому рудопотоці дозволяє стверджувати, що збільшення амплітуди коливань вмісту корисного компонента на 3 % зумовлює зниження прогнозного прибутку гірничо-збагачувального комбінату на 10—12% у рік. Дане твердження буде використано в алгоритмі економічної оцінки можливості застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК.

Економічними критеріями при цьому є показники економічної ефективності та терміну окупності проекту з урахуванням усіх капітальних витрат. При цьому враховуються всі витрати на створення технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК на основі аналізу структури гірничо-транспортної диспетчеризації, наявності елементів контролю якості, центрального сервера та системи передачі даних.

Алгоритми технологічної та економічної оцінки можливості застосування запропонованої технології в подальшому можуть бути використані як основа для розробки комп'ютерної програми, яка дозволяє провести розрахунки щодо обґрунтування застосування даної технології.

Результати, отримані відповідно до наведених алгоритмів, дозволять обґрунтовано стверджувати про доцільність застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК у цілому на даному підприємстві з урахуванням прийнятих технологічних та економічних критеріїв.

Методика оцінки можливості застосування запропонованої технології складається з двох основних етапів: технологічної оцінки й економічного обґрунтування.

Технологічна оцінка проводиться відповідно до наведеного на рис. 6.2 алгоритму.

Для технологічної оцінки треба попередньо виконати наступні підготовчі етапи:

1. Дослідження фактичного вмісту корисного компонента в рудопотоці та амплітуди його коливань шляхом відбору проб за встановленою методикою. Статистична база якості фінального рудопотоку формується та виражається в табличному і графічному вигляді. Період досліджень – не менше одного календарного місяця.

2. Порівняння амплітуди коливань вмісту корисного компонента в фінальному рудопотоці з заданими РЗФ граничними значеннями вхідної руди збагачувального виробництва. Вихід амплітуди коливань вмісту корисного компонента за межі граничних значень, заданих збагачувальним комплексом (мінімаксний коефіцієнт «minimax»), свідчить про те, що сформований фінальний рудопотік не відповідає вимогам, тому слід перейти до обґрунтування застосування генералізованої технології управління якістю рудопотоків згідно наведеного алгоритму (рис. 7.2).

При цьому враховується також тривалість відрізка часу, за який відбувся вихід значення вмісту корисного компонента за межі заданого діапазону: він повинен бути меншим, ніж середня тривалість рейсу автосамоскиду за маршрутом «забій – приймальний отвір дробарки ЦПТ».

Вихідними даними для технологічного обґрунтування є:

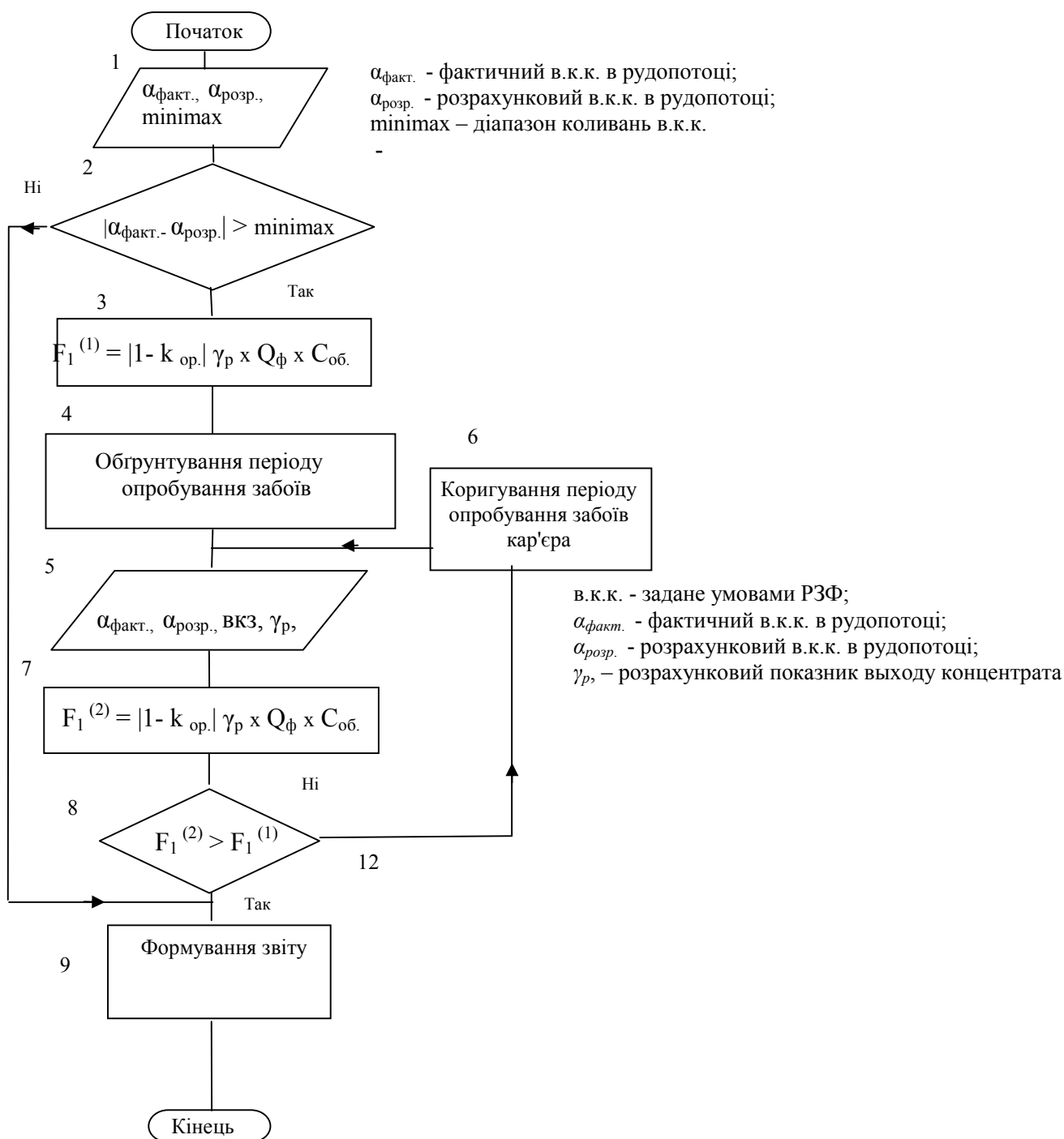


Рис. 7.2. Алгоритм технологічного обґрунтування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК

- 2.1. Кількість працюючих видобувних забоїв кар'єру;
- 2.2. Вміст корисного компоненту в забоях, динаміка його зміни та показники збагачуваності різних типів руд;
- 2.3. Технологічна схема транспортування корисних копалин та формування рудопотоку;

2.4. Наявність усереднювальних складів та додаткових джерел сировини;

2.5. Фактичні граничні показники вмісту корисного компонента в рудопотоці;

3. Розрахунок повинен бути виконаним за такими основними показниками:

3.1. Показник комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру, виходячи з вимог збагачувального виробництва –  $F_{1(1)}$  щодо застосування технології управління якістю рудопотоків ГЗК.

3.2. Визначення періоду опробування забоїв, виходячи з критеріїв мінімальної втрати інформації та отримання максимального прибутку гірничо-збагачувального комбінату.

3.3. Аналіз відповідності сформованого рудопотоку заданим діапазонним значенням вмісту корисного компонента на основі комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру після застосування генералізованої технології управління якістю рудопотоків –  $F_{1(2)}$ .

3.4. Порівняння отриманих значень  $F_{1(2)}$  та  $F_{1(1)}$ .

Якщо  $F_{1(2)}$  – менше  $F_{1(1)}$ , то рудопотік, сформований за вимогами збагачувального виробництва, має амплітуду коливань якості в межах заданого діапазону. Якщо  $F_{1(2)}$  – більше  $F_{1(1)}$ , то потрібно коригувати періоду опробування для отримання більш достовірної інформації про вміст корисного компонента в забоях, або внесення змін в технологічну схему формування фінального рудопотоку.

Для застосування алгоритму економічної оцінки можливості використання генералізованої технології управління якістю рудопотоків необхідно визначити сумарну величину капітальних витрат на створення елементів та складових цієї технології.

Для цього необхідно пройти наступні етапи (рис. 7.3):

1. Визначити наявність на підприємстві діючої системи гірничо-транспортної диспетчеризації (ГТД) (так, ні).

2. Підтвердити наявність приладів та систем контролю (КСК) вмісту корисного компонента в забоях, рудопотоці та на всіх основних етапах

виробництва та в технологічних процесах, які забезпечують необхідний рівень точності вимірювань.

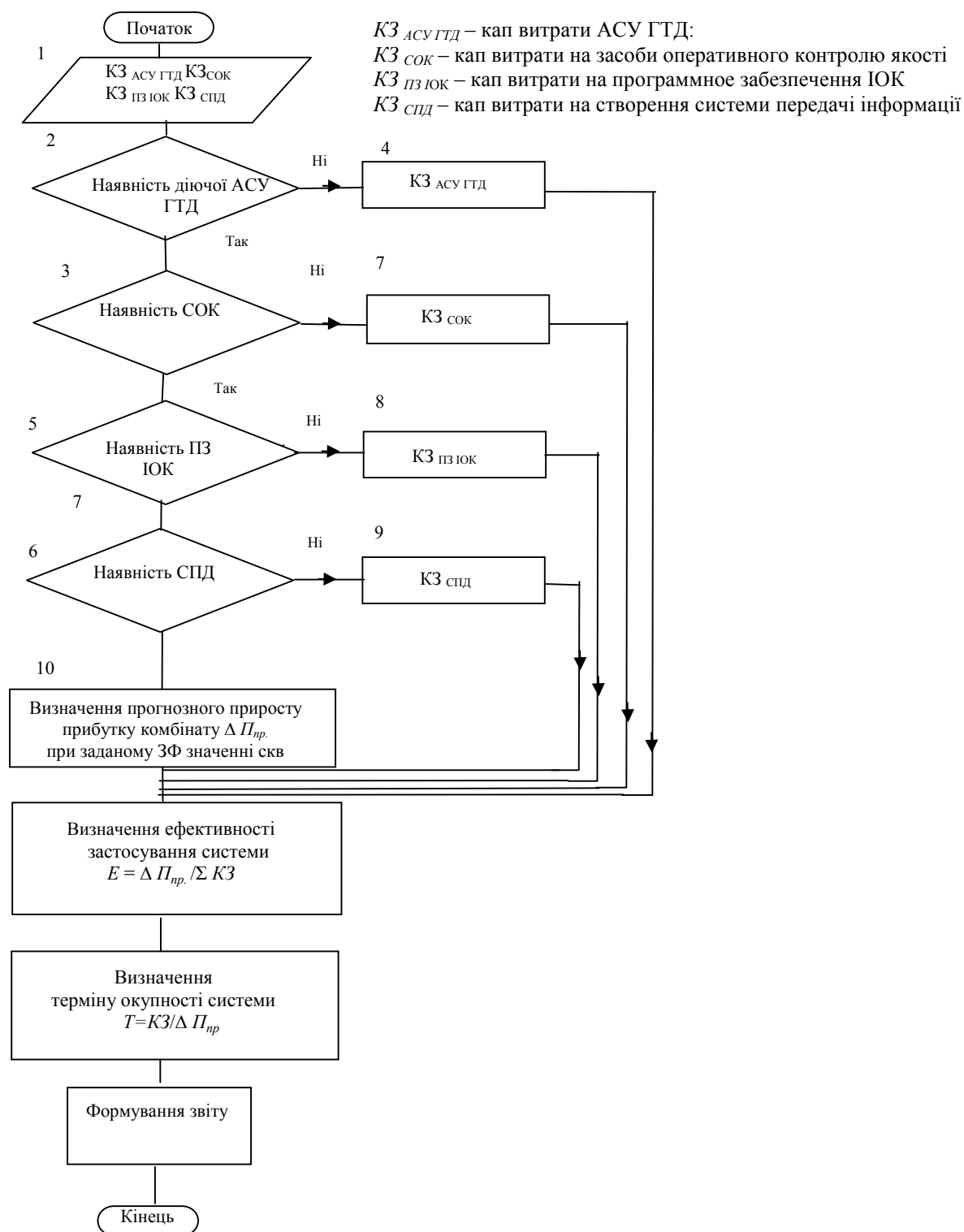


Рис. 7.3. Алгоритм економічного обґрунтування застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК

3. Визначити наявність або відсутність системи передачі даних (СПД) про вміст корисного компоненту в забоях та фінальному рудопотоці.

4. Підтвердити наявність або відсутність програмного забезпечення на центральному сервері системи (ПЗ ІОК) для обробки даних про вміст корисного компоненту на основних етапах та в технологічних процесах гірничого виробництва, а також для перерахунку при необхідності змінного завдання видобувних забоїв.

5. Виконати розрахунок капітальних витрат на створення системи гірничо-транспортної диспетчеризації (ГТД).

6. Виконати розрахунок капітальних витрат на впровадження на підприємстві засобів та систем контролю вмісту корисного компоненту в забоях та в сформованому рудопотоці.

7. Виконати розрахунок капітальних витрат на впровадження на підприємстві засобів та систем контролю вмісту корисного компоненту на всіх етапах виробництва ГЗК.

8. Виконати розрахунок капітальних витрат на впровадження програмного забезпечення на центральному сервері системи для обробки даних про вміст корисного компоненту на всіх етапах виробництва ГЗК, а також для перерахунку за необхідності змінного завдання видобувних забоїв.

9. Провести розрахунок показника прогнозного прибутку на основі існуючої імітаційної моделі з урахуванням заданого значення середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компоненту в сформованому рудопотоці при крупності подрібнення на РЗФ 75 мкм.

10. Виконати розрахунок економічного ефекту та терміну окупності, виходячи із значення прогнозного прибутку та показника сумарних капітальних витрат на створення генералізованої технології управління якістю рудопотоків ГЗК.

За підсумками розрахунків, виконаних на основі алгоритмів технологічної та економічної оцінки, а також виходячи з поточної ситуації в галузі та економіці країни в цілому, фахівці гірничо-збагачувального комбінату зможуть прийняти

рішення про доцільність застосування генералізованої технології управління сировинною якістю рудопотоків.

Дане рішення буде носити експертний характер, тому воно має прийматися фахівцями відповідного профілю та представниками власника підприємства, оскільки не має чітко виражених нормативно-правових показників [146].

### 7.3. Екологічна оцінка використання технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Екологічна оцінка – це процедура оцінювання інноваційного проекту, спрямована на виявлення екологічних ризиків при його реалізації. При екологічній оцінці проекту існує три основних оцінки впливів на навколишнє середовище: стійкість – результатом процесу оцінки буде забезпечення екологічної безпеки; цілісність – процес екологічної оцінки буде відповідати узгодженим стандартам; корисність – надання збалансованої, надійної інформації для прийняття рішень.

Результатом екологічної оцінки проекту буде точна і відповідна інформація щодо характеру, ймовірної величини та значущості потенційного впливу, ризиків і наслідків запланованої діяльності й альтернатив її здійснення; заява про вплив або доповідь, яка представляє цю інформацію в ясній, зрозумілій і доречній формі для прийняття рішення, включаючи відомості про зроблені припущення і межі достовірності в прогнозах впливу; вирішення проблем і конфліктів, що можуть бути в рамках процесу [147].

При реалізації проекту технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату з'являються додаткові екологічні ризики, пов'язані із застосуванням засобів оперативного контролю вмісту корисного компонента, окремі з яких споряджені джерелами іонізуючого випромінювання. Оцінювання екологічної безпеки в



контексті застосування таких засобів контролю не виходить за рамки оцінювання екологічної безпеки кожного такого засобу. Таким чином, величина ймовірного екологічного ризику може бути представленою як інтегральна величина множини ризиків, кожен з яких відповідає конкретному засобу контролю. При цьому екологічна безпека застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату знаходиться в суворих межах законодавчих рамок радіаційної безпеки.

Слід зазначити, що застосування даної технології не змінює загальноприйнятих технологій ведення відкритих гірничих робіт, не вимагає використання токсичних речовин, не збільшує викиди шкідливих речовин і не змінює порядок землекористування та витрачання водних ресурсів. Таким чином, проект генералізованої технології управління сировинною якістю рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів відповідає основним критеріям щодо екологічної оцінки.

Також при застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату можливим стає зниження обсягу рудної маси, що напрвляється на РЗФ за рахунок відсікання некондиційної сировини, що безумовно позначиться, як на обсязі шкідливих викидів при збагаченні, так і на загальному обсязі хвостів, що складаються у хвостосховищах на поверхні.

7.4. Забезпечення радіаційної безпеки при застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів

Забезпечення радіаційної безпеки технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК буде здійснюватися на основі наступних нормативно-правових документів:

1. Закон України «Про забезпечення санітарного та епідемічного добробуту населення» (2004-14);

2. Закон України «Про захист людини від впливу іонізуючого випромінювання» (15/98-ВР);

3. Норми радіаційної безпеки (НРБУ-97), затверджені МОЗ України від 14.07.1997 р. №208 та введені в дію з 01.10.1998 р.;

4. Основні санітарні правила забезпечення радіаційної безпеки України, затверджені наказом МОЗ України №54 від 10.05.2005 р.;

5. Правила ядерної та радіаційної безпеки при перевезенні радіоактивних матеріалів ПБ ПМ;

6. Санітарні правила налаштування та експлуатації радіоізотопних приладів №1946-78;

7. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів та правила техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів;

8. Методичний посібник щодо опробування залізних руд Кривбасу гамма-гамма методом;

8. Методи налаштування, градуювання та вказівки з вибору джерел іонізуючого випромінювання для геофізичних приладів типу ПАКС;

10. Інструкція з радіаційної безпеки ТОВ «Рудпромгеофізика»;

11. Вказівки з радіаційної безпеки при роботі з приладами ПАКС-4, ПАКС-5, ПАКС-5М, ПАКС-5-01, НАКС-ПК, ПАП-1;

12. Методичні вказівки з геофізичного випробування залізних руд на залізо загальне гамма-гамма методом за допомогою рудничних радіометрів типу ПАКС, Міністерство промисловості України, Концерн «Укррудпром», Кривий Ріг, 1997 р.;

13. Аварійний план підприємства, на якому впроваджується генералізованої технологія управління якістю рудопотоків.

В усіх геофізичних пристроях, що застосовуються як складові компоненти технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату, використовуються джерела закритого типу гамма-випромінювання «Америцій-241» (капсули) з енергією гамма-квантів в діапазоні від 20 до 60 кеВ та розмірами не більше 6×10 мм.

В процесі проведення робіт з вимірювання вмістів корисного компоненту необхідно дотримуватися загальних правил безпечної роботи з джерелами іонізуючого випромінювання, а саме:

- не перебувати без потреби поблизу блоку з джерелом випромінювання;
- не направляти пучок випромінювання в бік людей;
- розташовувати блок з ДІВ на робочому місці таким чином, щоб при роботі виключити ймовірність потрапляння під пучок випромінювання.
- при коротких перервах в роботі пучок випромінювання перекривати екранами, що входять в комплект рудничного радіометра;
- не витягувати без потреби ДІВ з рудничних радіометрів.

Вилучення радіоактивних джерел з пристроїв проводиться виключно в умовах сховища радіоактивних речовин, тільки особами з допуском категорії *A*.

Розрахунок доз *D*-опромінення обслуговуючого персоналу при роботі з рудниковими радіометрами та потужностей доз *P* проводиться за формулами

$$D = \frac{QK_y t}{R^2 10^4 K} \text{ (рентген)} \quad (7.1);$$

$$P = \frac{QK_y}{R^2 10^4} \text{ (рентген/год)} \quad (7.2);$$

де *Q* – активність джерела, мКи;

*K<sub>γ</sub>* – гамма-постійна ізотопу, *P*-см<sup>2</sup>/Г-мКи;

*t* – час опромінення, с;

*R* – відстань від джерела, м;

*K* – кратність ослаблення потоку випромінювання екраном (захистом).

Граничні денні рівні (*ГДР-А*) опромінення працюючих категорії *A* розраховуються зі значень гранично допустимої дози (*ГДД*), що дорівнює 2 бер на годину та 283 робочих днів.

Граничні денні рівні опромінення категорії Б (*ГДР-Б*) розраховуються з ліміту дози (*ГДД*) за рік для обмеженої частини населення, рівного 0,2 бер на годину та 283 робочих днів. Значення *ГДР-А* становлять 11 мбер/день, *ГДР-Б* – 1,1 мбер/день для тіла та 55 мбер/день і 5,5 мбер/день для рук, відповідно.

Еталонування (градування), технічне обслуговування блоків детектування, зондів та їх налаштування мають право робити тільки особи категорії А.

У разі виникнення аварійної ситуації персонал, який виконує роботи з контролю вмісту корисного компоненту, повинен діяти відповідно до плану ліквідації аварії підприємства.

## Висновки до розділу 7

1. Обґрунтування застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату ґрунтується на твердженні: збільшення прибутку ГЗК комбінату є можливим за рахунок стабілізації показників вмісту корисного компонента вхідної руди збагачення в заданому граничному діапазоні, яке, в свою чергу, базується на математичній моделі залежності величини прогнозного прибутку від амплітуди коливань якості фінального рудопотоку.

2. При застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату показники якості коливань знижуються до меж встановленого збагачувальним виробництвом діапазону. Це забезпечує дотримання технологічного критерію – коефіцієнта ефективності організації рудопотоку  $k_{op}$  і комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоком кар'єру  $F_1$ .

3. Імітаційна модель формування рудопотоку, яка заснована на критерії  $F_1$ , та використовується в алгоритмі обґрунтування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату, дозволить оцінити технологічну відповідність фактичних показників до розрахункових значень вмісту корисного компоненту

фінального рудопотоку ГЗК і дати економічну оцінку процесу, виходячи з витрат на збагачення.

4. Формування рудопотоку має відбуватися не тільки з урахуванням заданого діапазону вмісту корисного компонента, а й показників збагачуваності за типами руд для даного родовища. Показник збагачуваності безпосередньо впливає на  $\gamma_p$  та  $\gamma_f$  – розрахунковий і фактичний вихід концентрату та позначиться на показниках собівартості збагачення  $C_4$ .

5. Методика обґрунтування доцільності застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату складається з двох основних етапів: технологічної оцінки й економічного обґрунтування.

6. За підсумками розрахунків, виконаних на основі алгоритмів технологічної оцінки та економічного обґрунтування, виходячи з поточної ситуації в гірничовидобувній галузі та в економіці країни в цілому, спеціалісти гірничо-збагачувального комбінату зможуть прийняти рішення про доцільність застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК.

7. Екологічна безпека застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату знаходиться в суворо обмежених законодавчих рамках радіаційної безпеки.

8. Проект запропонованої технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату відповідає основним критеріям екологічної оцінки безпеки.

9. При застосуванні технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату стає можливим зниження обсягу рудної маси, що спрямовується на збагачення за рахунок відсікання некондиційної сировини, що вплине, як на обсяг шкідливих викидів при збагаченні, так і на загальний обсяг хвостів, що складуються у хвостосховищах.

## ВИСНОВКИ

1. Виконано аналіз існуючих методів формування рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів, результати якого свідчать про те, що недостатня достовірність даних про в.к.к. в забоях і в рудопотоці значно знижує ефективність систем гірничо-транспортної диспетчеризації, а відсутність каналів надійного зв'язку для оперативної передачі даних на центральний сервер мінімізує технологічну цінність останніх.

2. Встановлено відсутність належного теоретичного вирішення ситуації, коли на єдину рудозбагачувальну фабрику надходять рудопотоки з декількох кар'єрів, техногенних родовищ та інших джерел.

3. Установлено залежності точності контролю й ефективності управління якістю рудопотоків від властивостей гірничої маси та технологічних факторів в умовах відкритих гірничих робіт.

4. Виконано обґрунтування необхідності застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату, яка суттєво сприятиме вирішенню проблем надрокористування і заощадження сировинної бази України, а також підвищення конкурентоспроможності гірничовидобувної промисловості, побудови раціональної еколого-економічної моделі залізорудних ГЗК і забезпечення їх режимів ресурсо- й енергозберігання.

5. Встановлено, що, внаслідок амплітудних та часових коливань сировинної якості фінальних рудопотоків, гірничо-збагачувальні комбінати Кривбасу щорічно втрачають до 990 тис. т концентрату. Фінансові втрати від цього складають 64,4 млн дол. США в цінах квітня 2016 р., або – 1,650 млрд грн.

6. Побудовано імітаційні моделі залежності прогнозних значень прибутку залізорудних ГЗК України від величини середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента фінального рудопотоку. Встановлено, що прогнозний показник прибутку ГЗК знаходиться у зворотній пропорційності щодо середньоквадратичного відхилення вмісту корисного компонента та мінімаксного

коефіцієнта «minimax» рудопотоку: чим меншими є амплітуда коливань якості та показник коефіцієнта «minimax» – тим нижчі витрати на збагачення та вищий прогнозний прибуток комбінату. Зростання середньоквадратичного відхилення на одиницю зумовлює зниження річного прогнозного прибутку комбінату на  $10\div 12\%$ .

7. Розроблено методику обґрунтування періоду вимірювання вмісту корисного компонента в забоях кар'єру, яка базується на статистичних даних, що дозволяє оптимізувати період опробування до тривалості, яка не супроводжується зниженням якісних характеристик рудопотоку, що формується.

8. Отримано залежність прогнозного прибутку ГЗК від періоду опробування забоїв кар'єра, яка дозволить мінімізувати втрати інформації про вміст корисного компонента та сформувати фінальний рудопоток із заданими граничними показниками в.к.к.

9. Виконано обґрунтування можливості застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу в умовах відкритих розробок залізорудних родовищ, яке ґрунтується на необхідності підвищення якості руди, що надходить із забоїв приконтатної зони «руда-порода», на які припадає найбільший відсоток засмічення. Доведено, що застосування такого комплексу в умовах відкритих гірничих робіт як складової частини технології управління якістю рудопотоків дозволить отримати технологічний, екологічний, енергозберігаючий та економічний ефект, підвищуючи в.к.к. в рудопотоці мінімум на  $5\%$ , знижуючи разубожування на  $12\div 18\%$  та зменшуючи на  $1,2\%$  частку некондиційної гірничої маси, що спрямовується на збагачення.

10. Розроблено принципову схему технології управління якістю залізозмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату, що базується на застосуванні усереднення як способу управління технологічними характеристиками мінеральної сировини з урахуванням достовірної та своєчасної інформації про стан якості, як в забоях, так і в сформованому потоці.

11. Розроблено алгоритм функціонування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату, який враховує стан, реальну та потенційну продуктивність забоїв; фактичні показники вмісту корисного компонента; кількість транспортних засобів, які забезпечують формування рудопотоку за схемою доставки на ЦПТ дискретних обсягів руди і змішування її в потік, а також показники якості фінального рудопотоку.

12. Обґрунтовано комплексний критерій оцінки ефективності управління рудопотоку  $F_1$ , який дозволяє зв'язати воедино показники відповідності якісних характеристик і фактичного обсягу руди фінального рудопотоку, виходу концентрату і собівартості збагачення.

13. Розроблено алгоритм обґрунтування застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувального комбінату, який ґрунтується на комплексному критерії оцінки ефективності управління рудопотоку  $F_1$  і твердженні, що збільшення прибутку ГЗК досягається за рахунок зниження собівартості збагачення внаслідок мінімізації амплітуди коливань в.к.к. фінального рудопотоку, коли його значення перебувають у межах встановленого діапазону, що забезпечує функціонування збагачувального комплексу в оптимальних режимах.

14. Встановлено, що застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків сприяє також вирішенню екологічних проблем ГЗК: за рахунок зниження обсягу рудної маси, що спрямовується на збагачення, зменшуються обсяги шкідливих викидів і відходів, які складуються в хвостосховищах.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Владимиров Д.Я. Система диспетчеризации «КАРЬЕР»: от мониторинга большегрузных автосамосвалов к управлению горно-транспортным комплексом и оптимизации горных работ в карьере / Д.Я. Владимиров, А.Ф. Клебанов, А.И. Перепелицын // Горная промышленность. – 2004. – №4. – С. 132–135.

2. Морев А.Н. Управление содержанием полезного компонента в рудопотоке в условиях изменения цен на минеральное сырье : автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук : спец. 25.00.21 «Теоретические основы проектирования горнотехнических систем» / А.Н. Морев. – Москва, 2004. – 16 с.

3. «Автоматизированные системы управления автотранспортом и процессом рудопотока» [Электронный ресурс] // Сайт «ИНТЕГРА» ООО «Интегра Групп». – 2006. – Режим доступа: <http://www.integra-gr.ru/page/avtomatizirovannye-sistemi-upravleniya.html>.

4. Пат. Российская Федерация, №2100844, [G07C5/08](#). Способ управления погрузочно-транспортными средствами на карьерах при селективной выемке руд и система автоматизированного управления качеством рудопотока на основе экскаваторно-автомобильного комплекса / А.В. Канцель, М.А. Канцель, Э.М. Богушевский, В.И. Кокушев, А.Я. Червоненкис, Ст.Л. Гуревич, А.Н. Трикин, Н.И. Кучерский, Е.А. Толстов, А.П. Мазуркевич; заявл. 29.04.96; опубл. 27.12.97.

5. Санакулов К.С. Вклад Навоийского комбината в региональное развитие и социальную стабильность / К.С. Санакулов // Горный вестник Узбекистана. – Навои. – 2008. – Вып. №2. – С. 3–9.

6. Капутин Ю.Е. Горные компьютерные технологии и геостатистика / Ю.Е. Капутин. – С-Пб. : Недра, 2002. – 334 с.

7. Капутин Ю.Е. Краткая характеристика наиболее распространенных в мире интегрированных горно-геологических систем для проектирования и

планирования горных работ [Электронный ресурс] / Ю.Е. Капутин // Научная библиотека. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/integrirovannye-sistemy-i-kompleksy-geoinformatsionnyh-sistem-v-gornom-dele#ixzz3TUhhNXKU>.

8. Галиев С.Ж. Методика оперативного мониторинга и управления рудопотоком. / С.Ж. Галиев, А.А. Бояндинова, Ж.А. Адилханова, К.К. Жусупов, С.Е. Пуненков // Научный журнал КазНТУ "Вестник". Наука о земле. – Алматы. – 2009. – С. 64–70.

9. Галиев С.Ж. Автоматизированное корпоративное управление геотехнологическими комплексами на открытых разработках / С.Ж. Галиев, К.К. Жусупов, Е.Н. Татишев. – Алматы. – 2007. – 237 с.

10. Галиев С.Ж. Структура и организация информационного обеспечения автоматизированной системы диспетчеризации работы экскаваторно-автомобильного комплекса «АДИС-Авто» / С.Ж. Галиев, А.А. Бояндинова, В.А. Астраханцев, К.К. Жусупов // Научно-техническое обеспечение горного производства: сб. научных трудов ИГД им. Д.А. Кунаева. – Т. 72. – Алматы. – 2006. – С. 138–143.

11. Жусупов К.К. Планирование и управление рудопотоками на АО «Костанайские минералы» / К.К. Жусупов, С.Е. Пуненков, С.Ж. Галиев, А.А. Бояндинова, Ж.А. Бояндинова // Современные проблемы механики сплошных сред: сборник. – Вып. 7 «Гидрогазодинамика, геомеханика и геотехнологии». – Бишкек. – 2008. – С. 64–72.

12. Галиев С.Ж. The Automated System Of Disputcing Of Excavator-Railway Complex Work On Open-Pit – «ADIS-RT» / С.Ж. Галиев, А.С. Бектуреев, К.К. Жусупов, К.К. Иванов., Е.Н. Сейтаев, Е.Н. Татишев, Е.А. Шабельников // Proceedings of the 16th International Symposium on Mine Planning and Equipment Selection (MPES 2007) and the 10th International Symposium on Environmental Issues and Waste Management in Energy and Mineral Production (SWEMP 2007). – Bangkok, Thailand. – 2007. – P. 330–337.

13. Адилханова Ж.А. Автоматизированное планирование горно-транспортных работ в системе корпоративного управления геотехнологическим комплексом / Ж.А. Адилханова // Инновационное развитие и востребованность науки в современном Казахстане. – Ч. 2: Естественно-технические науки. – Алматы. – 2008. – С. 386–388.
14. Горнорудная промышленность Украины [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.ukrrudprom.ua/reference/industry/gmk.html>
15. Азарян В.А. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины / В.А. Азарян, А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Колосов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2012. – №5. – С. 1–4.
16. Интернет-сайт «Горная энциклопедия» Гамма-каротаж. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/g/gamma-karotazh>.
17. Арцыбашев В.А. Плотностной гамма-гамма каротаж на рудных месторождениях / В.А. Арцыбашев, Г.А. Иванюкович // Методические рекомендации. – М. : Атомиздат, 1975. – 72 с.
18. Арцыбашев В.А. Гамма-метод измерения плотности / В.А. Арцыбашев. – М. : Атомиздат, 1965. – 204 с.
19. Интернет-сайт компании ООО «Геотехсервис» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://леуза.рф/gti/termin/karotazh.htm>.
20. Капутин Ю.Е. Системы контроля содержаний (Grade Control) на горных предприятиях / Ю.Е. Капутин. – Санкт-Петербург : Недра, 2012. – 330 с.
21. Азарян В.А. Состояние проблемы контроля качества при добыче и переработке железорудного сырья / В.А. Азарян, А.А. Азарян, Г.Н. Лисовой // Горный вестник. – Кривой Рог. – 2012. – №95 (1). – С. 132–136.

22. Порцевский А.К. Управление качеством рудной массы на открытых горных работах / А.К. Порцевский // Учебное пособие по курсу лекций для студентов специальности 0902. – Москва. – 1998. – 50 с.

23. Азарян В.А. От процессов транспорта и контроля качества руды – к проблеме генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №50. – С. 17–26.

24. Азарян В.А. Актуализация общекарьерной генерализованной системы управления качеством рудопотоков / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Наука – образованию, производству, экономике : научн. конф., 14 апр. 2017 г. : тезисы докл. – Минск: БНТУ, 2017. – С. 71.

25. Интернет-сайт компании ООО «УралРудоАвтоматика» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://uralrudoavtomatika.ru>.

26. Азарян В.А. Пути повышения точности оперативного контроля качества железорудного сырья / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук // Іноземна мова як засіб мобільності майбутніх фахівців у контексті болонської декларації : матеріали міжнародної науково-практичної конференції, 18.03.2010 р. – Кривий Ріг : Видавничий дім, 2010. – С. 106–107

27. Азарян В.А. Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / В.А. Азарян // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (6; 2010; Варна, Болгария): 6 Международная конференция (4-10 июня 2010 г.): материалы : в 2-х т. / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2010.– С. 52–56

28. Азарян В.А. Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества при добыче железорудного сырья в условиях карьеров / [В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.Н. Гриценко и др.] // Інженерія програмного забезпечення : науковий журнал. – Київ : Національний авіаційний університет, 2012. – №2 (10). – С. 17–25.

29. Азарян В.А. Повышение эффективности управления качеством железорудных карьеров Украины / В.А. Азарян // Промышленность, инвестиции, технологии : материалы научной конференции. г. Кривой Рог, 9-12 ноября 2010 г.–Кривой Рог, [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kratos.net.ua/exhib/10/catalog-pit-10-web.pdf>. – С. 23.

30. Азарян В.А. Цели и задачи создания системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 2007. – №91. – С. 55–57.

31. Азарян В.А. Применение методов оперативного контроля для повышения эффективности систем управления качеством в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Материалы 7 Конгресса обогатителей стран СНГ, (2-4 марта 2009 г.) – Москва, – 2009. Режим доступа: Studmed.ru\_materialy-vii-kongressa-obogatiteley-stran-sng\_a3c9caa8595.rar.

32. Азарян В.А. Ресурсные перспективы ГОКов Кривбасса и концепция технологии управления интегрированным грузопотоком, генерализованной в масштабах комбината / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2017. – С. 564–571.

33. Азарян В.А. Система контроля и управления качеством в рудопотоках железорудных карьеров / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2016. – Вип. 41. – С. 170–174.

34. Арсеньев С.Я. Внутрикарьерное усреднение железных руд / С.Я. Арсеньев, А.Д. Прудовский. – М. : Недра, 1980. – 200 с.

35. Бастан П.П. Смешивание и сортировка руд / П.П. Бастан, Н.К. Костина – М. : Недра, 1990. – 168 с.

36. Ломоносов Г.Г. Формирование качества руды при открытой добыче / Г.Г. Ломоносов. – М. : Недра, 1975. – 224 с.

37. Безпалько В.Н. Формирование и управление качеством рудопотоков горно-обогатительного предприятия в условиях ухудшения

сырьевой базы: диссертация на соискание степени кандидата технических наук: 08.00.05 / В.Н. Безпалько, 1984 – Днепропетровск – 178 с.

38. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений: сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2010. – Вып. 93. – С. 33–36.

39. Азарян В.А. Исследование влияния качества рудопотока железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян // Гірничий вісник. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип. 100. – С. 58–62.

40. Азарян В.А. Контроль и управление качеством рудопотоков железорудных горно-обогатительных комбинатов / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету: зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2018. – Вип. 46. – С. 159–163.

41. Бызов В.Ф. Управление качеством продукции карьеров: учеб. для вузов по спец. "Открытые горные работы" / В. Ф. Бызов. – М.: Недра, 1991. – 239 с.

42. Федосеев В.А. Экономика обогащения железных руд / В.А. Федосеев. – Л.: Наука, 1974. – 112 с.

43. Азарян В.А. Комплексная система контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами: Материалы международного симпозиума. КТУ 18–23 июня 2012 г. – Партенит. – Кривой Рог. – С. 112.

44. Пат. №85053 Украина, В07В 1/00. Мобільний подрібнювально-сортувальний пристрій / Азарян А.А., Азарян В.А., Цыбулевский Ю.Е.; заявл. 26.04.2013; опубл. 11.11.2013; Бюл. №21.

45. Пат. №95477 Україна, Е21В 43/00. Спосіб ідентифікації рудних потоків / Вілкул Ю.Г., Азарян А.А., Ступнік М.І., Моркун В.С., Азарян В.А.; заявл. 04.07.2014; опубл. 25.12.14; Бюл. №24.

46. Пат. № 41036 А Україна, G01V 5/12. Каротажна станція / [Азарян А.А., Василенко В.Є, Бородавкін В.М., Бойко С.С. та ін.]; заявл. 12.01.2001; опубл. 15.08.2001; Бюл. №7.

47. Пат. №119777 Україна, G01V 5/00. Пристрій оперативного контролю вмісту корисного компонента у мінеральній сировині / [Азарян А.А., Азарян В.А., Грищенко А.М., Дрига В.В., Мірошник Д.Ю. та ін.]; заявл. 05.04.2017; опубл. 10.10.2017; Бюл. №19.

48. Пат. №123234 Україна, G01V 5/12. Свердловинний пристрій для селективного гамма-гамма каротажу / [Азарян А.А., Азарян В.А., Грищенко А.М., Дрига В.В., Мірошник Д.Ю. та ін.]; заявл. 05.04.17; опубл. 26.02.2018; Бюл. № 4.

49. Грищенко А.Н. Расчет оптимальной сети геофизического опробования рудных блоков / А.Н Грищенко, А.В. Черкасов, А.В. Швыдкий // Качество минерального сырья: сб. научн. трудов. – Кривой Рог: КНУ, 2014. – С. 536–543.

50. Пат. №84463 Україна, G01R 33/12. Пристрій для визначення вмісту магнетиту у залізних рудах / [Азарян А.А., Цибулевський Ю.Є., Шаров В.В., Дрига В.В., Лісовий Г.М.]; заявл. 03.11.2006; опубл. 27.10.2008; Бюл. № 20.

51. Азарян А.А. Разработка переносного устройства контроля качества магнетитовых руд в условиях ГОКов на базе объемного датчика / А.А. Азарян, В.В. Дрига, Ю.Е. Цибулевский и др. // Качество минерального сырья: сб. науч. трудов. – Кривой Рог: КТУ, 2008. – С. 483-491.

52. Пат. №6225 Україна, G01N 27/72. Пристрій оперативного контролю масової частини заліза магнітного у гірничій масі / [Азарян А.А., Дрига В.В., Цибулевський Ю.Є., Кривенко А.Ю.]; заявл. 13.12.2004; опубл. 15.04.2005; Бюл. № 4.

53. Пат. №10780 А Україна, G01N 23/203. Спосіб оперативного технологічного контролю вмісту корисного компонента в мінеральній сировині на конвеєрі і пристрій для його реалізації / Азарян А.А., Бизов В.Ф.; заявл. 11.05.1993; опубл. 25.12.1996; Бюл. № 4.9.

54. Пат. №119778 Україна, G01N 23/203. Спосіб визначення вмісту чорних і важких металів у порошкових пробах руд / Азарян А.А., Азарян В.А., Гриценко А.М., Дрига В.В., Мірошник Д.Ю. та ін.]; заявл.05.04.17; опубл. 10.10.2017; Бюл. № 19.

55. Азарян В.А. Сравнительный анализ химического и гамма-гамма методов контроля качества руд на конвейере / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук // Европейская наука и технологии (European Science and Technology). Мюнхен, Германия, 3-4 октября 2013 г.: Материалы 5 Международной научно-практической конференции. Мюнхен. – С. 325–331.

56. Пат. 50668 Україна, G01R 33/12. Система автоматичного контролю і керування масовою часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці / Азарян А.А., Азарян В.А., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю.Е.; заявл. 02.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. №12.

57. Пат. №36662 Україна, G01R 33/12. Пристрій для автоматичного визначення вмісту магнетитового заліза на конвеєрі / Азарян А.А., Азарян В.А., Дрига В.В., Лісовий Г.М., Цибулевський Ю.Є., Шаров В.В., Швидкий О.В.; заявл. 29.12.2007; опубл. 10.11.2008, Бюл. №21

58. Азарян В.А. Система автоматического контроля качества железистых кварцитов / А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига и др. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – №1. – С. 138–140.

59. Азарян В.А. Система оперативного контроля качества железистых кварцитов на конвейере / В.А. Азарян, А.А. Азарян, В.В. Дрига // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2011. – С. 184–191.

60 Пат. №21525 А Україна, G01V 50/00. Пристрій оперативного контролю вмісту корисного компонента в мінеральній сировині (ПАКС) / Азарян А.А., Бизов В.Ф., Глазунов В.В., Лісовий Г.М. та ін.; заявл. 15.03.1996; опубл. 16.12.1997, Бюл. №10.

61. Азарян В.А. Обоснование геометрических и технологических параметров устройства ПАКС-4М для оперативного контроля качества



товарной руді и продуктов обогащения / В.А. Азарян А.А. Трачук, // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (3; 2007; Варна, Болгария): 3 Международная конференция (1–8 июня 2007 г.): материалы : в 2-х т. / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2007. – Т. 1. – С. 487–491.

62. Пат. №73793 Україна, G 06Q 50/02. Система оперативного контролю якості товарної руди при відвантаженні споживачам / Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А.; заявл. 18.03.12; опубл. 10.10.12, Бюл. №19.

63. Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин / И.Г. Сковородников. – Изд. 3-е, перераб. и доп. – Екатеринбург : Институт испытаний, 2009. – 471 с.

64. Моркун В.С. Розроблення методу визначення мінералогічних різновидів залізної руди з використанням надвисокочастотного електромагнітного випромінювання, гамма-випромінювання, та високоенергетичного ультразвуку / [В.С. Моркун, А.А. Азарян, В.А. Азарян, та ін.] // Звіт НДР №0115U003030. – Кривий Ріг: ДНВЗ «КНУ», 2015. – 125 с.

65. Азарян В.А. Исследование основных и дополнительных факторов, влияющих на точность каротажа взрывных скважин / [В.А. Азарян, А.А. Азарян, О.В. Черкасов та ін.] // Отчет по теме согласно договора 0115U003054 №2-35-15 от 05.01.2015 г. – Кривий Ріг: ДНВЗ «КНУ», 2015. – 33 с.

66. Азарян В.А. Технология предобогащения марганцевых руд / В.А. Азарян // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: спец. 05.15.08 «Обогащение полезных ископаемых» / 2003 – Кривой Рог: КТУ – 190 с.

67. Азарян В.А. Моделирование в горном деле : учебное пособие / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук. – Кривой Рог : Дионат, 2016. – 272 с.

68. Азарян В.А. Розроблення теорії векторного поля розсіяного гамма-випромінювання та перетворення хвиль Лява і Стоунлі в магнітному полі для

керування якістю мінеральної сировини / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, О.В. Черкасов та ін.] // Звіт НДР №30-78-09 №0109U002335. – Кривий Ріг: ДВНЗ «КНУ», 2013. – 150 с.

69. Большаков А.Ю. Использование методов ядерной геофизики при разработке рудных месторождений. В кн. Физические условия и технология горного производства / А.Ю. Большаков. – Л. : Наука, 1973. – С. 43–52.

70. Инструкция по эксплуатации устройства ПАКС-5МК. – Кривой Рог : ООО «Рудпромгеофизика», 2012. – 17 с.

71. Азарян А.А. Контроль качества железной руды на конвейере / А.А. Азарян, В.Е. Василенко, Г.Н. Лисовой, В.Ю. Зубкевич // Сборник научных трудов "Качество минерального сырья". – Кривой Рог, 1999. – С. 123–128.

72. Азарян В.А. Выбор параметров микропроцессорной системы оперативного контроля качества и веса горной массы железорудного сырья на конвейере / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук / Горный журнал. – Москва. – №7. – 2011. – С. 62–64.

73. Азарян В.А. Методы предварительного обогащения руд черных металлов / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук // Сборник научных трудов, посвященной 110-летию со дня рождения В.И. Кармазина. – Днепропетровск. – 2014. – С. 78.

74. Азарян В.А. Интегральный поток интенсивности рассеянного гамма-излучения как функция от параметров геометрии измерения / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.Н. Гриценко, А.А. Трачук // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Achievements and Their Practical Application" (October 31, 2017, Dubai, UAE). № 11(27), Vol.1, November 2017 – С. 18-24.

75. Азарян В.А. Исследование влияния геометрии измерения на интегральный поток интенсивности рассеянного гамма-излучения / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (6; 2010;

Варна, Болгария): 6 Международная конференция (4-10 июня 2010 г.): материалы : в 2-х т. / МОН Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2010. С. 44–51.

76. Азарян В.А. Определение содержания общего железа на конвейерной ленте методом рассеянного гамма-излучения на горнодобывающих предприятиях Украины / В.А Азарян // Вісник КТУ. Збірник наукових праць. – Кривой Рог : КТУ, 2006. – Вип. №11. – С. 198–201.

77. Азарян В.А. Оптимизация геометрических параметров системы оперативного контроля массовой доли полезного компонента в горной массе на конвейере / [В.А. Азарян, Г.В. Константинов, С.А. Смолянская, П.С. Смолянский] // Второй международный симпозиум Оперативный контроль и управление качеством минерального сырья при добыче и переработке ( Качество–99 ) : сб. научн. трудов. – Ялта. – 1999. – С. 174–179.

78. Азарян В.А. Дослідження фізико-хімічних властивостей залізистих кварцитів і каротаж вибухових свердловин / [В.А. Азарян, А.А. Азарян, О.В. Черкасов та ін.] // Звіт НДР ДВНЗ «КНУ» 0110U004443 №2-825-10. – Кривий Ріг: ДНВЗ «КНУ», 2010. – 32 с.

79. Азарян В.А. Виконання підготовчих робіт для розробки та впровадження системи програмного забезпечення управління якістю руди при видобутку та переробці / [В.А. Азарян, А.А. Азарян, О.В. Черкасов та ін.] // Звіт НДР ДВНЗ «КНУ» 0113U003748 №26-947-13. – Кривий Ріг: ДНВЗ «КНУ», 2013. – 30 с.

80. Дрыга В.В. Непрерывный контроль качества магнетитовых руд на ленточных конвейерах в условиях горно-обогажительных комбинатов / В.В. Дрыга // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. : специальность 05.11.13 «Приборы и методы контроля и определения состава веществ» – Луганск. – 2013 – 180 с.

81. Дрыга В.В. Лабораторное исследование точности измерения устройства оперативного контроля качества железистых кварцитов /

В.В. Дрига, А.В. Швыдкий // Качество минерального сырья : сб. науч. трудов. – Кривой Рог : КТУ, 2008. – С. 257–262.

82. Гзогян Т.Н. Современное состояние техники и технологии рудоподготовки железистых кварцитов. Изменение структурного состояния и физических свойств железистых кварцитов в процессе рудоподготовки / Т.Н. Гзогян [и др.]. – М. : Горная книга, 2013. – 55 с.

83. Азарян А.А. Исследование автогенераторного метода контроля содержания железа магнитного в продуктах обогащения / А.А. Азарян, В.В. Дрига, Ю.Е. Цыбулевский // Качество минерального сырья : сб. науч. трудов. – Кривой Рог : КТУ, 2005. – С. 117–123.

84. Азарян А.А. Математическая модель устройства контроля массовой доли железа магнитного в рудах / А.А. Азарян, В.В. Дрига // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг : Мінерал, 2005. – Вип. 6. – С. 57–61.

85. Азарян В.А. Підвищення точності оперативного контролю якості залізистих кварцитів при відкритій розробці / В.А. Азарян // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – № 53 – С. 8–17.

86. Бабий Е.В. О качестве рудного потока при технологии предобогащения руды в карьере / Е.В. Бабий, М.А. Синенко // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2010. – Вип. 25. – С. 3–8.

87. Шамрай О.В. Формування кар'єрних рудопотоків для стабілізації якості руди: дисертація на здобуття вченого ступеню кандидата техн. наук : 05.15.03 / О.В. Шамрай. – Кривий Ріг, 2009. – 140 с.

88. Бызов В.Ф. Таблицы аксиоматических нормативов для расчета эффективности усреднения железных руд (ИнГОК) / В.Ф. Бызов, А.В. Максимов, В.А. Азарян. – Кривой Рог : Минерал, 2007. – С. 41.

89. Килин Ю.А. Обоснование динамики параметров рабочей зоны карьера для формирования качества руды: диссертация на соискание ученой

степени кандидата технических наук: специальность «Геотехнология (подземная, открытая и строительная), 25.00.22 / Ю.А. Килин Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat, 2006 – Красноярск – 161 с.

90. Бызов В.Ф. Об усреднении качества руд при объединении грузопотоков / В.Ф. Бызов, Ю.Г. Вилкул, И.И. Максимов // Metallургическая и горная промышленность. – 1982. – №2. – С. 64–65.

91. Ещенко А.А. Влияние колебаний качества рудного сырья на основные технологические показатели обогащения / А.А. Ещенко, В.Ф. Бызов // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 1967. – №4. – С. 65–67.

92. Кармазин В.В. Магнитные, электрические и специальные методы обогащения полезных ископаемых. / В.В. Кармазин, В.И. Кармазин. – М. : МГГУ, 2005. – Т. 1. – 670 с.

93. Могилевский П.Д. Обоснование условий применения попарной разгрузки автосамосвалов с целью стабилизации показателей качества в рудопотоках карьеров / П.Д. Могилевский, В.И. Бурка, В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2008. – С. 276–281.

94. Азарян В.А. Исследование парных операционных перегрузочных узлов в цепи стабилизации качества при формировании бинарного рудопотока / С.А. Жуков, В.А. Азарян // НДГРІ ДВНЗ «КНУ». Технічні науки : зб. наук. праць. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – Вип. 56. – С. 173–181.

95. Азарян В.А. Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / В.А. Азарян, С.О. Жуков // Вісник ЖДТУ : наук. журнал. – Житомир. – 2018. – Вип. 1 (81). – С. 240–245.

96. Азарян В.А. Предварительное обогащение руд черных металлов / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук // Материалы 7 Конгресса

обогащителей стран СНГ (2-4 марта 2009 г.) – Москва, – 2009. [Электронный документ]. – Режим доступа: Studmed.ru\_materialy-vii-kongressa-obogatiteley-stran-sng\_a3c9caa8595.rar.

97. Азарян В.А. Комплексное обогащение руд черных металлов – путь к экономии минерально-сырьевых ресурсов / В.А. Азарян, Ю.Е. Цыбулевский, А.В. Аниськов // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2010. – Вип. 26. – С. 284–286.

98. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – 2011. – С. 60–63.

99. Азарян В.А. Математические методы планирования комплексной системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян, П.Д. Могилевский, В.И. Бурка // Вісник КТУ : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2008. – Вип. 22. – С. 177–180.

100. Кац М.Д. Математические основы теории управления: учебное пособие для практической и самостоятельной работы / М.Д. Кац. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 107 с.

101. Азарян В.А. Модель системы управления качеством рудопотока карьера с использованием теории управления / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2014. – С. 101–112.

102. Азарян В.А. Модель стабилизации колебаний содержания полезного компонента в рудопотоке карьера / В.А. Азарян // Европейская наука и технологии (European Science and Technology). Мюнхен, Германия, – 3-4 октября 2013 г.: Материалы 5 Международной научно-практической конференции. Мюнхен. – С. 331–336.

103. Азарян В.А. Модель динамической стабилизации колебаний качества в рудопотоке / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип. №37. – С. 18–22.

104. Азарян В.А. Обоснование оптимального периода опробования забоев карьера / В.А Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – 2014. – Вип. 38. – С. 7–12.

105. Азарян В.А. Обоснование периода опробования забоев карьера / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №51. – С. 8–18.

106. Родионов И.Б. Теория систем и системный анализ. Курс лекций [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://eidos.ru/journal/1998/0781.htm>.

107. Гмурман В.Е. Руководство к решению задач по теории вероятностей и математической статистике / В.Е Гмурман. – М. : Высшая школа, 1975. – 333 с.

108. Азарян В.А. Исследование влияния дискретности измерения содержания полезного компонента на показатели прибыли горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян, В.М. Серебренников // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2015. – №40. – С. 156–161.

109. Азарян В.А. Исследование влияния периода опробования забоев железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян, С.А. Жуков, В.А. Стриха// Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2017. – Вип. 3(79). – С. 42-52.

110. Азарян В.А. Дослідження впливу якості фінального рудопотоку на прогнозний прибуток гірничо-збагачувального комбінату / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – № 54 – С. 19–28.

111. Азарян В.А. Комплексная сортировка и обогащение марганцевых руд / В.А Азарян , В.М Назаренко// Разработка рудных месторождений : сб. научн. трудов. – Кривой Рог : КТУ, 2002. – №78. – С. 77–80.

112. Бызов В.Ф. Сравнительный анализ химического и гамма методов контроля качества руд на конвейере / В.Ф. Бызов, А.А. Азарян, В.М. Серебренников // Горный журнал. – 1988. – №12. – С. 47–49.

113. Азарян В.А. Предобогащение руд подземной добычи Кривбасса методами радиометрической сепарации / В.А. Азарян, А.А. Азарян, А.А. Трачук // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – Днепропетровск. – 2003. – №5. – С. 95–96.

114. Azaryan Vladimir Use of Bourger-Lambert-Bera law for the operative control and quality management of mineral raw / Albert Azaryan, Vladimir Azaryan // *Metallurgical and Mining Industry : Ukrmetallurginform*"STA" Ltd. Украина, 2015. – No. 1. – С. 4–8.

115. Бызов В.Ф. Исследование факторов, влияющих на точность оперативного контроля массовой доли полезного компонента в горной массе / В.Ф. Бызов, А.А. Азарян, А.А. Трачук // *Разработка рудных месторождений*. – Кривой Рог : КТУ, 2001. – №65. – С. 48–50.

116. Воробьев В.Д. Применение гамма-гамма метода для экспресс опробования руд / В.Д. Воробьев, В.В. Воробьев // *Качество минерального сырья : сб. научн. трудов*. – Кривой Рог : Минерал, 2000. – С. 44–47.

117. Марюта А.Н. Управление качеством минерального сырья на базе ядернофизических методов опробования / А.Н. Марюта // *Качество минерального сырья : сб. научн. трудов*. – Кривой Рог : Минерал, 2000. – С. 22–24.

118. Ревнивцев В.И. Рентгенорадиометрический метод в комплексной системе управления качеством руд / В.И. Ревнивцев, Е.П. Леман, М.И. Кротков // *Обогащение руд*. – 1983. – №5. – С. 24–25.

119. Мокроусов В.А. Применение радиометрических методов для обогащения полезных ископаемых / В.А. Мокроусов, Г.В. Остроумов, А.П. Кузнецов // *Обогащение руд*. – 1985. – №5. – С. 10–12.

120. Азарян В.А. Разработка мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса для железорудных карьеров / В.А. Азарян // *Черная металлургия : бюллетень научно-технической и экономической информации*. – Москва : Центральный научно-исследовательский институт



информации и технико-экономических исследований черной металлургии, 2014. – №5 (1373). – С. 23–26.

121. Посик Л.Н. Радиометрическая крупнопорционная сортировка руд при их добыче и транспортировке / Л.Н. Посик, И.В. Кошелев // Цветные металлы. – 1979. – №2. – С. 70–72.

122. Федоров М.Ю. Основные технические и конструктивные принципы рентгенорадиометрических сепараторов РАДОС / М.Ю. Федоров // Материалы III международной научно-технической конференции «Рентгенорадиометрическая сепарация минерального сырья и техногенных отходов». – Екатеринбург. – 2007. – С. 70–79.

123. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс (МДСРК) / В.А. Азарян // IX Конгресс обогатителей стран СНГ (26.02 – 01.03.2013 г.) // Сб. материалов. Т.1. – М. : МИСиС, 2013. – С. 47–50.

124. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс / В.А. Азарян // Сборник трудов, посвященной 110-летию со дня рождения В.И. Кармазина. – Днепропетровск. – 2014. – С. 85.

125. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс как часть технологии управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2017. – №45. – С. 3–8.

126. V. Azaryan "The Methodology of Use of the Mobile Crushing-and-Sorting Radiometric Complex in the Iron-Ore Pit", Solid State Phenomena, Non Traditional Technologies in Mining Industry Vol. 277, pp. 90-99, 2018

127. Система контроля качества на конвейерах ШУ подземной добычи руды ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Проект. – Кривой Рог : «ГПИ «Кривбасспроект», 2005. – 58 с.

128. Азарян В.А. Анализ структурных особенностей породных массивов как фактора формирования грансостава и качества взорванной

горной массы / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Розвиток промисловості та суспільства : научн. конф., 24–26 травня 2017 р. : тези доп. – Кривий Ріг, 2017 – С. 27.

129. Пат. №111622 Україна, E21C 41/26. Спосіб комбінованого відокремлення порід від масиву при відкритих гірничих роботах/ Азарян В.А., Качан Д.О.; заявл.14.07.14; опубл. 25.11.16; Бюл. №22.

130. Азарян В.А. Обоснование применения мобильных дробильно-сортировочных радиометрических комплексов в условиях железорудных карьеров Кривбасса / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. праць. – Кривий Ріг. – 2013. – Вип. 34. – С. 28–30.

131. Азарян В.А. Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины / [Ю.Г. Вилкул, А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук]. – М.: НТЖ Горная промышленность спецвыпуск, – 2011. – С. 13–15.

132. Мескон М. Основы менеджмента : учебник. Пер.с англ. / Майкл Мескон, Майкл Альберт, Франклин Хедоури. – М. : Дело, 1998. – 800 с.

133. Азарян В.А. Проблема генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера и ее алгоритмизация/ С.А. Жуков, В.А. Азарян // Вісник НУВГП. Технічні науки : зб. наук. праць. – Рівне : НУВГП, 2016. – Вип. 4(76). – С. 261-270.

134. Азарян В.А. Системные принципы и оценочный критерий генерализации управления качеством рудопотоков / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – № 52 – С. 41-46

135. Азарян В.А. Развитие методов управления качеством рудопотоков карьеров / В.А. Азарян, С.А. Жуков // LXXIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. – К.: НТУ, 2017. – С. 112

136. Азарян В.А. Разработка системы оперативного контроля качества железорудного сырья в условиях горно-обогатительных комбинатов Украины / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог : КТУ, 2005. – С. 143–148.

137. Азарян В.А. Разработка функциональной и структурной схемы управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "The goals of the World Science 2017" (January 31, 2017, Dubai, UAE). № 2(18), Vol.1, February 2017 – С. 20–24.

138. Пат. №48892 Україна, G05G 7/00. Пристрій для управління розміром розвантажувальної щілини конусної дробарки / А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига, Н.Ч. Айер, В.Г. Кучер, Ю.Е. Цибулевський; заявл. 09.10.2009; опубл. 12.04.2010, Бюл. №7.

139. Пат. №78996 Украина, G01N23/203. Пристрій оперативного контролю керування технологічними параметрами при переробці мінеральної сировини / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук, Е.В. Серебренников]; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.

140. Пат. №78997 Украина, E21C 41/22. Спосіб усереднення двох типів руд із різним вмістом заліза магнітного / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.Г. Кучер и др.]; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.2013, Бюл. №7.

141. Азарян В.А. Розвиток теорії управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів / В.А. Азарян, С.О. Жуков // Вчені записки Таврійського національного університету ім. Вернадського : наук. журнал. – Київ. – 2018. – Том 29 (68). № 3 – С. 89–94.

142. Азарян В.А. Розробка й обґрунтування критерію, враховуючого при доробці кар'єру співвідношення витрат на утримання власної РЗФ ГЗК і прибутку від реалізації збагаченої продукції /В.А. Азарян, С.О.Жуков // Materials conference II International scientific and technological internet-

conference «Innovative development of mining industry» Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih, 2017, С. 81–82

143. Азарян В.А. Анализ методов оценки управления качеством в рудопотоках карьеров / В.И Бурка, В.А. Азарян, П.Д. Могилевский // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2008. – С. 240–243.

144. Шестаков В.А. Принципы оценки эффективности и оптимизации усреднения руд / В.А Шестаков // Совершенствование методов усреднения руд (Материалы 4-го Всесоюзного совещания, Фрунзе, 5-7 октября 1984 г.). – Фрунзе : Илим, 1984. – С. 244–251.

145. Цыпин Е.Ф. Предварительное обогащение / Е.Ф. Цыпин // Известия Вузов Горный Журнал УГГУ. – Екатеринбург – 2001. – №4. – С. 82–104.

146. Азарян В.А. Алгоритм технологической и экономической оценки применения технологии управления качеством рудопотоков карьеров / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. научн. трудов. – Кривой Рог. – 2017. – С. 125–134.

147. Олев Т.М. Экологическая оценка проектов / Т.М. Олев, Е.В. Колесникова, С.В. Руденко // Праці Одеського політехнічного університету. Одеса – 2013. – Вип. 2(41). – С. 276–281.

**Додаток А**

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер

ГОК «Укрмеханобр» ЧАО «ММК им. Ильича»

\_\_\_\_\_ Майданик С.Я.

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**СПРАВКА**

о применении анализатора порошковых проб ПАП-1

в условиях ГОК «Укрмеханобр» ЧАО «ММК им. Ильича

Устройство: анализатор порошковых проб ПАП-1

Назначение: Анализатор порошковых проб ПАП-1 (далее устройство) предназначен для экспрессного определения массовой доли общего железа, в пробах рудного материала.

Конструктивно анализатор железа состоит из датчика железа со штативом и компьютера с установленным специализированным программным обеспечением.

Период эксплуатации анализатора порошковых проб: с мая 2006 г. по настоящее время.

Разработчик: ООО «Рудпромгеофизика» (г. Кривой Рог).

Выводы по работе: Анализатор порошковых проб ПАП-1 успешно применяется в условиях ГОК «Укрмеханобр» ЧАО «ММК им. Ильича и дает возможность получать информацию о содержании общего железа с точностью  $\pm 0,5$  % абс.

Параметры работы анализатора порошковых проб ПАП-1 находятся в пределах, заявленных в паспорте.

Начальник ОТК

Письменная О.С.

**Додаток Б**

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный инженер РОФ-1

ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

\_\_\_\_\_ Д.С. Сероштан

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

**СПРАВКА**

о применении системы автоматики ДЖМ-К в условиях РОФ-1

ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог»

Объект: система автоматики ДЖМ-К.Назначение: технологический контроль массовой доли железа, связанного с магнетитом на конвейерных линиях. ДЖМ-К обеспечивает контроль в режиме реального времени, хранение данных в базе и их обработку.Период эксплуатации системы ДЖМ-К: с июня 2007 г. по настоящее время.Разработчик: ООО «Рудпромгеофизика» (г. Кривой Рог).Количество датчиков системы ДЖМ-К на секциях РОФ-1: 14 датчиков.Выводы по работе системы: система автоматики ДЖМ-К используется для технологического контроля. Данные системы позволяют отслеживать изменение содержания железа, связанного с магнетитом, в потоке на конвейерной ленте. Табло отражают как текущее содержание полезного компонента, так и динамику его изменения за час. Параметры работы системы находятся в пределах величин, заявленных в паспорте: среднеквадратическое отклонение определения содержания железа, связанного с магнетитом – 0,67%

Главный энергетик

РОФ-1

А.В. Черевык

## Додаток В

«УТВЕРЖДАЮ»

Обогатитель

ЧАО «ЕВРАЗ СУХА БАЛКА»

\_\_\_\_\_ Е.Н. Кравцов

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

## СПРАВКА

о применении системы непрерывного контроля качества руды НАКС-ПК  
в условиях ДСФ шахты «Юбилейная» на конвейерах №7 и №9  
ЧАО «ЕВРАЗ СУХА БАЛКА»

Объект: система непрерывного контроля качества руды НАКС-ПК

Назначение: непрерывный контроль содержания общего железа на конвейерных линиях.

Начало эксплуатации системы: апрель 2010 г.

Период эксплуатации: по настоящее время.

Разработчик: ООО «Рудпромгеофизика» (г. Кривой Рог).

Количество каналов НАКС-ПК на секциях ДСФ – 2 канала.

Выводы по работе системы: система непрерывного контроля качества руды НАКС-ПК используется для контроля содержания общего железа на конвейерах №7 и №9 ДСФ шахты «Юбилейная» ЧАО «ЕВРАЗ СУХА БАЛКА» в течение шести лет. Данные, получаемые в результате работы системы, позволяют осуществлять технологический контроль производственных процессов ДСФ. Параметры работы системы НАКС-ПК находятся в пределах величин, заявленных в паспорте: среднеквадратическое отклонение составляет 0,87%.

## Додаток Г

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный геолог

ЧАО «ИнГОК»

\_\_\_\_\_  
Э.А. Беспояско

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

## СПРАВКА

о применении зонда каротажного ПАКС-5КК  
в условиях карьера ЧАО «ИнГОК»

Устройство: зонд каротажный ПАКС-5КК

Назначение: зонд каротажный ПАКС-5КК предназначен для экспрессного определения содержания в рудах полезного компонента, обладающего магнитной восприимчивостью (магнетита в железных рудах). Каротажный зонд ПАКС-5КК предназначен для каротажа скважин диаметром до 300 мм с целью определения распределения содержания железа магнитного по глубине скважины. Устройство конструктивно состоит из измерительного пульта соединительного кабеля и двухкатушечного зонда.

Период эксплуатации зонда каротажного ПАКС-5КК: с мая 2010 г. по настоящее время.

Разработчик: ООО «Рудпромгеофизика» (г. Кривой Рог).

Выводы по работе ПАКС-5 КК: зонд каротажный ПАКС-5КК эксплуатируется в условиях карьера ЧАО «ИнГОК». Применение ПАКС-5КК дает возможность получать информацию о распределении магнетита в пределах взрывного блока в карьере.

Параметры работы каротажного зонда ПАКС-5КК находятся в пределах, заявленных в паспорте: погрешность измерения содержания полезного компонента составляет 1,5%.

Участковый геолог карьера

ЧАО «ИнГОК»

И.И. Юдин



## Додаток Д

«УТВЕРЖДАЮ»

Главный геолог

ЧАО «ИнГОК»

\_\_\_\_\_ Э.А. Беспояско

«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 г.

### СПРАВКА

о применении датчика железа магнитного ДЖМ-4

в условиях карьера ЧАО «ИнГОК»

Устройство: датчик железа магнитного ДЖМ-4

Назначение: датчик железа магнитного ДЖМ-4 предназначен для экспрессного определения содержания в железных рудах полезного компонента, обладающего магнитной восприимчивостью (магнетита в железных рудах). Устройство конструктивно состоит из датчика и компьютера

Период эксплуатации датчика железа магнитного ДЖМ-4: с мая 2010 г. по настоящее время.

Разработчик: ООО «Рудпромгеофизика» (г. Кривой Рог).

Выводы по работе ДЖМ-4: датчик железа магнитного ДЖМ-4 эксплуатируется в условиях ЧАО «ИнГОК». Применение ДЖМ-4 дает возможность получать информацию о содержании магнетита в железной руде.

Параметры работы датчик железа магнитного ДЖМ-4 находятся в пределах, заявленных в паспорте: погрешность измерения содержания полезного компонента составляет 0,5%.

Участковый геолог карьера

ЧАО «ИнГОК»

И.И. Юдин

## Додаток Е

### ДОВІДКА

виконаних обсягів каротажних опробувань шарошкових свердловин  
з застосуванням мобільної каротажної станції «КАР'ЄР-КРИВБАС»  
на залізорудних кар'єрах в 2015 р.

| №  | Найменування підприємства                                                                           | Загальний<br>обсяг<br>робіт, м.п. | Гамма-<br>гамма<br>каротаж,<br><br>м.п. | Каротаж<br>магнітний,<br><br>м.п. |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------------|
| 1. | ГЗК «Укрмеханобр» ММК ім.<br>Ілліча                                                                 | 6017                              | 6017                                    | —                                 |
| 2. | Гірничий департамент<br><br>ПАТ «АселорМіттал Кривий<br>Ріг»:<br><br>-кар'єр № 2<br><br>-кар'єр № 3 | 16686<br><br>20375                | —<br><br>4178                           | 16686<br><br>16197                |
| 3. | ПАТ «Південний ГЗК»                                                                                 | 1006                              | 1006                                    | —                                 |
| 4. | Всього                                                                                              | 44084                             | 11201                                   | 32883                             |

Головний інженер

ТОВ «Рудпромгеофізика»

О.В. Черкасов

## Додаток Ж

«Утверждаю»

Проректор по научной работе ГВУЗ «КНУ»,

доктор техн. наук, профессор

\_\_\_\_\_ В.С. Моркун

" \_\_ " \_\_\_\_\_ 2015 г.

## Акт

испытаний действующего макета

радиометрического сепаратора РАС-2

Испытание были проведены в условиях проблемной лаборатории ГВУЗ «КНУ». С этой целью были отобраны пробы бедной кусковой руды ШУ подземной добычи горного департамента ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог». Для установления эффективности сортировки пробы отбирались с различной степенью разубоживания. Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Табл.1

Результаты испытаний по обогащению бедной кусковой руды на действующем макете радиометрического сепаратора РАС-2

| Исходная руда |             | Концентрат |       |             | Хвосты   |       | Извлечение                  | Прирост содержания $Fe_{заг.}$ , % |
|---------------|-------------|------------|-------|-------------|----------|-------|-----------------------------|------------------------------------|
| Fe, %         | $SiO_2$ , % | Выход, %   | Fe, % | $SiO_2$ , % | Выход, % | Fe, % | $Fe_{заг.}$ в концентрат, % |                                    |
| 42,2          | 23,3        | 70,5       | 54,0  | 10,7        | 29,5     | 4,0   | 90,2                        | 11,8                               |
| 41,7          | 35,7        | 34,0       | 58,5  | 8,5         | 66,0     | 3,0   | 47,7                        | 16,8                               |

При обогащении кусковой части руды, рассеянной на классы крупности 20 – 50, 50 – 100 и 100 – 300 мм, был получен кусковый концентрат с содержанием железа 54–58,5 % . Повышение содержания железа в концентрате на сепараторе РАС-2 составило от 11,8 до 16,8 %.

Заведующий проблемной лабораторией

профессор, д.т.н.

А.А. Азарян

### Додаток 3

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Проректор з наукової роботи

Криворізького національного університету

\_\_\_\_\_ В.С. Моркун

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2018 г.

**ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ  
ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ЗАЛІЗОВМІСНОЇ СИРОВИНИ  
ГЕНЕРАЛІЗОВАНОГО КОМПЛЕКСУ РУДОПОТОКІВ  
В УМОВАХ ПрАТ «ІНГУЛЕЦЬКИЙ ГЗК»**

Підготовчий етап:

1. Система гірничо-транспортної диспетчеризації в наявності, у робочому стані;
2. Прилади та системи контролю якості в забоях, рудопотоці та на всіх основних етапах виробництва:
  - контроль в масиві (каротаж) – відсутній;
  - оперативний контроль в забоях – відсутній;
  - безперервний контроль фінального рудопотоку – відсутній;
  - безперервний контроль на вході на РЗФ – відсутній;
  - оперативний контроль на виході РЗФ – відсутній;
3. Система передачі даних про вміст корисного компоненту в забоях та фінальному рудопотоці відсутня;
4. Програмне забезпечення на центральному сервері для обробки даних про вміст корисного компоненту, а також для перерахунку змінного завдання видобувних забоїв відсутнє;

Розрахунковий етап:

5. Розрахунок капітальних витрат на впровадження на підприємстві засобів та систем контролю вмісту корисного компоненту в забоях та в сформованому рудопотоці.

5.1. Капітальні витрати на засоби контролю в масиві (каротаж): впровадження у виробництво каротажної станції «Кар'єр-Кривбас» — 2200000,00 грн.;

5.2. Капітальні витрати на прилади для оперативного контролю залістистих кварцитів на вміст заліза магнітного (2 од.) загальною вартістю 650000,00 грн.;

5.3. Капітальні витрати на системи безперервного контролю вмісту заліза магнітного в потоці на конвеєрі ДЖМ-К — 13100000,00 грн

5.4. Капітальні витрати на системи безперервного контролю вмісту заліза загального в потоці на конвеєрі НАКС-ПК — 4550000,00 грн.

Загальна сума капітальних витрат — 20500000,00 грн.

6. Розрахунок капітальних витрат на впровадження на підприємстві засобів та систем контролю вмісту корисного компоненту на всіх етапах виробництва ГЗК.

6.1. Капітальні витрати на аналізатори вмісту корисного компонента ПАП-2 (загальне залізо, 2 од.) загальною вартістю 860000,00 грн.

6.2. Капітальні витрати на датчики заліза магнітного ДЖМ-3 (2 од.) загальною вартістю 720000,00 грн.

Загальна сума витрат — 1580000,00 грн.

7. Розрахунок капітальних витрат для впровадження програмного забезпечення на центральному сервері з метою обробки даних про вміст корисного компоненту на всіх етапах виробництва ГЗК, а також для перерахунку змінного завдання видобувних забоїв.

Загальна сума витрат складає 2850000,00 грн.

8. Капітальні витрати на впровадження транкінгової системи передачі даних про якісні характеристики з основних етапів гірничого виробництва на центральний сервер становлять 2950000,00 грн.

Загальна сума капітальних витрат на створення технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків  $\sum K_z$  складе 27880000,00 грн.

9. Розрахунок додаткового обсягу концентрату, який буде отримано від впровадження технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків.

За даними асоціації «Укррудпром», в 2016 р. ПрАТ «Інгулецький ГЗК» видобув 28,8 млн т залізної руди та виробив 12,78 млн т концентрату.

Величина виходу концентрату прямо пропорційна вмісту корисного компонента у фінальному рудопотоці:

$$\gamma = \varepsilon \frac{\alpha}{\beta}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon$  – витяг, частки од.,

$\alpha$  – в.к.к. у руді;

$\beta$  – в.к.к. у концентраті.

Відомо, що:

$$Q_{\text{конц.}} = \gamma_{\text{факт.}} \times Q_r \quad (2)$$

де  $Q_{\text{конц.}}$  – обсяг концентрату, що виробляється з руди;

$\gamma_{\text{факт.}}$  – фактичний вихід концентрату;

$Q_r$  – обсяг руди фінального рудопотоку, що надходить на збагачувальне виробництво.

За формулою (2), підставляючи значення фактичних показників роботи ПрАТ «Інгулецький ГЗК», визначимо фактичний показник виходу концентрату  $\gamma_{\text{факт.}}$ , який дорівнює 0,443.

При цьому, виходячи з заданих показників  $\alpha=35\%$ ,  $\varepsilon=84,5\%$ ,  $\beta=65\%$ , визначимо плановий вихід концентрату  $\gamma_{\text{план.}}$ , який дорівнює 0,455. Планових значень виходу концентрату можна досягти за умови впровадження у виробництво технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, що забезпечить показники

вмісту корисного компонента фінального рудопотоку в гарантованих межах заданого діапазону коливань.

Виходячи з формули (3), розрахуємо додатковий обсяг концентрату від впровадження технології управління якістю рудопотоків:

$$\Delta Q_{\text{конц.}} = (\gamma_{\text{факт.}} - \gamma_{\text{план.}}) \times Q_p \quad (3)$$

де  $Q_{\text{конц.}}$  – обсяг концентрату, що виробляється з руди;

$\gamma_{\text{факт.}}$  – фактичний вихід концентрату;

$Q_p$  – обсяг руди фінального рудопотоку, що надходить на збагачення

$$\Delta Q_{\text{конц.}} = (0,455 - 0,443) \times 28800000$$

Додатковий обсяг концентрату складе 345000 т на рік.

В цінах 2016 року (квітень) концентрат коштував 65 долл. США за 1 т, або 1561,00 грн./т.

Загальний додатковий річний дохід комбінату – 569595000 грн.

10. Розрахунок економічного ефекту та терміну окупності, виходячи із значення додаткового прибутку та показника сумарних капітальних витрат на створення технології управління якістю рудопотоків ГЗК.

10.1. Додатковий прибуток як різниця між додатковим доходом та витратами на впровадження технології управління якістю:

$$\Delta \Pi = 569595000 - 27880000 = 541715000 \text{ грн.};$$

10.2. Економічна ефективність від впровадження технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків

$$\text{ПрАТ «ІнГЗК»}: E = \frac{\Delta \Pi}{\sum K_z}$$

$$E = (541715000 / 27880000) = 19,43$$

$$10.3. \text{Термін окупності: } T = \frac{\sum K_z}{\Delta \Pi}$$

Термін окупності складає  $T = 0,05$

Начальник НДЧ

Криворізького національного університету

к.т.н., доцент

Бровко Д.В.

## Додаток И

### Список публікацій здобувача

*Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:*

1. Азарян В.А. Определение содержания общего железа на конвейерной ленте методом рассеянного гамма-излучения на горнодобывающих предприятиях Кривбасса / В.А. Азарян // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2006. – Вип.11. – С. 198–201.

2. Азарян В.А. Цели и задачи создания комплексной системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений. – Кривой Рог. – 2007. – №91. – С. 207–209.

3. Азарян В.А. Математические методы планирования комплексной системы управления качеством руд в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян, П.Д. Могилевский, В.И. Бурка // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2008. – Вип.22. – С. 177–180.

4. Азарян В.А. Система автоматического контроля качества железистых кварцитов / А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.В. Дрига и др. // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – №1. – С. 138–140.

5. Азарян В.А. Анализ влияния технологических факторов на себестоимость производства железорудных ГОКов Украины / В.А. Азарян // Разработка рудных месторождений : сб. науч. тр. – Кривой Рог. – 2010. – Вып.93. – С. 33–36.

6. Азарян В.А. Комплексное обогащение руд черных металлов – путь к экономии минерально-сырьевых ресурсов / В.А. Азарян, Ю.С. Цыбулевский, А.В. Аниськов // Вісник Криворізького технічного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2010. – Вип. 26. – С. 284–286.



7. Азарян В.А. Проблемы переработки минерального сырья техногенных месторождений Украины / Ю.Г. Вилкул, А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Горная промышленность : науч.-технич. журнал. – Москва, 2011. – С. 13–15.

8. Азарян В.А. Исследование оптимального размера монокристалла NaI для регистрации интегрального потока гамма-излучения / А.А. Азарян, Г.Н. Лисовой, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Вісник КТУ : зб. наук. праць / М-во освіти і науки, молоді та спорту України, Криворізький технічний університет. – Кривий Ріг, 2011. – Вип.29. – С. 266–269.

9. Азарян В.А. Выбор параметров микропроцессорной системы оперативного контроля качества и веса горной массы железорудного сырья на конвейере / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Горный журнал. – Москва. – 2011. – №7. – С. 62–64.

10. Азарян В.А. Состояние проблемы контроля качества при добыче и переработке железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, Г.Н. Лисовой // Горный вестник : зб. наук. пр. – Кривой Рог. – 2012. – №95(1). – С. 132–135.

11. Азарян В.А. Качество железорудного сырья подземной и открытой добычи как основа конкурентоспособности горнодобывающей промышленности Украины / А.А. Азарян, Ю.Г. Вилкул, В.А. Азарян, В.А. Колосов // Metallургическая и горнорудная промышленность. – Днепропетровск. – 2012. – №5(277). – С. 1–4.

12. Азарян В.А. Обоснование применения мобильных дробильно-сортировочных радиометрических комплексов в условиях железорудных карьеров Кривбасса / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2013. – Вип.34. – С. 28–31.

13. Азарян В.А. Модель динамической стабилизации колебаний качества в рудопотоке / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип.37. – С. 22–26.

14. Азарян В.А. Разработка мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса для железорудных карьеров / В.А. Азарян //

Черная металлургия : бюллетень научно-технической и экономической информации. – Москва : Центральный научно-исследовательский институт информации и технико-экономических исследований черной металлургии, 2014. – №5(1373). – С. 23–26.

15. Азарян В.А. Обоснование оптимального периода опробования забоев карьера / В.А Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2014. – Вип.38. – С. 7–11.

16. Азарян В.А. Исследование влияния дискретности измерения содержания полезного компонента на показатели прибыли горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян, В.М. Серебренников // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип.40. – С. 156–160.

17. Azaryan Vladimir. Use of Bourger-Lambert-Bera law for the operative control and quality management of mineral raw materials / Albert Azaryan, Vladimir Azaryan // Metallurgical and Mining Industry : Ukrmetallurginform "STA" Ltd. Украина, 2015. – No.1. – С. 4–8.

18. Азарян В.А. Проблема генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера и ее алгоритмизация / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки : зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП, 2016. – Вип.4(76). – С. 115–125.

19. Азарян В.А. От процессов транспорта и контроля качества руды – к проблеме генерализованной системы управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №50. – С. 17–26.

20. Азарян В.А. Алгоритм технологической и экономической оценки применения технологии управления качеством рудопотоков карьеров / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог : ФЛП Чернявский Д.А, 2017. – С. 125–134.

21. Азарян В.А. Обоснование периода опробования забоев карьера / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №51. – С. 8–18.

22. Азарян В.А. Системные принципы и оценочный критерий генерализации управления качеством рудопотоков / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2017. – №52 – С. 41–46.

23. Азарян В.А. Исследование влияния периода опробования забоев железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян, С.А. Жуков, В.А. Стриха // Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Технічні науки : зб. наук. пр. – Рівне : НУВГП. 2017. – Вип.3(79). – С. 42–52.

24. Азарян В.А. Підвищення точності оперативного контролю якості залізистих кварцитів при відкритій розробці / В.А. Азарян // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – №53 – С. 8–17.

25. Азарян В.А. Дослідження впливу якості фінального рудопотоку на прогнозний прибуток гірничо-збагачувального комбінату / В.А. Азарян, С.А. Жуков // Збірник наукових праць Національного гірничого університету. – Дніпро. – 2018. – №54 – С. 19–28.

26. Азарян В.А. Контроль и управление качеством рудопотоков железорудных горно-обогатительных комбинатов / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2018. – Вип.46. – С. 159–163.

27. Азарян В.А. Дослідження процесів стабілізації амплітудних коливань якості рудопотоків залізорудних кар'єрів / В.А. Азарян, С.О. Жуков // Вісник Житомирського державного технологічного університету : наук. журнал. – Житомир. – 2018. – Вип.1(81). – С. 240–245.

28. Азарян В.А. Розвиток теорії управління якістю рудопотоків залізорудних гірничо-збагачувальних комбінатів / В.А. Азарян, С.О. Жуков //

Вчені записки Таврійського національного університету ім. Вернадського : наук. журнал. – Київ. – 2018. – Т.29(68). №3 – С. 89–94.

29. V. Azaryan "The Methodology of Use of the Mobile Crushing-and-Sorting Radiometric Complex in the Iron-Ore Pit", Solid State Phenomena, Non Traditional Technologies in Mining Industry Vol.277, p. p. 90–99, 2018.

*Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:*

30. Азарян В.А. Обоснование геометрических и технологических параметров устройства ПАКС-4М для оперативного контроля качества товарной руды и продуктов обогащения / А.А. Трачук, В.А. Азарян // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (III; 2007; Варна, Болгария): III Международная конференция (1-8 июня 2007 г.): материалы : / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2007. – Т.1. – С. 487–491.

31. Азарян В.А. Применение методов оперативного контроля для повышения эффективности систем управления качеством в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Материалы VII Конгресса обогатителей стран СНГ, 2–4 марта 2009 г. [Электронный ресурс]. – Москва. – 2009. Режим доступа: Studmed.ru\_materialy-vii-kongressa-obogatiteley-stran-sng\_a3c9caa8595.rar.

32. Азарян В.А. Пути повышения точности оперативного контроля качества железорудного сырья / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук // Іноземна мова як засіб мобільності майбутніх фахівців у контексті болонської декларації : матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 18.03.2010 р. : тези доп. – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2010. – С. 106–107.

33. Азарян В.А. Управление качеством в рудопотоках железорудных карьеров Украины / В.А. Азарян // "Стратегия качества в промышленности и образовании", международная конференция (VI; 2010; Варна, Болгария): VI Международная конференция (4-10 июня 2010 г.): материалы : в 2-х т. / М-во образ. и науки Украины, НМетАУ, ГИПОпром [и др.]. – Днепропетровск; Варна, 2010.– С. 52–57.

34. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс (МДСРК) / В.А. Азарян // IX Конгресс обогатителей стран СНГ. (26.02 – 01.03.2013 г.) // Сб. материалов Т.1. – М.: МИСиС, 2013. – С. 47–50.

35. V.A. Azaryan "Model of sway stabilization of actual grade recovered from an ore after processing in the pit" European Science and Technology : materials of the V international research and practice conference, Vol. 1 Munich, October 3-4, 2013 / publishing office Vela Verlag Waldkraiburg – Munich – Germany, 2013. – p. p. 331–336.

36. Азарян В.А. Разработка функциональной и структурной схемы технологии управления качеством рудопотоков / В.А. Азарян // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference "The goals of the World Science 2017" (January 31, 2017, Dubai, UAE). сб. тр. №2(18), Vol.1, February 2017. – С. 20–24.

37. Азарян В.А. Анализ структурных особенностей породных массивов как фактора формирования грансостава и качества взорванной горной массы / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Розвиток промисловості та суспільства : научн. конф., 24–26 травня 2017 р. : тези доп. – Кривий Ріг, 2017. – С. 27.

38. Азарян В.А. Интегральный поток интенсивности рассеянного гамма-излучения как функция от параметров геометрии измерения / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.Н. Гриценко, А.А. Трачук // Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference "Modern Scientific Achievements and Their Practical Application" (October 31, 2017, Dubai, UAE). сб. тр. №11(27), Vol.1, November 2017. – С. 18–24.

39. Азарян В.А. Розробка й обґрунтування критерію, враховуючого при доробці кар'єру співвідношення витрат на утримання власної РЗФ ГЗК і прибутку від реалізації збагаченої продукції / В.А. Азарян, С.О. Жуков // 2-а Міжнародна науково-технічна інтернет-конференція «Іноваційний розвиток гірничодобувної галузі», 2017: тези доп. – Кривий Ріг, 2017. – С. 81.

*Наукові праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:*

40. Азарян В.А. Разработка системы оперативного контроля качества железорудного сырья в условиях горно-обогатительных комбинатов Украины / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог : Минерал, 2005. – С. 143–148.

41. Азарян В.А. Анализ методов оценки управления качеством в рудопотоках карьеров / В.И. Бурка, В.А. Азарян, П.Д. Могилевский // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. — Кривой Рог : Минерал, 2008. – С. 240–243.

42. Азарян В.А. Разработка функциональной схемы управления качеством в рудопотоках карьеров с целью повышения эффективности работы / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. — Кривой Рог : Октан-принт, 2011. – С. 60–63.

43. Азарян В.А. Комплексная система контроля и управления качеством в рудопотоках карьеров / В.А. Азарян // Комбинированные технологии разработки месторождений глубокими карьерами и шахтами : сб. науч. тр. – Кривой Рог : Дионат, 2012. – С. 145–152.

44. Азарян В.А. Информационное обеспечение автоматизированной системы контроля качества при добыче железорудного сырья в условиях карьеров / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.Н. Гриценко и др.] // Інженерія програмного забезпечення : наук. журнал. Національний авіаційний університет – Київ. – 2012. – №2 (10). – С. 17–25.

45. Азарян В.А. Модель системы управления качеством рудопотока карьера с использованием теории управления / В.А. Азарян // Качество минерального сырья : сб. науч. тр. – Кривой Рог : Дионат, 2014. – С. 101–112.

46. Азарян В.А. Исследование влияния качества рудопотока железорудного карьера на прибыль горно-обогатительного комбината / В.А. Азарян // Гірничий вісник : наук.-техн. зб. – Кривий Ріг. – 2015. – Вип.100. – С. 58–61.

47. Азарян В.А. Система контроля и управления качеством в рудопотоках железорудных карьеров / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2016. – Вип.41. – С. 170–173.

48. Азарян В.А. Моделирование в горном деле : учебное пособие / А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.А. Трачук. – Кривой Рог : Дионат, 2016. – 272 с.

49. Азарян В.А. Исследование парных операционных перегрузочных узлов в цепи стабилизации качества при формировании бинарного рудопотока / С.А. Жуков, В.А. Азарян // Науково-дослідний гірничо-рудний інститут ДВНЗ «Криворізький національний університет» Технічні науки : зб. наук. пр. – Кривий Ріг : ДВНЗ «КНУ», 2017. – Вип.56. – С. 173–181.

50. Азарян В.А. Мобильный дробильно-сортировочный радиометрический комплекс как часть технологии управления качеством рудопотоков карьера / В.А. Азарян // Вісник Криворізького національного університету : зб. наук. пр. – Кривий Ріг. – 2017. – Вип.45 – С. 3–7.

51. Пат. №36662 Україна, G01R 33/12. Пристрій для автоматичного визначення вмісту магнетитового заліза на конвеєрі / Азарян А.А., Азарян В.А., Дрига В.В., Лісовий Г.М., Цибулевський Ю.Є., Шаров В.В., Швидкий О.В.; заявл. 29.12.07; опубл. 10.11.08, Бюл. №21.

52. Пат. 50668 Україна, G01R 33/12. Система автоматичного контролю і керування масовою часткою магнітного заліза у конвеєрному рудопотоці / Азарян А.А., Азарян В.А., Мордовін Д.М., Кучер В.Г., Цибулевський Ю.Є.; заявл. 02.11.09; опубл. 25.06.10, Бюл. №12.

53. Пат. №73793 Украина, G 06Q 50/02. Система оперативного контролю якості товарної руди при відвантаженні споживачам / Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А.; заявл. 18.03.12; опубл. 10.10.12, Бюл. №19.

54. Пат. №85053 Украина, B07B 1/00. Мобільний подрібнювально-сортувальний пристрій / Азарян А.А., Азарян В.А., Цибулевський Ю.Є.; заявл. 26.04.13; опубл. 11.11.13; Бюл. №21.

55. Пат. №78996 Україна, G01N 23/203. Пристрій оперативного контролю керування технологічними параметрами при переробці мінеральної сировини / Азарян А.А., Азарян В.А., Трачук А.А., Серебренников Е.В.; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.13; Бюл. №7.

56. Пат. №78997 Україна, E21C 41/22. Спосіб усереднення двох типів руд з різним вмістом заліза магнітного / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, В.Г. Кучер та ін.]; заявл. 17.09.12; опубл. 10.04.13; Бюл. №7.

57. Пат. №95477 Україна, E21B 43/00. Спосіб ідентифікації рудних потоків / Вілкул Ю.Г., Азарян А.А., Ступнік М.І., Моркун В.С., Азарян В.А.; заявл. 04.07.2014; опубл. 25.12.14; Бюл. №24.

58. Пат. №111622 Україна, E21C 41/26. Спосіб комбінованого відокремлення порід від масиву при відкритих гірничих роботах / Азарян В.А., Качан Д.О.; заявл. 14.07.14; опубл. 25.11.16; Бюл. №22.

59. Пат. №119777 Україна, G01V 5/00. Пристрій оперативного контролю вмісту корисного компонента у мінеральній сировині / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник та ін.]; заявл. 05.04.17; опубл. 10.10.17; Бюл. №19.

60. Пат. №119778 Україна, G01N 23/203. Спосіб визначення вмісту чорних і важких металів у порошкових пробах руд / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник та ін.]; заявл. 05.04.17; опубл. 10.10.2017; Бюл. №19.

61. Пат. №123234 Україна, G01V 5/12. Свердловинний пристрій для селективного гамма-гамма каротажу / [А.А. Азарян, В.А. Азарян, А.М. Гриценко, В.В. Дрига, Д.Ю. Мірошник та ін.]; заявл. 05.04.17; опубл. 26.02.2018; Бюл. №4.