

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет

АЗАРЯН ВОЛОДИМИР АЛЬБЕРТОВИЧ

УДК 622.012:658.5:622.68

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

05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Кривий Ріг – 2019

Дисертацією є рукопис.

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

Науковий консультант доктор технічних наук, професор
Жуков Сергій Олександрович,
Криворізький національний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри відкритих гірничих робіт.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Собко Борис Юхимович,
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри відкритих гірничих робіт;

доктор технічних наук, професор
Соболевський Руслан Вадимович,
Житомирський державний
технологічний університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри маркшейдерії;

доктор технічних наук, професор
Четверик Михайло Сергійович,
Інститут геотехнічної
механіки імені М.С. Полякова НАН України,
завідувач відділу геомеханічних основ
технологій відкритої розробки родовищ.

Захист відбудеться «22» березня 2019 р. о 13:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 09.052.02 у Криворізькому національному університеті Міністерства освіти і науки України за адресою: 50027, м. Кривий Ріг, вул. В. Матусевича, 11, ауд. 345, тел. (056) 409-06-23

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Криворізького національного університету Міністерства освіти і науки України за адресою: 50002, м. Кривий Ріг, вул. Пушкіна, 37.

Автореферат розісланий «15» лютого 2019 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 09.052.02,
кандидат технічних наук, доцент



М.Б. Федько

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Проблема управління якістю рудопотоків актуалізувалася наприкінці ХХ 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 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 руду, 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 «Криворізький національний університет»: «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 залізрудних кар'єрів Кривбасу» (ініціативна прикладна НДР № ДР 0116U001808).

Мета і задачі дослідження. *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 задачі 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 прогностичних 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 залізвмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК.

9. Розробити алгоритм оцінки ефективності застосування технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків в умовах залізрудних 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 залізвмісної 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.

Реалізація цієї ідеї вимагає розробки і теоретичного обґрунтування технології управління якістю залізвмісної 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 дослідження. 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 залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів України.

Наукова новизна одержаних 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 рудозбагачувальних фабрик (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 одержаних 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 видобувні забої 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 технолого-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 одержаних 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-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, обґрунтовував критерії оцінки ефективності, 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.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету, ідею та задачі досліджень, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладено основні наукові положення, що виносяться на захист, новизну та практичне значення одержаних результатів, наведено інформацію про апробацію результатів дисертаційної роботи.

У **першому розділі** досліджено стан проблеми управління якістю руд в умовах відкритих гірничих робіт, виконано критичний огляд й узагальнення систем організації вантажопотоків і управління ними, а також – гірничотранспортної диспетчеризації, що дозволило зробити висновки: основним їхнім недоліком є відсутність системно взаємозв'язаного в масштабах всього ГЗК оперативного контролю якості руди і управління формуванням інтегрованого рудопотоку, тому в існуючій конфігурації вони не в змозі забезпечити належний рівень управління його якістю та формування рудопотоку з в.к.к. в гарантованому діапазоні. Це є однією з причин значних амплітудних коливань якості як в загальнокар'єрних, так і в фінальному рудопотоці ГЗК.

На рис. 1 наведено фактичні значення коливань в.к.к. рудопотоку кар'єра № 3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

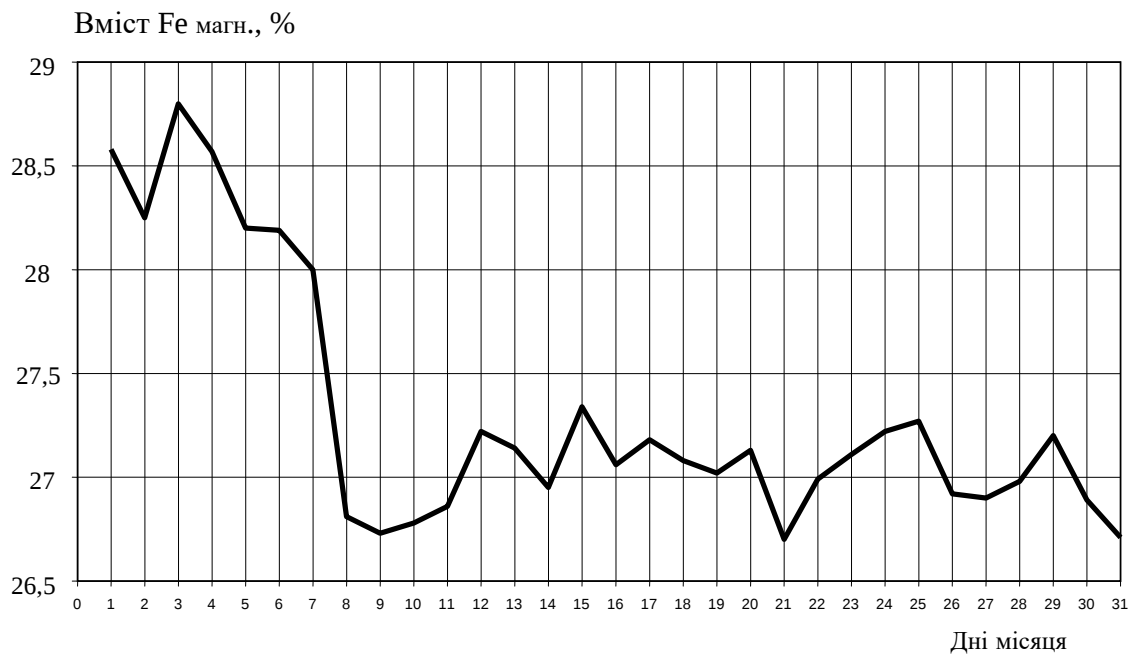


Рис. 1. Коливання в.к.к. рудопотоку кар'єра № 3 Гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг» в січні 2012 р.

Аналіз фізико-хімічних властивостей залізорудної сировини родовищ України свідчить про складну і неоднорідну будову рудних тіл, що є однією з причин значних коливань якості рудопотоків. Зроблено висновок про не повну відповідність геолого-інформаційного і маркшейдерського супроводу гірничих робіт вимогам технології управління якістю рудопотоків, що підвищує роль додаткової розвідки масиву з використанням каротажу.

Аналіз існуючих засобів контролю якості в залізорудних кар'єрах дозволив зробити висновок, що вони не забезпечують необхідного рівня інформації про в.к.к., оскільки не охоплюють усі етапи й ланки гірничого виробництва. Відсутність надійних каналів зв'язку для передачі даних на центральний сервер інформаційно-обчислювального центру також знижує їх ефективність.

Визначено, що пропонована технологія управління якістю залізозмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК об'єднує в собі рішення ряду локальних завдань:

- створення нових технічних засобів контролю і сортування сировини;
- створення нових і модернізацію існуючих каналів надійного зв'язку для передачі інформації про результати оперативного контролю якості на центральний сервер інформаційно-обчислювального центру (ІОЦ);
- забезпечення дискретного оперативного контролю якості в забоях методами геофізичного опробування і безперервного контролю якості в рудопотоці з метою отримання достовірних даних про в.к.к. (рис. 2);

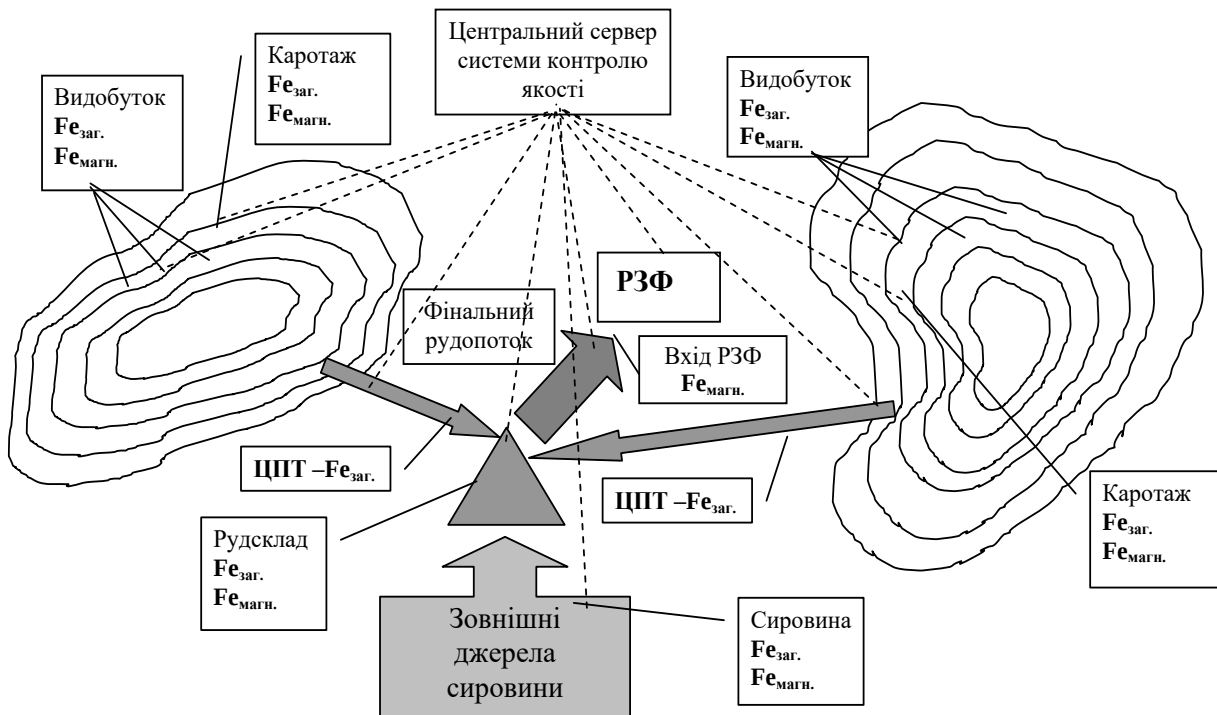


Рис. 2. Система контролю якості залізрудного ГЗК

- створення об'єднаних каналів надійного зворотного зв'язку диспетчерського пункту кар'єру з екскаваторами і автосамоскидами з метою керування процесом формування рудопотоків;
- програмне коригування навантаження при відхиленні якості в забоях від розрахункового значення, або в рудопотоці – від планового;
- оптимізацію процесу збагачення за рахунок стабілізації якісних показників фінального рудопотоку, що позитивно вплине на режим енергозберігання, дозволить понизити собівартість кінцевої продукції і підвищити прибуток ГЗК.

Обґрунтовано висновок, що генералізація технології управління якістю рудопотоків в масштабі ГЗК та об'єднання рішення локальних завдань буде сприяти розробці загального алгоритму функціонування усієї системи управління як єдиного цілого.

Другий розділ присвячено обґрунтуванню напряму досліджень, методологічній побудові досліджень; у ньому наведено структурну схему дисертаційної роботи, розвинуто ідею, покладену в основу досліджень, та

сформульовано прийняті робочі гіпотези. Визначено основні методи розрахунків, принципи дії та характеристики використаних апаратних засобів, лабораторних й інструментальних методів і методик визначення точності вимірювань та достовірності отриманих результатів.

Третій розділ включає дослідження залежностей і класифікацію факторів, які впливають на точність оперативного контролю й ефективність управління якістю рудопотоків. При цьому досліджено чинники, що впливають на точність контролю в масиві при каротажі свердловин, в забої після підривання і в потоці рудної маси на конвеєрній стрічці.

Для залізних руд України є характерним високий кореляційний зв'язок між щільністю ρ і вмістом загального заліза $Fe_{\text{заг.}}$, що є сприятливою передумовою для застосування гамма-гамма каротажу.

На достовірність визначення $Fe_{\text{заг.}}$ гамма-гамма методом при опробуванні забоїв кар'єру істотний вплив чине природна вологість гірських порід. Залежність впливу вологості та гранулометричного складу на точність контролю вмісту $Fe_{\text{заг.}}$ в забоях кар'єру наведено на рис. 3.

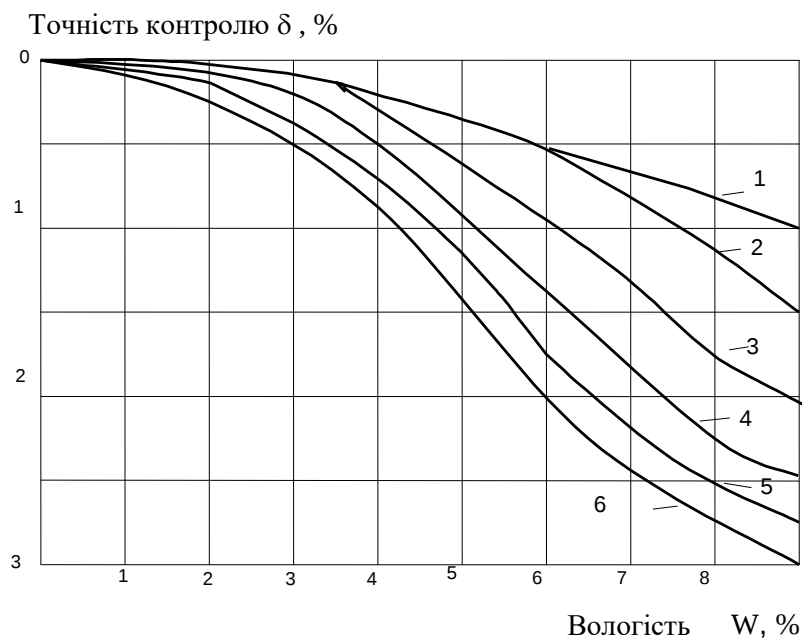


Рис. 3. Залежність точності контролю вмісту $Fe_{\text{заг.}}$ від вологості та гранулометричного складу гірничої маси: 1 – $d \leq 200$ мм, $q \leq 46$ %; 2 – $d \leq 100$ мм, $q \leq 46-58$ %; 3 – $d \leq 50$ мм, $q \leq 30-35$ %; 4 – $d \leq 20$ мм, $q \leq 40-50$ %; 5 – $d \leq 10$ мм, $q \leq 50-60$ %; 6 – $d \leq 5$ мм, $q \leq 50-60$ %

Залежність доводить, що зміна вологості гірських порід на рівні 2÷4 % перебуває в межах точності метода вимірювання і не потребує введення поправок на вологість.

Одним із дієвих способів визначення вмісту загального заліза в потоці на конвеєрній стрічці є селективний гамма-гамма метод. При використанні цього методу на точність виміру впливають чинники, обумовлені:

– неоднорідністю хімічного (мінералогічного) складу маси, що вміщує корисний компонент;

- неоднорідністю мінералогічного складу корисного компонента, що контролюється (наприклад, залізо може бути в з'єднаннях – FeO , Fe_2O_3 , Fe_3O_4);
- різною вологістю контрольованого матеріалу;
- коливаннями щільності матеріалу;
- неоднорідністю гранулометричного складу сировини;
- непостійністю геометричних умов виміру відбитого від поверхні гірничої маси випромінювання (наприклад, при зміні товщини її шару);
- імовірнісним характером розпаду радіонукліда в джерелі випромінювання і статистичним характером розподілу квантів в потоці первинного випромінювання, що опромінює гірничу масу.

У результаті досліджень отримано залежність інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання від відстані між поверхнею шару рудної маси і джерелом випромінювання (рис. 4).

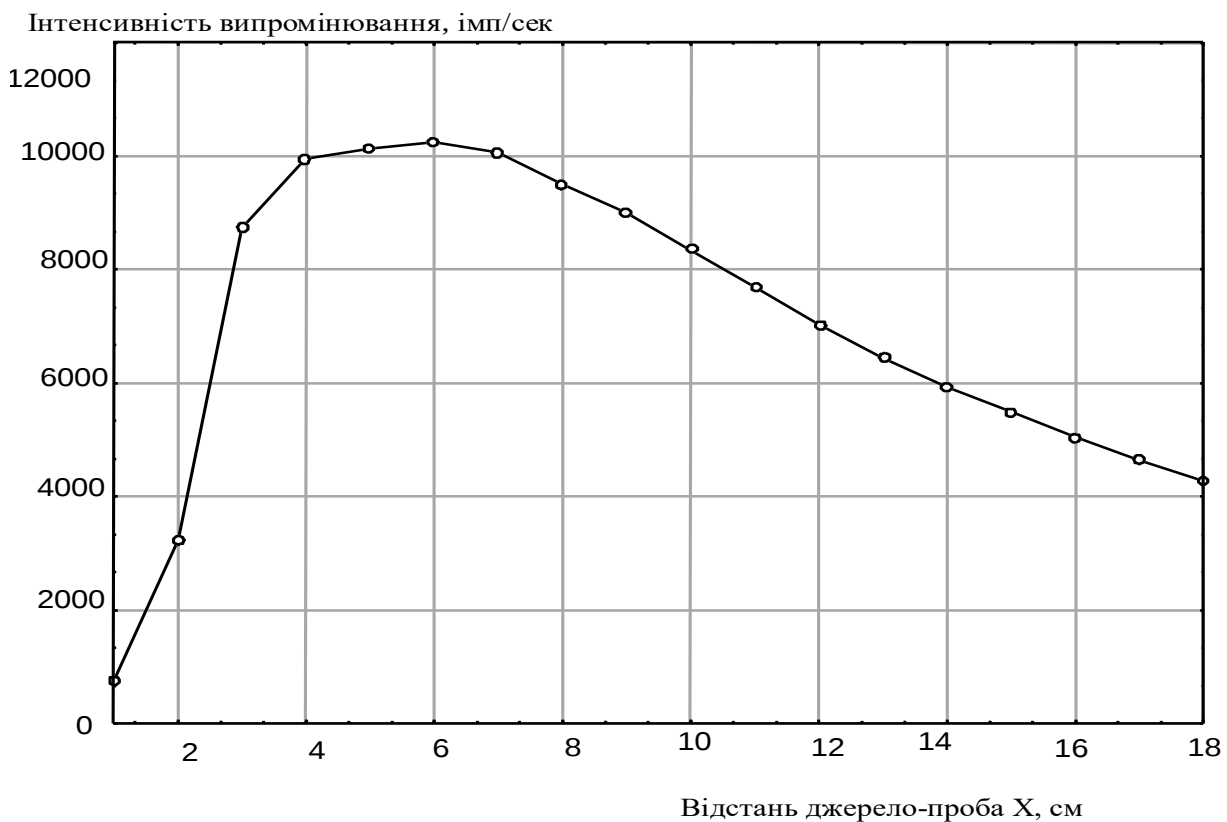


Рис. 4. Залежність інтенсивності розсіяного гамма-випромінювання від відстані між джерелом випромінювання і рудною масою

Аналіз отриманої залежності показує, що при зміні товщини повітряного шару в межах 3 см похибка у вимірах в.к.к. не перевищує $\pm 1\%$, за більших значень вона досягає $7\div 8\%$.

У **третьому розділі** досліджено технологічні фактори, що впливають на якісні характеристики рудопотоків, розглянуто вплив нестабільності якості мінеральної сировини на показники збагачення, а також досліджено вплив в.к.к. рудопотоків на техніко-економічні показники ГЗК.

Вірогідність формування рудопотоку, що відповідає розрахунковим значенням, залежить від декількох основних показників:

- співвідношення мінімального і максимального значень в.к.к. в підготовлених рудних забоях;
- загальна кількість рудних забоїв з в.к.к., що відповідає розрахунковому вмісту в рудопотоці;
- задана величина середньоквадратичного відхилення, тобто фактично – гранична величина амплітуди допустимих коливань якості в рудопотоці.

Встановлено, що внаслідок амплітудних і часових коливань сировинної якості рудопотоків ГЗК Кривбасу щорічно втрачають близько 990 тис. т концентрату. Фінансові втрати від цього складають 64,4 млн дол. США в цінах квітня 2016 р., або 1,650 млрд грн.

Одним зі способів згладжування амплітудних коливань якості залізорудної сировини є застосування методу парного розвантаження автосамоскидів, метою якого є стабілізація показників якості в рудопотоках кар'єру за рахунок одночасного розвантаження транспортних засобів, що доставляють руду із забоїв з максимальним і мінімальним вмістом корисного компонента.

У цьому ж розділі побудовано математичні моделі залежності прогнозного прибутку комбінатів від СКВ в.к.к. фінальних рудопотоків. Відомо, що процес подрібнення на РЗФ є найбільш витратним при збагаченні залізних руд (до 70 % від усієї собівартості збагачення), а собівартість збагачення займає основну частину в структурі собівартості ГЗК (в середньому – 60 %). 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 СКВ.

Принцип формування моделі ґрунтується на наступних основних положеннях: прибуток підприємства є функцією від витрат, ціни реалізації, річного обсягу видобутку корисної копалини і виходу концентрату. При цьому застосовувалися граничні умови: загальний обсяг рудопотоку визначається можливостями РЗФ щодо переробки руди і є заданою величиною (з урахуванням періодичних коливань); згідно з технологічними вимогами, рівень в.к.к. в рудопотоці після усереднення має відповідати заданій величині, яка оптимізована згідно вимог збагачувального виробництва та технологічних можливостей видобувного комплексу; обмеження за обсягом розкритих та підготовлених до виймання запасів залізорудної сировини з урахуванням критичних значень; обмеження обсягів руди, що доставляються локальними рудними вантажопотоками за можливостями транспортного комплексу.

Залежності, аналогічні представленим на рис. 5 для ПрАТ «Інгuleцький ГЗК», які побудовані за даними табл. 1, були отримані для усіх залізорудних ГЗК України.

Аналіз графіків дозволив зробити висновок, що амплітудні коливання якості у фінальному рудопотоці у діапазоні СКВ = 1, що відповідає 3 % в.к.к., зумовлюють падіння річного прогнозного прибутку ГЗК на 10÷12 %. Таким

чином, одним з шляхів підвищення прибутку ГЗК є формування фінального рудопотоку комбінату з показниками в.к.к. у заданому діапазоні.

Таблиця 1

Прогнозний прибуток ПрАТ «Інгулецький ГЗК» за різних показників СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ, млн грн

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

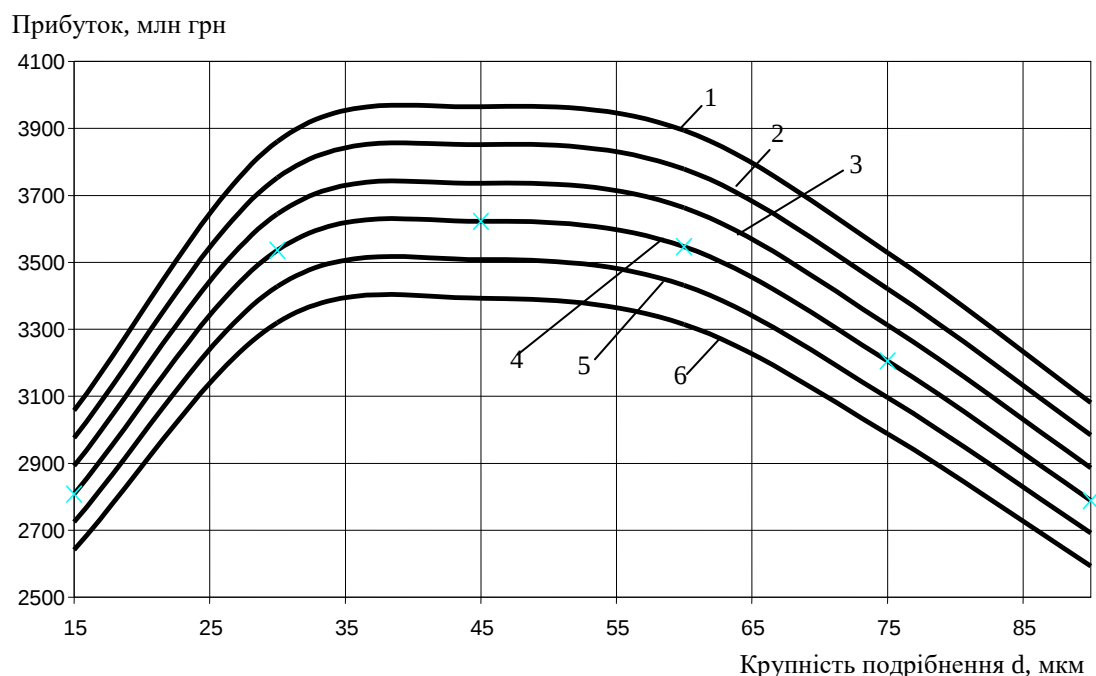


Рис. 5. Залежність прогнозного прибутку ПрАТ «ІнГЗК» за різних показників СКВ в.к.к. фінального рудопотоку з урахуванням крупності подрібнення РЗФ:

1 – СКВ = 0,1 $y = -0,0001x^4 + 0,0345x^3 - 3,755x^2 + 173,13x + 1199,80$;

2 – СКВ = 1 $y = -0,0001x^4 + 0,0335x^3 - 3,6467x^2 + 168,05x + 1171,80$;

3 – СКВ = 2 $y = -0,0001x^4 + 0,0326x^3 - 3,5448x^2 + 163,04x + 1143,80$;

4 – СКВ = 3 $y = -0,0001x^4 + 0,0319x^3 - 3,4631x^2 + 158,77x + 1107,50$;

5 – СКВ = 4 $y = -0,0001x^4 + 0,0308x^3 - 3,3525x^2 + 1153,69x + 1079,30$;

6 – СКВ = 5 $y = -0,0001x^4 + 0,0302x^3 - 3,2723x^2 + 149,33x + 1045,50$

Четвертий розділ дисертації присвячено розробці математичних моделей процесів формування загальних рудопотоків кар'єрів і ГЗК.

Сучасний залізорудний кар'єр є складною системою з розвиненою ієрархічною структурою. Схема системи управління (СУ) з точки зору теорії управління об'єктом управління (ОУ) має вигляд залежності:

$$F(\vec{X}, \vec{W}) = \vec{Y}. \quad (1)$$

Ця залежність у загальному випадку невідома і визначається неконтрольованими збуреннями. Загальний обсяг рудопотоку визначається технологічними можливостями РЗФ і є заданою величиною:

$$\sum_{k=1}^N m_k = m_0, \quad (2)$$

де m_0 – заданий на вході РЗФ для переробки обсяг загального рудопотоку, т;

m_k – обсяг локального рудопотоку, що транспортується з k -го забою, т.

У свою чергу, згідно з технологічними вимогами, в.к.к. в рудопотоці після усереднювання повинен відповідати заданій величині, тобто має місце рівність за сировинною якістю у видобутій руді та в загальному рудопотоці:

$$\sum_{k=1}^N c_k m_k = m_0 c_0, \quad (3)$$

де c_0 – заданий вміст корисного компонента в рудопотоці після усереднення;

c_k – вміст корисного компонента в локальному рудопотоці з k -го забою.

Звичайною вимогою є також обмеження обсягів руди, які транспортуються з видобувних забоїв у вигляді локальних рудопотоків:

$$0 \leq m_k \leq \bar{m}_k, \quad (k = 1, 2, \dots, N), \quad (4)$$

де $\bar{m}_k$ – максимально обсяг рудопотоку, що транспортується з k -го забою, т.

Формули (2), (3) і (4) представляють математичну модель, яка є основою системи управління якості рудопотоку кар'єра. Можливе інше формулювання цієї математичної моделі, в якій умова замінюється обмеженнями по амплітуді коливань в.к.к.:

$$c_{\min} m_0 \leq \sum_{k=1}^N c_k m_k \leq c_{\max} m_0, \quad (5)$$

де $c_{\min}$, $c_{\max}$ – найменша і найбільша допустимі величини в.к.к. рудопотоку.

Відомо, що СУ функціонує за умов спостережності, керованості і досяжності.

Приклад рішення задачі з використанням математичної моделі СУ якості рудопотоків показав, що вірогідність формування рудного вантажопотоку кар'єра із заданим діапазоном коливань в.к.к. складає $P=0,823$.

Розроблена в цьому ж розділі методика стабілізації амплітудних коливань в.к.к. в рудопотоці кар'єру з використанням мінімаксного коефіцієнта «minimax» дозволила визначити необхідні додаткові обсяги руди для шихтовки. Стабілізація амплітуди коливань в.к.к. в рудному потоці може бути досягнутою обмеженням його відхилень :

$$c_{\min} < c_1 < c_{\max}. \quad (6)$$

Якщо рудопотік має фактичний в.к.к. c_1 , який є вищим за максимально задану величину вмісту $c_{\max}$, то для виконання умови $c_1 < c_{\max}$ необхідно при його формуванні додати з резервного забою або усереднювального складу обсяг руди з в.к.к., який визначається умовою:

$$M_0 \geq \frac{c_1 - c_{\max}}{c_{\max} - c_0} \cdot M_1. \quad (7)$$

Якщо рудопотік обсягом M_1 має в.к.к. c_1 нижчий мінімального вмісту c_{min} , то для виконання нерівності $c_1 > c_{min}$ необхідно при формуванні рудопотоку додати з резервного забою або усереднювального складу обсяг руди масою M_0 з вмістом c_0 :

$$M_0 \geq \frac{c_{min} - c_1}{c_0 - c_{min}} \cdot M_1. \quad (8)$$

Диференціюючи (7) і (8) за часом, знаходимо умови, що накладаються на обсяги руди з різним вмістом корисного компонента для вирішення поставленого завдання:

$$Q_0 \geq \frac{c_1 - c_{max}}{c_{max} - c_0} \cdot Q_1 \quad (9) \quad \text{або} \quad Q_0 \geq \frac{c_{min} - c_1}{c_0 - c_{min}} \cdot Q_1. \quad (10)$$

Другу частину четвертого розділу присвячено обґрунтуванню періоду опробування забоїв кар'єру: на основі статистичних даних і за критерієм мінімізації втрати інформації, а також – дослідженням впливу періоду опробування на показник прибутку ГЗК.

Формування рудопотоку полягає в розподілі обсягів видобутку між забоями з різними показниками в.к.к. на весь період робочої зміни. При цьому апіорно вважається, що забої починають роботу одночасно і працюють усю зміну без зупинок.

Другим допуском є постійне значення в.к.к. в кожному окремо взятому забої впродовж усієї зміни. Насправді ж продовж зміни відбуваються істотні відхилення від первинного розрахунку, що суттєво впливає на якісні характеристики загальнокар'єрного та фінального рудопотоку ГЗК.

На сьогодні в залізорудних кар'єрах України служби технічного контролю роблять виміри в.к.к., використовуючи наявну у них апаратну базу і виходячи при цьому, передусім, з технічних можливостей пристроїв контролю якості. Період зняття інформації про в.к.к. (опробування) математично і технологічно не є обґрунтованим.

Для отримання достовірної і своєчасної інформації про в.к.к. в забоях необхідно визначати інтервал проведення опробування, виходячи, насамперед, з масиву наявних статистичних даних. Згідно із загальним підходом для чисельного аналізу в.к.к. в руді, виміри вмісту $c(t)$ як безперервного в часі, необхідно робити через деякий фіксований інтервал Δ . Отримані таким чином дискретні значення потім будуть використані для обчислень і їх можна розглядати як результат множення первинного безперервного часового ряду $c(t)$ на ряд часу $i(t)$, який складається з безкінечного ряду дельта-функцій:

$$i(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - n\Delta). \quad (11)$$

Виходячи зі статистики вимірювання в.к.к. та з урахуванням коливань Fe_{mag} у забоях, може бути обґрунтованим період опробування без втрати необхідної інформації та без зниження якісних характеристик сформованого рудопотоку. Ця методика може бути застосовна на усіх залізорудних кар'єрах, де є відповідний статистичний матеріал про в.к.к. у видобувних забоях. Для

рудопотоку, сформованого шляхом змішування руди із забоїв, втрата інформації про величину середньоквадратичного відхилення обчислюється за формулою:

$$\delta\sigma_c = \frac{1}{\sigma_c \cdot \pi} \cdot \sum_{k=1}^3 \mu_k^2 D[C_k] \cdot \left(\frac{\pi}{2} - \arctg\left(\frac{2\pi}{\alpha_k \Delta_k}\right) \right). \quad (12)$$

Збільшення інтервалу між опробуванням видобувних забоїв призводить до лінійного збільшення втрати інформації про величину СКВ в.к.к. фінального рудопотоку.

Наприклад, для ПАТ «Полтавський ГЗК», залежності величини прогнозного прибутку ГЗК від СКВ в.к.к. фінального рудопотоку можуть бути апроксимовані формулою:

$$\Pi = 2425 - 71,24\sigma_c + 17,4d - 0,2535d^2, \quad (13)$$

де Π – прибуток, млн грн, σ_c – СКВ, %, d – крупність подрібнення, мкм.

Абсолютне зниження величини прогнозного прибутку ГЗК від зміни дискретності опробувань в забоях складе (рис. 6):

$$\delta\Pi = 71,24 \left(1,33 - 0,85 \cdot \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right) \right), \quad (14)$$

$$\text{та відносне зниження } \frac{\delta\Pi}{\Pi} = \frac{94,75 - 60,55 \cdot \arctg\left(\frac{188,6}{\Delta}\right)}{\bar{\Pi}} \cdot 100\% \quad (15)$$

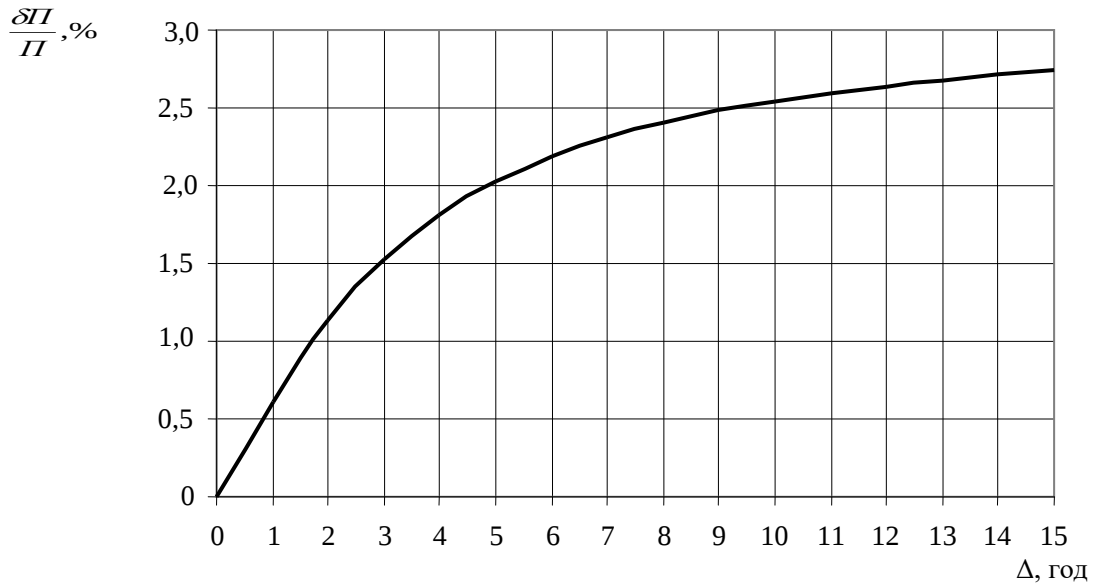


Рис. 6. Графік залежності зниження показника прогнозного прибутку ГЗК від дискретності вимірювання в.к.к. в забоях кар'єру ПАТ «Полтавський ГЗК»

Розроблена методика дозволяє обґрунтувати період опробування рудних забоїв кар'єру, знизити втрати інформації про в.к.к., сформулювати рудопотік із заданими якісними характеристиками і збільшити показники прибутку ГЗК.

П'ятий розділ дисертації зосереджено на мобільному дробильно-сортувальному радіометричному комплексі (МДСРК), що розглядається як складова частина технології управління якістю рудопотоків ГЗК.

Доцільність застосування МДСРК в умовах відкритих розробок залізорудних родовищ ґрунтується на необхідності підвищення якості руди, що надходить із забоїв приконтатної зони «руда-порода», на які припадає найбільший відсоток засмічення руд. Руда з цих забоїв значно погіршує якість і стабільність в.к.к. фінального рудопотоку, що надходить на збагачення.

Схему формування рудопотоку кар'єру з використанням МДСРК наведено на рис. 7.

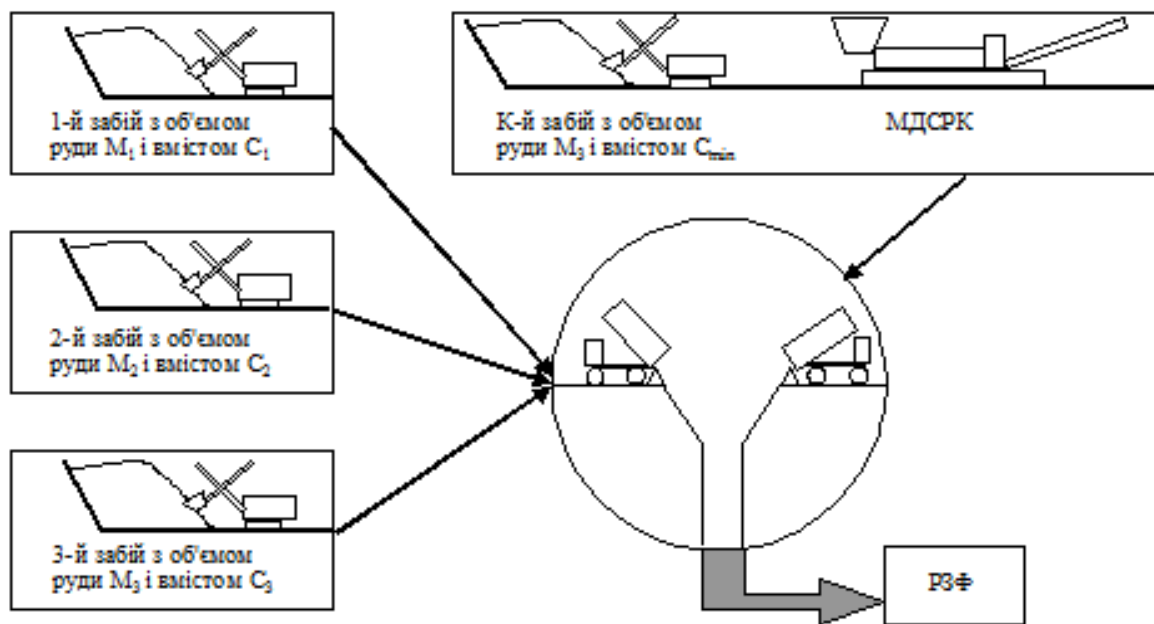


Рис. 7. Схема формування рудопотоку кар'єру з використанням МДСРК

МДСРК є синергією мобільного дробильного комплексу і радіометричного сепаратора, сумарний ефект від якої полягає в можливості сепарації в найбільш наближеній до забою зоні за встановленим порогом сортування на підставі ознаки бінарності рудної маси, яка визначається за співвідношенням показників ефективного атомного номера руди та породи.

Основною технологічною перевагою МДСРК є мобільність, яка дозволяє йому переміщатися за посуванням забою; рудна маса, що виймається, завантажується безпосередньо в приймальний бункер комплексу. При цьому не потрібна додаткова транспортна ланка, знижуються витрати за рахунок відсутності необхідності в капітальних спорудах.

Першим технологічним завданням МДСРК є відсікання некондиційної гірничої маси з метою виключення її з подальшого транспортування, дроблення і участі в процесі збагачення. Другим технологічним завданням МДСРК є підвищення в.к.к. в рудній масі і стабілізація амплітудних коливань якості загального рудопотоку кар'єру.

МДСРК, відповідно до функціональної схеми (рис. 8), складається з приймального бункера 1, віброживильника 2, дробарки 3, віброгрохота 4, конвеєра 5, джерела іонізуючого випромінювання 6, датчика випромінювання 7, блоку обробки сигналу 8, виконавчого пристрою (шибера) 9, рудного відсіку бункера 10, породного відсіку бункера 11, рудного конвеєра 12, породного конвеєра 13. Всі складові частини МДСРК змонтовано на загальному шасі серійного мобільного дробильно-сортувального комплексу.

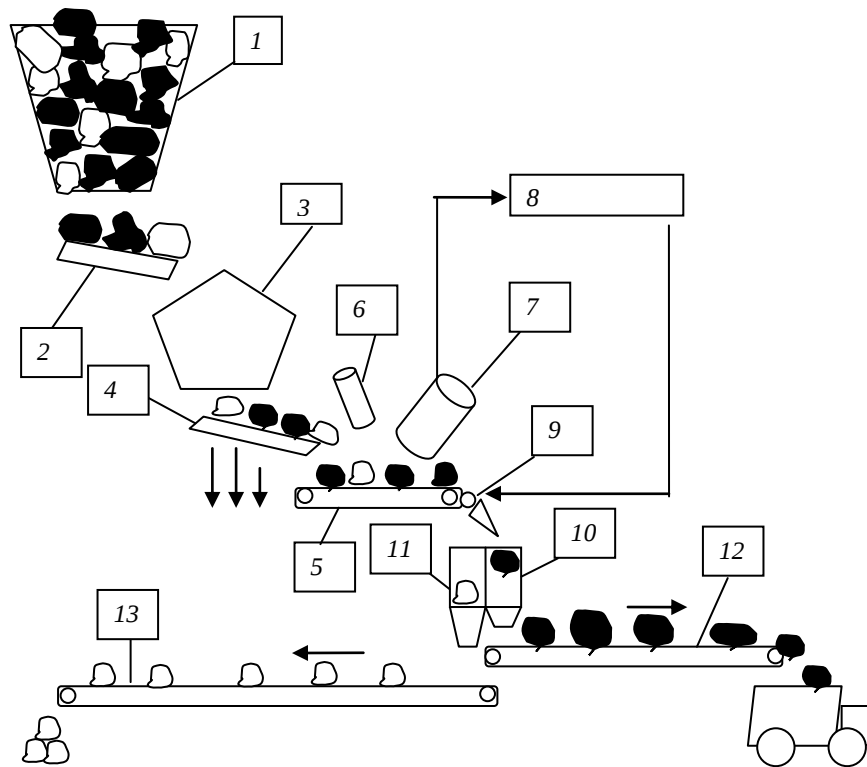


Рис. 8. Функціональна схема МДСРК

Слід зазначити, що МДСРК призначений для переробки не всього обсягу рудної маси в забої, а лише тієї частини, яка є найбільш засміченою за рахунок перемішування з пустою породою при виконанні буровибухових робіт у видобувних блоках приконтантної зони родовища.

В якості технологічної платформи пропонується використовувати мобільні дробильні комплекси серійного виробництва «Terex Finlay» J-1160 або «Lokotrack» LT110, які мають паспортну продуктивність до 200 т/год. Фактична продуктивність МДСРК регламентується технічними характеристиками радіометричного сепаратора.

Прототипами радіометричного модуля для МДСРК є сепаратори РАС-2 і РС-2Ж, розроблені в науково-дослідній лабораторії контролю якості КНУ і випробувані на різних типах руд Кривбасу.

Принципову схему сепаратора РАС-2 було використано як елемент рудопідготовчого комплексу в проекті ДП «ДП «Кривбаспроект»» для гірничого департаменту ПАТ «АрселорМіттал Кривий Ріг».

На випробуваннях радіометричного модуля РАС-2 із засміченої руди було отримано підвищення вмісту корисного компонента (заліза загального) за рахунок відсікання пустої породи з 41,7–42,2 до 54–58,5 % (табл. 2).

Таблиця 2

Результати випробувань радіометричного сепаратора РАС-2 на залізних рудах

Вхідна руда		Руда після сепарації			Пуста порода		Витяг	Приріст вмісту
Fe, %	SiO ₂ , %	Вихід, %	Fe, %	SiO ₂ , %	Вихід, %	Fe, %	Fe _{заг.} , %	Fe _{заг.} , %
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

В умовах залізорудного кар'єру запропоновано наступну технологічну схему: МДСРК 3 розташовується за екскаватором 1 (рис. 9). Навантаження рудної маси в автосамоскиди 2 з частини забою, де показники в.к.к. в межах норми, ведеться в звичайному режимі, а при обміні транспорту екскаватор здійснює завантаження бункера комплексу з тієї частини забою, де засмічення руди пустою породою є максимальним.

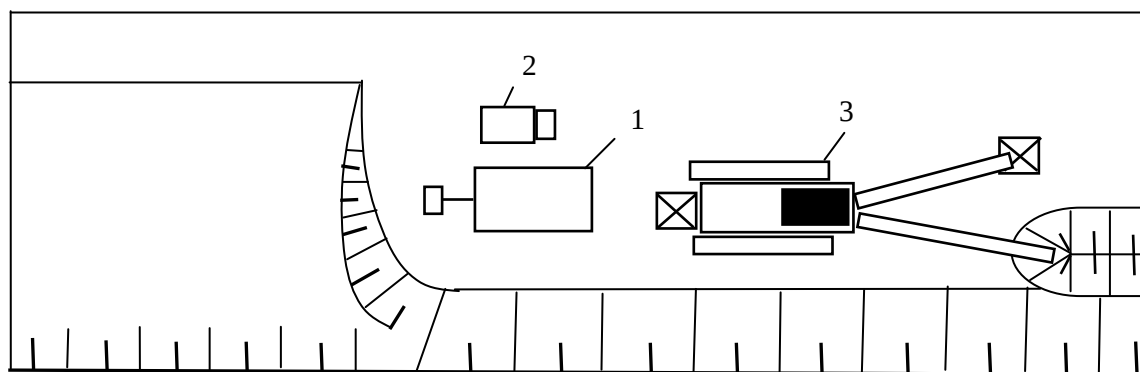


Рис. 9. Схема відпрацювання забою кар'єра із застосуванням МДСРК

Процес сепарації йде безперервно, під розвантажувальною консоллю комплексу знаходиться рудний бункер, з якого періодично проводиться завантаження руди після сепарації в автосамоскиди. При цьому коефіцієнт використання екскаватора зростає, тому що під час обміну автосамоскидів він продовжує працювати, завантажуючи бункер комплексу.

Шостий розділ дисертації присвячено розробці функціональних схем, алгоритмізації технології управління якістю рудопотоків ГЗК, структурну схему якої наведено на рис. 10, а також обґрунтуванню концепції створення технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудопотоків.

Відповідно до структурної схеми радіонавігаційний комплекс 1 використовується для прийому-передачі інформації з різних точок опробування – в забоях і в рудопотоці, а також для контролю стану всього комплексу технологічного обладнання.

Основною вимогою до радіонавігаційної комплексу (РНК) є висока швидкість передачі інформації і її перешкодозахищеність. Інформаційно-

обчислювальний комплекс (ІОК) 2 обробляє інформацію відділу технічного контролю (ВТК) про стан якості руд в забоях 6, про стан працездатності виймального і транспортного обладнання 3, і після обробки формує первинний керуючий сигнал у вигляді змінного завдання на видобувні забої 5.

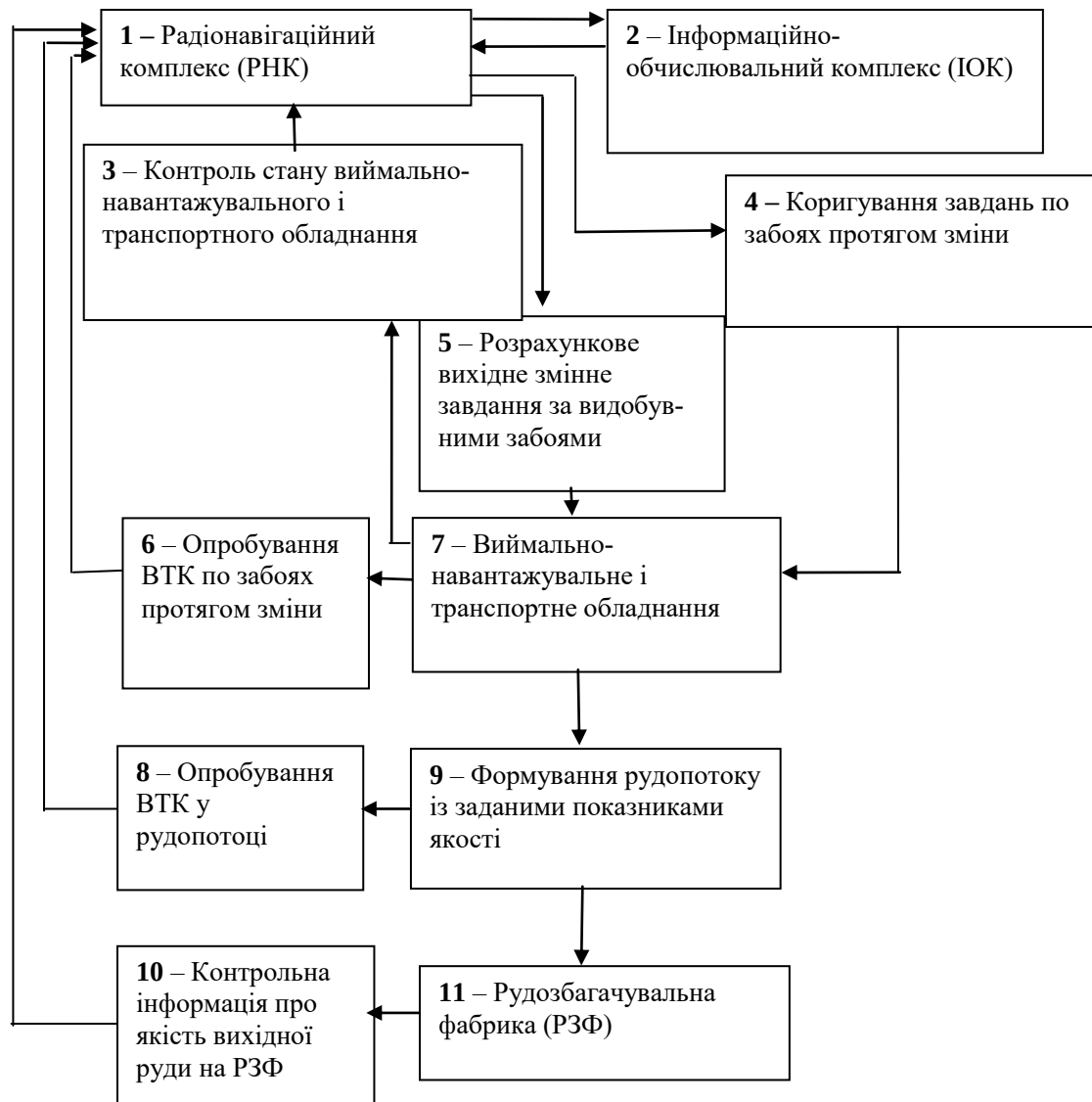


Рис. 10. Структурна схема технології управління якістю заліззовмісної сировини ГЗК

При формуванні рудопотоку 9 відбувається безперервний контроль якості, що полягає у визначенні відповідності фактичного значення в.к.к. заданому значенню в амплітудному діапазоні коливань 8. Ці дані через РНК 1 або лінії кабельного зв'язку передаються на центральний сервер ІОК 2, де також піддаються обробці.

У разі, якщо значення в.к.к. в рудопотоці виходить за межі заданого діапазону за певний час, або при виході з ладу 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 і автосамоскиди 7. Додатковою точкою контролю є вхідна руда на РЗФ 11.

Розроблений алгоритм технології управління якістю наведено на рис. 11. Він враховує стан забоїв; фактичні показники якості – в.к.к.; 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. Вихідними даними є задане значення в.к.к. в рудопотоці і мінімаксий коефіцієнт «minimax», що обмежує величину амплітуди коливань якості в потоці руди; також врахований період опробування забоїв кар'єра.

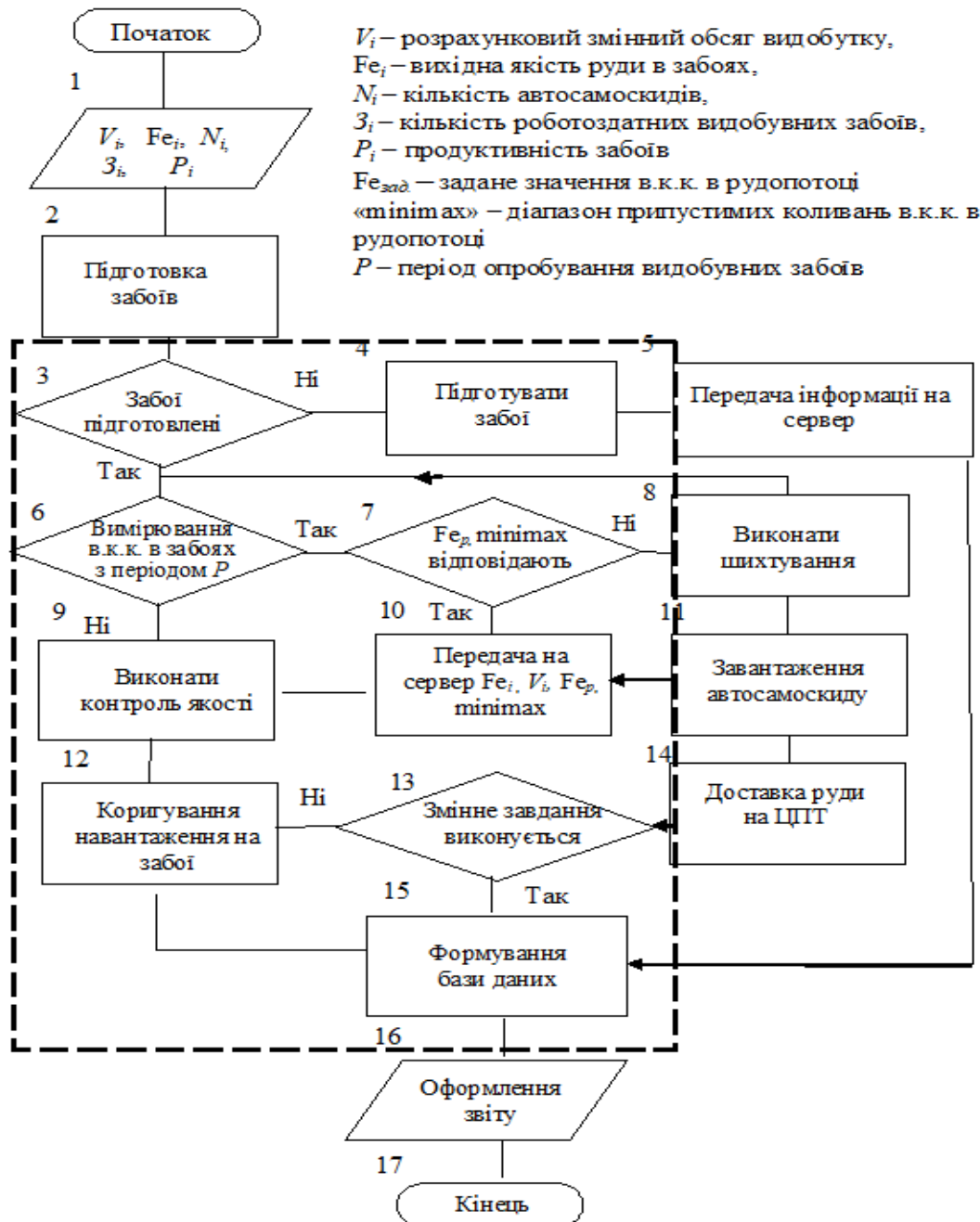


Рис. 11. Блок-схема алгоритму технології управління якістю рудопотоків ГЗК

Вирішення технологічних задач по формуванню рудопотоків із заданими якісними показниками дозволяє в подальшому створити технологію управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудопотоків, що об'єднує засоби і системи контролю на всіх етапах виробництва

і переробки з метою забезпечення необхідного обсягу фінального рудопотоку при заданих значеннях в.к.к.

Аналіз перспектив гірничо-збагачувальних комбінатів України свідчить про те, що більшість з них пропрацюють з проектною продуктивністю 15÷20 років, після чого вона почне знижуватися: або внаслідок доопрацювання покладів руд, або граничних за глибиною горизонтів кар'єрів. Тому неминуче виникне проблема зниження завантаження збагачувальних фабрик пропорційно падінню видобутку.

Запропоновану концепцію генералізації комплексу управління інтегрованими рудопотоками, яка має ешелоновану по вертикалі ієрархію і групується за просторово-технологічними зонами і вимогами щодо якості сировини в багаторівневу структуру, схематично представлено на рис. 12.

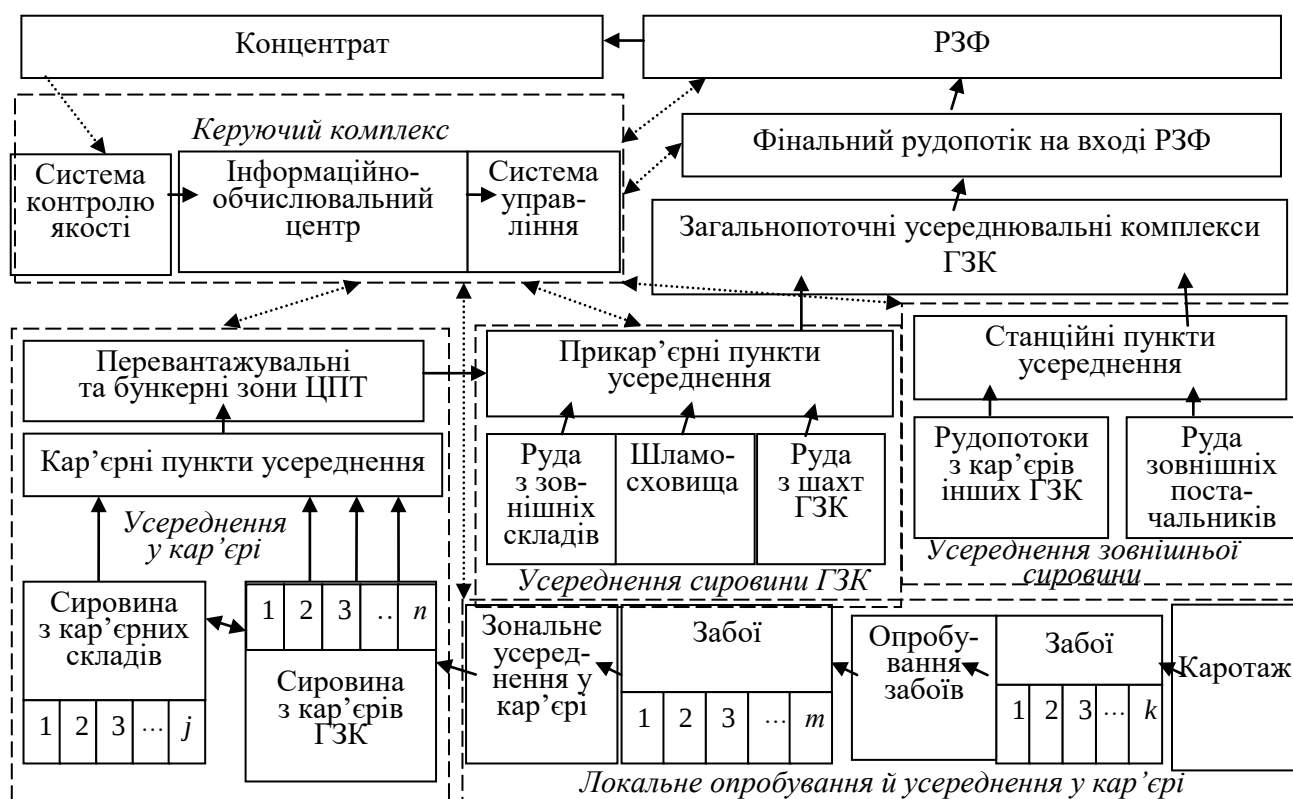


Рис. 12. Концептуальна схема технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудопотоків

Фактором управління якістю рудопотоків при цьому стає можливість в разі доцільності включення в генералізований комплекс рудопотоків ГЗК не тільки сировини з власних джерел, але також з інших комбінатів басейну та зовнішніх постачальників.

Також в шостому розділі розроблено комплексний критерій оцінки ефективності управління якістю рудопотоку кар'єра F_1 . Цей критерій дозволив пов'язати між собою показники вмісту корисного компонента сформованого рудопотоку, фактичного обсягу руди, що спрямовується на збагачення, виходу концентрату і собівартості збагачення:

$$F_1 = |1 - k_{\text{оп}}| \cdot \gamma_p \cdot Q_p \cdot C_4, \quad (16)$$

де k_{op} – коефіцієнт організації рудопотоку; γ_p – вихід концентрату; Q_p – обсяг фінального рудопотоку; C_4 – собівартість збагачення.

Також в шостому розділі розглянуто вплив в.к.к. фінального рудопотоку ГЗК на показник ефективності збагачення та побудовані відповідні залежності. Встановлено: чим більшим є значення СКВ в.к.к. в фінальному рудопотоці ГЗК – тим нижче показник ефективності збагачення.

Сьомий розділ дисертаційної роботи містить аналіз доцільності застосування генералізованої технології управління якістю рудопотоків в умовах залізрудних комбінатів України.

Обґрунтування застосування розробленої технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК ґрунтується на твердженні: збільшення прибутку гірничо-збагачувального комбінату є можливим за рахунок стабілізації показників в.к.к. вхідної руди збагачення в заданому граничному діапазоні, що, в свою чергу, базується на математичній моделі залежності величини прогнозного прибутку від амплітуди коливань якості фінального рудопотоку.

Встановлено, що при застосуванні технології управління якістю генералізованого комплексу рудопотоків коливання в.к.к. знижуються до меж встановленого діапазону, що забезпечує дотримання комплексного критерію оцінки ефективності управління рудопотоку F_1 .

Алгоритм економічної оцінки можливості застосування технології управління якістю рудопотоків зводиться до порівняння сумарної величини капітальних витрат на створення цієї технології з величиною додаткового прибутку ГЗК.

ВИСНОВКИ

Дисертацію присвячено вирішенню актуальної науково-практичної проблеми забезпечення заданого рівня якості та мінімізації амплітудних коливань вмісту корисного компонента рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом генералізації управління сировинною якістю фінальних рудних вантажопотоків ГЗК, яка трансформується в сукупність 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.

Реалізацію ідеї, мети і завдань роботи досягнуто за рахунок розробки концепції, функціональної і структурної схем технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків, її алгоритмізації та обґрунтування комплексного критерію оцінки ефективності формування фінального рудопотоку F_1 , що зв'язує воедино показники відповідності якісних характеристик сформованого рудопотоку, фактичного обсягу руди, що направляється на збагачення, виходу концентрату і собівартості збагачення; отримання залежностей точності контролю й ефективності управління якістю від властивостей гірничої маси та технологічних факторів в умовах відкритих гірничих робіт, отримання залежностей прогнозного значення

прибутку від амплітуди коливань вмісту корисного компонента рудопотоку і від періоду опробування забоїв кар'єру, а також розробки авторського мобільного дробильно-сортувального комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків, з відповідним теоретичним обґрунтуванням, побудовою функціональних схем і алгоритмів роботи.

За результатами досліджень сформульовано й обґрунтовано наступні наукові висновки:

1. Виконано аналіз існуючих методів формування рудопотоків залізородних 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 залізозмісної 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 залізородних 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 залізородних 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÷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 залізрудних родовищ, яке ґрунтується на необхідності підвищення якості руди, що надходить із забоїв приконтальної 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 залізовмісної 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 складаються в хвостосховищах.

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. Развитие теории управления качеством рудопотоков железорудных горно-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, 2018, pp. 90–99

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. – pp. 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 Україна, B07B 1/00. Мобільний подрібнювально-сортувальний пристрій / Азарян А.А., Азарян В.А., Цыбулевский 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., Серебrenиков 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. Свєрдловинний 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.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві: [3, 41, 44] – обґрунтовано методи оцінки ефективності управління якістю рудних вантажопотоків і планування роботи комплексної системи управління якістю кар'єрів та гірничо-збагачувальних комбінатів; [4, 51, 52,] – досліджено особливості умов та обґрунтовано способи оперативного контролю заліза, що пов'язане з магнетитом, в потоці на конвеєрній стрічці; [6, 10, 11, 32, 53] – досліджено та обґрунтовано методи і способи контролю та управління якістю в умовах гірничо-видобувних та переробних підприємств з метою підвищення в.к.к., зниження втрат та виключення некондиційної гірничої маси з подальшого процесу збагачення; [7] – досліджено методи переробки техногенних родовищ з використанням методів оперативного контролю якості мінеральної сировини; [8] – отримано залежності для визначення оптимального розміру монокристалу NaI, що використовується для реєстрації інтегрального потоку гамма-випромінювання при оперативному контролі вмісту заліза загального; [9, 17] – досліджені методи оперативного контролю вмісту заліза загального в потоці на конвеєрній стрічці і фактори, що впливають на точність визначення в.к.к.; [16, 23] – розроблено математичну модель залежності між інтервалом зняття

інформації про сировинну якість в забоях кар'єру і показником прогнозного прибутку ГЗК; [18, 19, 28] – сформульована ідея, мета та завдання генералізованої в масштабах ГЗК технології управління сировинною якістю рудних вантажопотоків; [21, 48] – обґрунтовано необхідність визначення оптимального періоду опробування забоїв та запропоновано методику його розрахунку; [22] – розроблено концептуальну схему генералізованого в масштабах ГЗК комплексу рудопотоків; [25] – розроблено математичну модель та отримано залежності між сировинною якістю фінального рудопотоку та показником прогнозного прибутку ГЗК; [27, 49] – визначені умови та особливості парного розвантаження автосамоскидів з метою стабілізації показників якості при формуванні бінарного рудопотоку в залізорудному кар'єрі; [30, 38, 55] – з використанням розробленої математичної моделі досліджено вплив геометричних параметрів зони виміру на точність контролю вмісту загального заліза; [37] – виконано аналіз структурних особливостей породних масивів як фактора формування гранулометричного складу і сировинної якості підірваної гірничої маси в умовах залізорудних кар'єрів; [39] – розроблено критерій, що враховує при доробці кар'єру співвідношення витрат на утримання власної РЗФ ГЗК і прибутку від реалізації збагаченої продукції; [54] – сформульовано ідею, розроблено принципову, функціональну схеми та алгоритм роботи мобільного дробильно-сортувального радіометричного пристрою; [56] – сформульовано принцип усереднення двох типів руд з різним вмістом заліза магнітного в умовах залізорудного ГЗК; [57] – визначено і обґрунтовано критерії ідентифікації рудних потоків в умовах ГЗК; [58] – обґрунтовано принцип комбінованого відокремлення гірських порід при відкритій розробці; [59] – розроблено і обґрунтовано структурно-функціональну схему пристрою оперативного контролю в.к.к. в мінеральній сировині; [60] – обґрунтовано принцип визначення вмісту чорних і важких металів у порошкових пробах руд; [61] – визначено і обґрунтовано параметри зони виміру свердловинного пристрою для селективного гамма-гамма каротажу в умовах залізорудних кар'єрів.

АНОТАЦІЯ

Азарян В.А. Технологіко-теоретичні засади управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин. – Криворізький національний університет 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 рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів шляхом генералізації управління якістю залізовмісної сировини фінальних рудопотоків ГЗК, яка виглядає як об'єднання всіх засобів контролю,

сортування і мікширування руд в єдиний, технологічно домінуючий в масштабі всього комбінату комп'ютеризований комплекс, підпорядкований загальній цільовій алгоритмізації.

В роботі проведено аналіз існуючих методів формування рудопотоків ГЗК та на його основі зроблено висновок, що відсутність достовірних відомостей про в.к.к. в забоях і в потоці значно знижує ефективність роботи систем гірничо-транспортної диспетчеризації, а відсутність каналів надійного зв'язку для оперативної передачі даних на центральний сервер мінімізує технологічну цінність відомостей про вміст в руді корисного компонента.

Досліджено фактори та встановлено залежності точності контролю та ефективності управління якістю від властивостей гірничої маси та технологічних факторів в умовах відкритих розробок. Отримано залежності прогнозного прибутку гірничо-збагачувальних комбінатів від коливань якості фінальних рудопотоків.

На основі теорії управління розроблено математичну модель формування рудопотоку залізорудного кар'єру з гарантованим діапазонним значенням вмісту корисного компонента. Досліджено та обґрунтовано залежність впливу періоду опробування забоїв кар'єра на прибуток ГЗК.

Теоретично обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків та доведено, що його використання дозволяє отримати технологічний, економічний, енергозберігаючий та екологічний ефект за рахунок підвищення вмісту корисного компонента та стабілізації коливань якості фінального рудопотоку.

Розроблено концептуальну та функціональну схему і виконано алгоритмізацію технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК, яка охоплює весь технологічний комплекс гірничо-збагачувального комбінату та формує фінальний рудопоток як з власних, так й зовнішніх джерел.

Удосконалено теорію оцінки ефективності управління якістю рудопотоків шляхом розробки комплексного критерію F_1 , розроблено алгоритм технологічного та економічного обґрунтування застосування технології управління якістю рудопотоків.

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

АННОТАЦИЯ

Азарян В.А. Технологическо-теоретические основы управления качеством железосодержащего сырья генерализованного комплекса рудопотоков горно-обогатительных комбинатов – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.15.03 – открытая разработка месторождений полезных

ископаемых. – Криворожский национальный университет Министерства образования и науки Украины, Кривой Рог, 2019.

Диссертация посвящена решению актуальной научно-практической проблемы обеспечения обусловленного уровня качества и стабилизации амплитудных колебаний содержания полезного компонента рудопотоков горно-обогатительных комбинатов путем генерализации управления качеством железосодержащего сырья финальных рудопотоков ГОКов, которая выглядит как объединение всех средств контроля, сортировки и микширования руд в единый, технологически доминирующий комплекс, подчиненный общей целевой алгоритмизации.

В работе проведен анализ существующих методов формирования рудопотоков ГОКов, который свидетельствует о том, что отсутствие достоверных данных о с.п.к. в забоях и в потоке значительно снижает эффективность работы систем горно-транспортной диспетчеризации, а отсутствие каналов надежной связи для оперативной передачи данных на центральный сервер минимизирует технологическую ценность сведений о содержании полезного компонента.

Исследованы факторы и установлены зависимости точности контроля и эффективности управления качеством от свойств горной массы и технологических факторов в условиях открытых горных работ. Получены зависимости прогнозной прибыли горно-обогатительных комбинатов от колебаний качества финальных рудопотоков.

На основе теории управления разработана математическая модель формирования рудопотока железорудного карьера с гарантированным диапазоном содержания полезного компонента. Исследована и обоснована зависимость влияния периода опробования забоев карьера на прибыль ГОКа.

Теоретически обосновано применение мобильного дробильно-сортировочного радиометрического комплекса как части технологии управления качеством рудопотоков и доказано, что его использование позволяет получить технологический, экономический, энергосберегающий и экологический эффект за счет повышения содержания полезного компонента и стабилизации колебаний качества финального рудопотока.

Разработана концептуальная и функциональная схема, а также выполнена алгоритмизация технологии управления качеством железосодержащего сырья генерализованного комплекса рудопотоков ГОКа, которая охватывает весь технологический комплекс горно-обогатительного комбината и формирует рудопоток как из собственных, так и внешних источников.

Усовершенствована теория оценки эффективности управления качеством рудопотоков путем разработки комплексного критерия F_1 , разработан алгоритм технологического и экономического обоснования применения технологии управления качеством рудопотоков.

Ключевые слова: финальный рудопоток, генерализованный комплекс, качество железосодержащего сырья, содержание полезного компонента, контроль качества, управление качеством, период опробования забоев карьера, амплитуда колебаний качества.

SUMMARY

V.A. Azarian. Technological and theoretical principles of iron-containing raw materials quality management in the generalized ore-mining complexes of ore mining and processing plants. – On the rights of the manuscript.

Doctoral dissertation in the area of Technical Sciences, specialization code number 05.15.03 open development of mineral deposits Kryvyi Rih National University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 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 by means of generalizing the quality control of the iron-containing raw materials of the final ore flows of the ore mining and processing plants. The solution entails combining all the means of control, sorting and mixing of ores into a single, technologically dominant computerized complex, subject to general target algorithmization, dominating the entire scale of the complex.

An analysis of the existing methods of formation of ore flows in the mining and processing plant has been carried out. It showcases that the lack of reliable information about the grade of ore in mining faces and in the ore flows significantly reduces the mining transport dispatching systems' efficiency, and the lack of reliable communication channels for the rapid transfer of data to a central server renders the technological value of information concerning the grade of ore impractical.

This work has revealed the absence of an adequate theoretical solution to when single ore-extraction factory receives ore streams from several quarries, man-made deposits and other sources. The necessity to use the technology of quality control of iron-changing raw materials of the general complex of ore fluxes of the ore dressing mill is provided, which will solve the problems of expanding the raw material base of Ukraine, increasing the competitiveness of the mining industry, building a rational ecological-economic model of iron ore minerals and ensuring their modes of resource and energy conservation. It is established that due to the amplitude and time fluctuations of the finite ore flow quality, the ore dressing mills of Kryvyi Rih iron ore basin lose up to 990 thousand tons of concentrate annually. The financial losses from this amount are 64.4 million USD in April 2016 prices, or – 1,650 billion UAH.

The dependencies existing between the accuracy and efficiency of quality management and the properties of the rock face and technological factors in the conditions of open development have been established. Also the forecast profit for mining and processing plants dependency on quality fluctuations in final ore flows has been obtained in the course of research.

A mathematical model for the formation of iron ore quarry with a guaranteed range of grade of ore value was developed on the basis of the management theory. The dependence between the period of mining faces treatment and the incomes of the mining and processing plant has been investigated and substantiated.

The method of substantiation of the period of measurement of the ore grade in the quarry frames is developed, which is based on statistical data, which allows

determining the optimal period of testing, the duration of which is not accompanied by a decrease in the qualitative characteristics of the formed ore stream.

The application of the mobile crushing and sorting radiometric complex as a part of the management technology in the ore-streams quality is theoretically grounded; it is further proved that its use allows making positive technological, economical, energy-saving and ecological impact by means of increasing the grade of ore and stabilizing the quality fluctuations of the final ore flow.

The algorithm of functioning of the technology of quality control of the iron-containing raw materials of the generalized ore-mining complex of the mining and concentrating plant has been developed. It takes into account the efficiency of the faces, the actual indicators of the content of the useful component, the number of vehicles that provides the formation of ore flow according to the scheme of delivery of discrete volumes of ore and mixing it into the stream, as well as indicators the quality of the final ore flow.

The concept of the generalization of integrated management of ore-streams management complex has an elevated vertical hierarchy and is grouped according to the spatial-technological zones and requirements of the quality of raw materials into a multilevel structure.

The theory of assessment of quality management technology in ore flows has been improved by means of implementation of an integrated variable F_I ; the algorithm for technological and economic substantiation of ore flows quality management technology has also been introduced.

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.

АЗАРЯН Володимир Альбертович

**Технологічно-теоретичні засади управління якістю залізовмісної сировини
генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів**

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин

Підписано до друку 12.02.2019.

Формат 60×84/16. Ум. др. арк. – 2,1. Авт. арк. – 1,9.

Наклад 100 пр.

Друкарня С. Г. Щербенка «Літерія»

вул. Рокоссовського, 5/3, м. Кривий Ріг, 50027

097-192-20-77

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4561 від 13.06.2013 р.