

До спеціалізованої
вченої ради
Д 09.052.02
Криворізького національного
університету

ВІДГУК

**офіційного опонента Собка Бориса Юхимовича
на дисертаційну роботу Азаряна Володимира Альбертовича
«Технологічно-теоретичні засади управління якістю залізовмісної
сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-
збагачувальних комбінатів», спеціальність 05.15.03 – відкрита розробка
родовищ корисних копалин.**

1. Актуальність теми дисертації.

В умовах жорсткої конкуренції на світових ринках залізорудної сировини можливість отримання концентрату з гарантованими показниками вмісту корисного компоненту є дуже актуальною проблемою та має важливе значення для видобувної галузі. Для цього необхідно забезпечити сталий рівень якості у рудному вантажопотоці, тому що оптимальні режими збагачення можуть бути забезпечені тільки за жорстко обмежених відхиленнях вмісту корисного компоненту у фінальному рудопотоці ГЗК, який фактично є вхідною рудою рудозбагачувальної фабрики.

Дотримання планових значень якості у фінальному рудопотоці ГЗК дозволить мінімізувати втрати корисного компонента та отримати ресурсо- й енергозберігаючий ефект.

Тому саме забезпечення планового рівня якості руди та стабілізація амплітудних коливань вмісту корисного компоненту у фінальному рудопотоці ГЗК є важливою, складною і масштабною науково-практичною проблемою.

Відсутність в сучасних умовах оперативного контролю якості на основних технологічних етапах гірничого та переробного виробництва не дозволяє сформувати фінальний рудопоток із гарантованим діапазоном вмісту корисного компонента та є передумовою обґрунтування теоретичних та технологічних засад управління сировинною якістю генералізованого комплексу рудопотоків залізорудних ГЗК.

Враховуючи вищенаведене, дисертаційну роботу Азаряна В.А. і виконаний обсяг досліджень вважаю безумовно актуальними, перспективними та такими, що відповідають сучасним проблемам та тенденціям розвитку залізорудної промисловості України.

2. Наукова новизна роботи полягає в наступному:

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 мінімальним 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 залізозмісної сировини вже на рівні генералізованого комплексу рудопотоків ГЗК на основі встановлених залежностей, які впливають на точність контролю й ефективність даного управління.

3. 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 залізистого сировини генералізованого комплексу рудопотоків в умовах гірничо-збагачувальних комбінатів України, позитивним ефектом від запровадження приладів та систем з контролю якості на гірничовидобувних підприємствах Криворізького залізничного басейну та впровадженні теоретичних розробок у навчальний процес Криворізького національного університету, що підтверджується відповідними актами та довідками.

4. Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що:

1. Розроблено алгоритм роботи й обґрунтовано функціональну схему технології управління якістю залізистого 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 залізистого 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».

5. 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).

6. Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях.

Результати дисертаційної роботи в повній мірі відображені в опублікованих роботах. 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».

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.).

Об'єм та зміст публікацій в повній мірі відповідає вимогам до докторських дисертацій відповідно до «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженою постановою Кабінету Міністрів України.

7. Оцінка змісту та завершеності 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.

Зміст дисертації викладено логічно, чітко, аргументовано, мова лаконічна і зрозуміла, робота має велику кількість супровідних і пояснюючих рисунків, таблиць та додатків, що сприяє чіткому і однозначному розумінню викладеного матеріалу. Стилiстично викладений матеріал і мова тексту дисертації відповідають вимогам, що висуваються до дисертаційних робіт.

Автореферат у повній мірі відображає структуру дисертаційної роботи та за змістом відповідає основним її положенням і висновкам. Оформлення автореферату виконано у відповідності до існуючих вимог. Висновки, наведені у дисертаційній роботі та в авторефераті, є ідентичними.

У **вступі** обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, сформульовано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів дослідження, наведено інформацію щодо апробації результатів дисертації та публікацій.

У **першому розділі** виконано аналіз існуючих систем гірничо-транспортної диспетчеризації та систем контролю якості і на його основі зроблено висновок про те, що не достатній рівень достовірної інформації щодо вмісту корисного компоненту в забоях кар'єру та сформованому рудопотоці внаслідок відсутності в системах гірничо-транспортної диспетчеризації функції оперативного контролю, спеціального програмного забезпечення та надійних каналів для передачі даних, не дозволяє сформувати фінальний рудопоток ГЗК з якістю в межах гарантованого діапазону для забезпечення оптимальних умов збагачення.

У **другому розділі** обґрунтовано напрям досліджень, наведено методологічну побудову досліджень та структурну схему дисертаційної роботи, розвинуто ідею, що положено 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 залізовмісної 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 на основні показники точності контролю якості. Досліджено технологічні фактори, що впливають на формування рудних потоків та вплив нестабільності вмісту корисного компоненту фінального рудопотоку на показники збагачення. Розроблено імітаційну модель та з її використанням отримано залежності для всіх залізородних 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. Розроблено методика визначення періоду опробування забоїв, за яким прогнозний прибуток гірничого підприємства суттєво не знижується.

В **п'ятому розділі** теоретично обґрунтовано застосування мобільного дробильно-сортувального радіометричного комплексу, що виконує функцію з відсікання некондиційної гірничої маси в забоях приконтатної зони «руда-порода» за встановленим порогом сортування як частини технології управління якістю. Застосування комплексу забезпечить отримання технологічного, економічного, енергозберігаючого та екологічного ефекту.

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.

У **висновках** до роботи автором викладено найбільш важливі наукові і практичні результати.

В **додатках** до роботи містяться довідки про застосування приладів та систем з контролю якості, акти випробувань та розрахунок ефективності

застосування технології управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків.

В цілому дисертаційна робота містить всі необхідні розділи, які у достатній мірі розкривають виконані автором дослідження – від змістовного аналізу існуючих теоретичних положень та технічних рішень до конкретних практичних рекомендацій та методик.

8. Зауваження до дисертаційної роботи:

1. При проведенні огляду та узагальненні існуючих систем контролю та управління якістю на відкритих розробках недостатньо уваги приділено аналогічним системам таких країн, як Китай, Бразилія, Австралія.
2. У другому розділі роботи недостатньо акцентовано, що основним недоліком приладів оперативного контролю якості відносно хімічного аналізу є більша похибка вимірів.
3. Яким чином застосування технологій управління сировинною якістю генералізованого комплексу рудопотоків сприяє розширенню сировинної бази України?
4. Автором отримані залежності точності вимірювання вмісту корисного компоненту від вологості рудної маси, але не вказано, яким чином практично компенсується зміна вологості при вимірах якості залізовмісної сировини в умовах відкритих гірничих робіт.
5. Не вказано, як пропонується здійснювати контроль якості рудопотоків із зовнішніх джерел.
6. Для яких конкретно різновидів залізних руд отримані залежності точності контролю вмісту $Fe_{\text{заг.}}$ від фізико-хімічних властивостей гірничої маси (рис. 3.2., с. 137)?
7. Автор пропонує використовувати мобільний дробильно-сортувальний радіометричний комплекс разом з новою технологією комбінованого відокремлення порід від масиву, яка дозволяє більш точно здійснити відбивання руди у приконтатній зоні родовища (с. 280), що призведе до зниження засмічення рудної маси, тому доцільність використання радіометричного комплексу саме в цьому випадку викликає сумніви.

За своїм змістом, поданням теоретичного матеріалу, проведеними дослідженнями та формулюванням висновків, а також загальним рівнем дисертаційна робота Азаряна В.А. відповідає поставленій меті та задачам. Дисертація має завершеність одержаних наукових та практичних результатів, які є достатніми для впровадження на підприємствах України з видобутку залізорудної сировини.

1. Заключна оцінка дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Азаряна В.А. «Технологічно-теоретичні засади управління якістю залізовмісної сировини генералізованого комплексу рудопотоків гірничо-збагачувальних комбінатів» є завершеною науково-дослідною роботою, яку 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 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 ; 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 компоненту рудопотоку і від періоду опробування забоїв кар'єру, а також розробки мобільного дробильно-сортувального комплексу як частини технології управління якістю рудопотоків, з відповідним теоретичним обґрунтуванням, побудовою функціональних схем і алгоритмів роботи.

Викладені мною зауваження суттєво не впливають на мою загальну позитивну оцінку дисертації.

Дисертація відповідає паспорту спеціальності 05.15.03 – Відкрита розробка родовищ корисних копалин.

В загальному висновку дисертаційна робота виконана на достатньому рівні та, незважаючи на зауваження, вона повністю відповідає вимогам п. 9, 10 «Порядку присудження наукових ступенів» Кабінету Міністрів України, а її автор, Азарян Володимир Альбертович, заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.15.03 – відкрита розробка родовищ корисних копалин.

Офіційний опонент,

завідувач кафедри відкритих гірничих робіт

Національного технічного університету

«Дніпровська політехніка»

Міністерства освіти і науки України,

доктор технічних наук, професор



Б.Ю. Собко

Підпис проф. Собка Б.Ю. засвідчую:



Відрук 04.06.2019
Учений секретар: [Signature]
Федюк М.В.