

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Гірничо-металургійний факультет
Кафедра гірничої справи

АВТОРЕФЕРАТ
кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Технології збагачення корисних копалин»
за спеціальністю 184 Гірництво

**на тему «Удосконалення технології збагачення
магнетитових кварцитів ПРАТ «ІнГЗК»
з метою отримання конкурентоспроможного концентрату»**

Здобувач




Олександр СМІРНОВ

Кривий Ріг 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі гірничої справи

Керівник:



МЛАДЕЦЬКИЙ ІГОР КОСТЯНТИНОВИЧ, доктор технічних наук, професор кафедри гірничої справи ТОВ Технічний університет «Метінвест Політехніка»

Захист відбудеться 19 лютого 2024 р. о 13:00 год на засіданні екзаменаційної комісії

(https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_ZDg2Zjg1ZWmtZDNiYS00NDM1LWI1ZGYtM2FiZTUxNDI2ZmM5%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2218592fef-eef7-43e1-afd0-874f3f5e1e4f%22%7d).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» _____ лютого 2025 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність дослідження. Сучасні збагачувальні фабрики являють собою складні висококомеханізовані підприємства, що використовують передові технології для досягнення максимальної ефективності процесу. В Україні одним із найбільших виробників залізорудної сировини є ІНГЗК (Інгулецький гірничо-збагачувальний комбінат), розташований у Кривому Розі. Його основною продукцією є залізорудний концентрат, який використовується в металургійній промисловості.

Залізорудна магнетитова сировина, що видобувається на ІНГЗК, характеризується складною структурою та наявністю значної кількості шкідливих домішок, зокрема діоксиду кремнію, оксидів калію, натрію, магнію та сірки. У порівнянні з продукцією провідних світових виробників, українські агломераційні руди мають вміст заліза на 1,6-2,0% нижчий, а в концентраті цей показник відстає на 4-5%. Це суттєво впливає на конкурентоспроможність продукції, особливо в умовах глобального ринку, де якість залізорудного концентрату є визначальним фактором для його реалізації.

Щоб зберегти свої позиції на світовому ринку та забезпечити стабільний попит на продукцію, ІНГЗК необхідно впроваджувати заходи для покращення якості залізорудного концентрату. Основними напрямками підвищення якості є:

Оптимізація технологічних процесів збагачення – впровадження сучасних методів подрібнення та сепарації, що дозволить збільшити вміст заліза у концентраті.

Зниження рівня шкідливих домішок – застосування новітніх методів флотації та магнітної сепарації для ефективного видалення небажаних елементів.

Модернізація обладнання – оновлення технологічних ліній для підвищення ефективності переробки руди та зниження витрат енергоресурсів.

Автоматизація та цифровізація виробництва – впровадження сучасних систем моніторингу та управління процесами для досягнення стабільно високої якості продукції.

Досягнення високих показників якості залізорудного концентрату є критично важливим завданням для ІНГЗК, оскільки це дозволить не лише підвищити конкурентоспроможність продукції, а й забезпечити економічну стабільність підприємства. Глобальна тенденція до підвищення вимог щодо якості сировини вимагає від українських гірничо-збагачувальних комбінатів вжиття негайних заходів для покращення характеристик залізорудного концентрату, зниження його собівартості та забезпечення відповідності світовим стандартам.

Таким чином, модернізація технологій збагачення та підвищення ефективності виробничих процесів на ІНГЗК є ключовими напрямками для збереження конкурентних позицій української залізорудної продукції на міжнародному ринку.

В кваліфікаційній роботі на основі проведеного аналізу виявлено, що на сьогоднішній день Сировина база комбінату представлена родовищами багатих залізних руд і залізних кварцитів.

Більшість мінералогічних різновидів згрунтовані від складу заліза в концентраті в три технологічних сорта руд: важкозбагачуємі, середньозбагачуємі і легкозбагачуємі. До важкозбагачуємих відносяться магнетито – силікатні кварцити п'ятого сланцевого і магнетитові п'ятого залізного горизонтів.

Легкозбагачуємими являються магнетито – силікатні, силікатно – магнетитові і гематито – магнетитові кварцити другого, третього і п'ятого залізистих горизонтів. Особливо погіршується збагачування кварцитів з гранульованими магнетитами пристосованими до закон тектонічних порушень в північній частині родовища.

Магнетитові і силікатно – магнетитові кварцити третього і другого залізистих горизонтів з невеличким складом магнітного заліза дають низький вихід концентрату, не більше 30%. При збагаченні проб різновидності спостерігаються підвищений вихід сірки в концентраті складає 0,166% (витяг 37,0 – 53,0 %), а для решти не перевищує 0,04% при витягу до 42,8%. При збагаченні залізистих кварцитів в умовах рудозбагачувальних фабрик (РЗФ) зміна середнього вмісту заліза в руді на 1-2% призводить до збільшення витрат на виробництво концентрату на 5-10%.

Сьогодні гірничодобувним підприємствам не завжди вдається забезпечувати стабільний рівень якісних показників товарного концентрату. Руда, що транспортується на РЗФ видобувається з різних вибоїв, горизонтів, частин родовищ, характеризується варіативністю мінерального складу, технологічних властивостей, що спричиняє нестабільність роботи обладнання, коливання показників вилучення цінних компонентів при збагаченні і якості товарних концентратів.

Використання сучасних типів технологічного обладнання та технологій, спрямованих на підвищення продуктивності переробки та збагачення відкриває додаткові можливості для підвищення якості товарної продукції, що виробляє ПРАТ «ІНГЗК».

Ще одною умовою підвищення операційної ефективності експлуатації гірничо-переробного комплексу є впровадження організаційних рішень, що направлені на модернізацію способів управління якістю сировини та товарної продукції.

Значний внесок у розвиток напрямку підвищення якості товарної продукції ГЗК внесли академіки В.Л. Яковлев, В.В. Ржевський; професори А.А. Азарян, В.Ф. Бизов, Ю.Г Вілкул, Т.А. Олійнік, В.Д. Євтехов, П.І. Пілов, І.К. Младецький.

Аналіз літературних джерел, особливостей технологічних процесів, збагачення в частині організації управління процесом на прикладі ПРАТ «ІНГЗК», та виконаних практичних експериментів, свідчить про актуальність проблеми стабілізації та підвищення рівня якості товарної продукції.

Об'єкт дослідження. Визначення класифікацій факторів, що впливають на достовірність вихідних даних, шихтування руди в кар'єрі та якість го-

тового ЖРК, а також розробка і впровадження заходів, які сприятимуть зниженню їхньої долі впливу на якісні характеристики готової продукції.

Мета й завдання роботи. Визначення класифікацій факторів, що впливають на достовірність вихідних даних, шихтування руди в кар'єрі та якість готового ЖРК, а також розробка і впровадження заходів, які сприятимуть зниженню їхньої долі впливу на якісні характеристики готового продукту. Для досягнення поставлених цілей пропонується розробити модель превентивного управління технологією РЗФ-1, яка дозволить на основі первинної інформації прогнозувати якісні характеристики ЖРК та здійснювати коригування технологічного режиму до виникнення неякісної продукції, що дозволить забезпечити стабільність виробничого процесу. Цей проект оцінювано в умовах Інгулецького ГЗК, де автор безпосередньо займався аналізом, моніторингом та розрахунком техніко-економічних показників роботи виробництва. Попередні розрахунки свідчать, що стабілізація процесу дозволить додатково виробляти від 500 до 1000 тонн

ЖРК щомісячно, що матиме значний економічний ефект для комбінату.

Практична новизна: для досягнення поставлених цілей була розроблена модель превентивного управління у системі Кар'єр-РЗФ РЗФ-1, яка дозволить на основі первинної інформації прогнозувати якісні характеристики ЖРК.

Значення роботи. Запропоноване рішення дозволить заздалегідь коригувати технологічні параметри. Таким чином можна буде уникнути випуску некондиційної продукції й досягти стабільності якісних показників ЖРК.

Ключові слова: випробування, збагачуваність руд, якісні показники, планування, усереднення, шихтування, збагачення, превентивне управління якістю.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота складається з реферату, вступу, 3 розділів, які включають 18 рисунків і 27 таблиць, висновків, списку використаних джерел з 25 найменувань. Загальний обсяг роботи становить 87 сторінок.

ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У першому розділі кваліфікаційної роботи детально розглянуто характеристика збагачувальної сировини Інгулецького ГЗК, детально розглянуто мінералогічну будову та технологічні особливості магнетитових кварцитів.

Розділ також характеризує технологічну схему РЗФ-1 та детально обґрунтовує вибір технологічного обладнання.

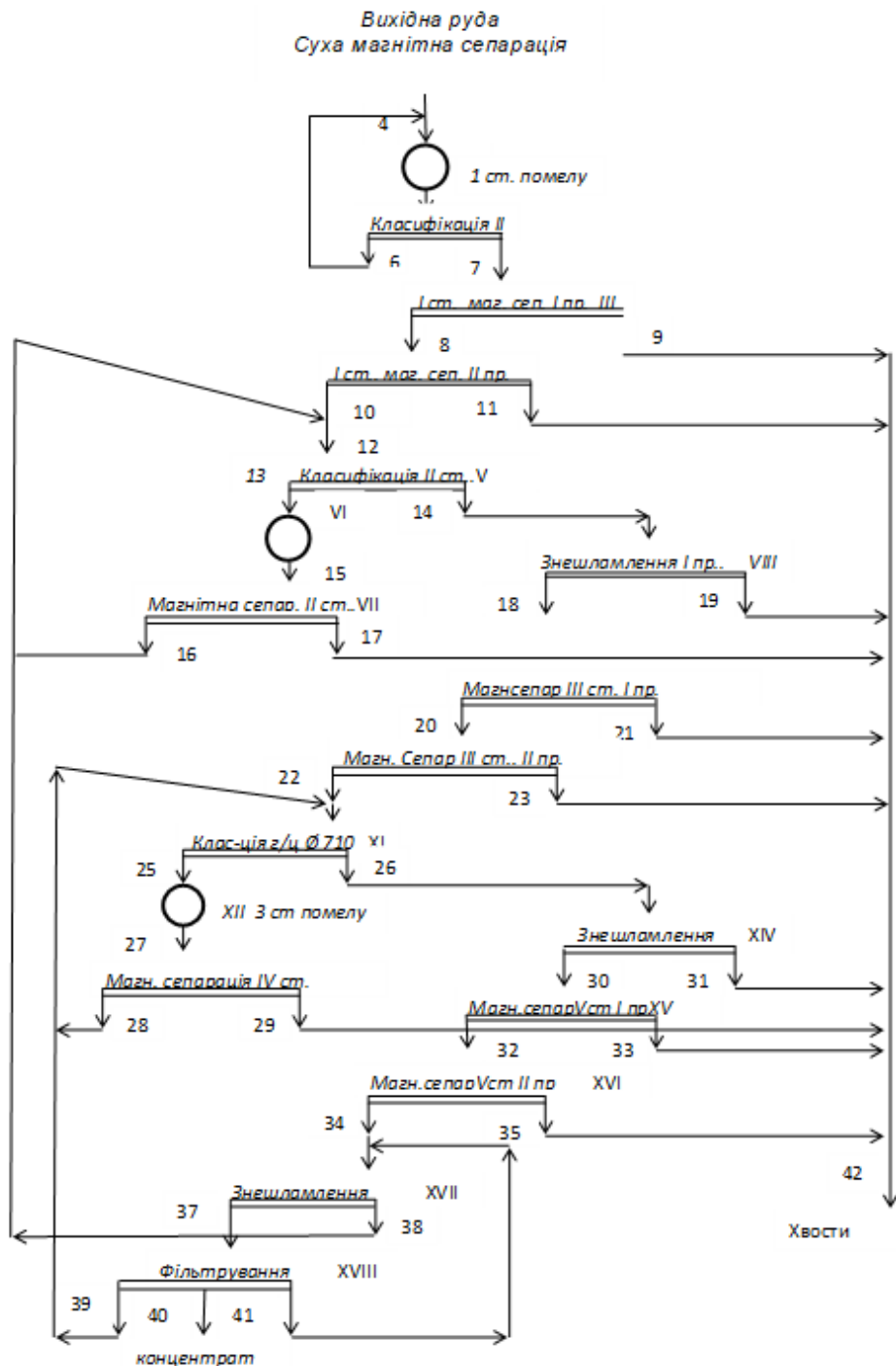


Рис. 1. Технологічна схема РЗФ-1 ПРАТ «ІНГЗК»

Вибір принципової схеми збагачення магнетитових руд визначається характеристиками вкраплення корисних мінералів, пустої породи та мінералів – носіїв шкідливих домішок.

Залізні руди Інгuleцького родовища представлені залістими кварцитами, з мілким та тонким вкрапленням магнетиту, зерна магнетиту знаходяться у зростках з мінералами пустої породи або є мінералами, що містять шкідливі домішки. Для отримання кондиційних по вмісту заліза та шкідливих домішок концентратів руда потребує більш тонкого подрібнення, чим для виділення основної маси хвостів.

У другому розділі оозглянуто удосконалення технологій збагачення залізних руд, враховуючи їхній мінеральний склад та фізико-хімічні властивості. Описано основні проблеми магнітної сепарації, такі як надмірне подрібнення, флокуляція частинок та забруднення концентратів. Запропоновано використання тонкого грохочення для підвищення вмісту заліза у концентраті до 67%, а також флотаційне доведення, що дозволяє отримати високоякісні "суперконцентрати" (понад 70% Fe). Висвітлено перспективи застосування ультразвукового впливу для підвищення ефективності сепарації.

Окрему увагу приділено сухій магнітній сепарації (СМС), яка дає змогу видалити частину пустої породи на ранніх стадіях збагачення, підвищуючи стабільність живлення магнітних сепараторів. Ефективність СМС для магнетитових кварцитів досягається при розмірі часток 20(25)-0 мм, що дозволяє зменшити витрати електроенергії на 8-10% та підвищити масову частку заліза на 2-4%. Застосування СМС на ГЗК Кривбасу демонструє високий рівень вилучення магнетиту (97,5-98,5%).

Дослідження доводять, що комбіноване застосування магнітної сепарації, флотації та додаткових методів (ультразвуковий вплив, тонке грохочення) дозволяє суттєво покращити якість залізорудної продукції та підвищити її конкурентоспроможність.

Зменшення запасів багатих залізних руд і зростання вимог до якості кінцевої продукції сприяють удосконаленню технологій збагачення. Флотаційне доведення є найбільш ефективним методом підвищення масової частки заліза у концентраті до 69% при зниженні вмісту кремнезему до 3%.

Флотаційне доведення дозволяє отримати концентрати високої хімічної чистоти, які використовуються в електросталеплавильному виробництві, акумуляторній промисловості та порошковій металургії (71–71,8% Fe, <1% SiO₂). Технологічні схеми флотації містять основну стадію, іноді контрольну, та дві-три перечистні операції. Вибір конкретного методу залежить від економічної доцільності та характеристик сировини.

У розділі наведено пропозицію щодо вдосконалення системи управління технологічним процесом на РЗФ-1 Інгuleцького ГЗК. Наразі управління здійснюється на основі даних експрес-аналізів з періодичністю раз на дві години, що може призвести до випуску продукції низької якості протягом двох циклів аналізу. Основною проблемою є відсутність превентивного підходу до управління якістю ЖРК. Метою проекту є визначення факторів, які впливають на достовірність вхідних даних і якість готової продукції, а також розробка моделі превентивного управління, яка дозволить прогнозувати показники якості та коригувати технологічні параметри до виникнення інцидентів. Реалізація цієї моделі забезпечить стабільність виробничого процесу і дозволить додатково виробляти від 500 до 1000 тонн ЖРК щомісячно, що позитивно позначиться на економічних показниках комбінату.

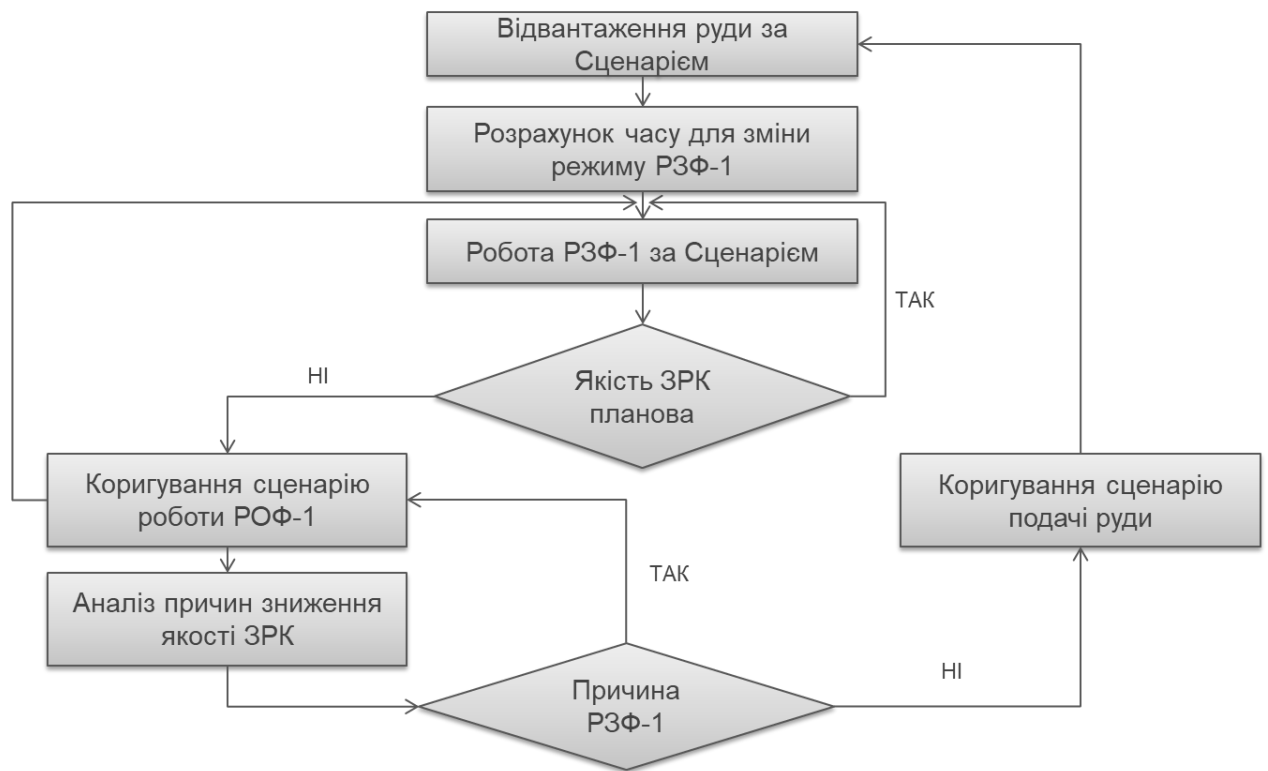


Рис. 2. Модель превентивного управління технологією виробництва ЗРК в умовах РЗФ-1.

У третьому розділі було виконано комплексні розрахунки, спрямовані на аналіз і планування економічних аспектів виробництва. Зокрема, здійснено розрахунок чисельності персоналу та продуктивності праці на основі технологічної схеми і балансу робочого часу для основних та допоміжних робітників. Для визначення ефективності праці було розраховано показники продуктивності як по руді, так і по концентрату на одного трудящого. Також були враховані всі аспекти оплати праці, включаючи основний та додатковий фонд заробітної плати, а також нарахування на заробітну плату для пенсійного фонду, фонду зайнятості та соціального страхування.

В розділі також наведено кошторис затрат на капітальні споруди і обладнання, зокрема амортизаційні відрахування, які формують амортизаційний фонд підприємства. Для цього були враховані витрати на придбання обладнання, транспортні витрати та монтажні витрати. Розрахунок вартості сировини базується на нормах витрат сировини на одну тону готового продукту, що дозволяє точно оцінити витрати на сировину та енергію.

Додатково було розглянуто калькуляцію собівартості переробки руди, яка відображає всі витрати на підготовку виробництва, виготовлення продукції та її збут. Також проведено аналіз собівартості продукції, на основі якого розроблено заходи щодо зниження витрат, зокрема через підвищення техні-

чного рівня виробництва, автоматизацію процесів, модернізацію устаткування, поліпшення організації праці та підвищення кваліфікації кадрів. Усі ці заходи сприятимуть підвищенню ефективності виробництва та зниженню собівартості продукції.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської роботи було проведено дослідження технології збагачення магнетитових кварцитів ПРАТ «ІнГЗК» (м. Кривий Ріг) з метою підвищення якості магнетитового концентрату та його конкурентоспроможності на світовому ринку.

На основі аналізу сировинної бази підприємства встановлено, що залізорудна сировина характеризується складною текстурою, підвищеним вмістом шкідливих домішок (зокрема, діоксиду кремнію, оксидів калію, натрію, магнію та сірки) та порівняно низьким вмістом заліза в агломераційних рудах. Виявлено, що продукція підприємства має нижчі показники вмісту заліза, ніж аналогічні концентрати провідних світових виробників, що обмежує її ринкові перспективи та ускладнює реалізацію в умовах сучасного металургійного виробництва.

Аналіз традиційної схеми магнітного збагачення магнетитових кварцитів на ПРАТ «ІнГЗК» показав, що вона не дозволяє ефективно знизити вміст дрібнодисперсних кремнеземистих частинок у кінцевому продукті. Через це вміст заліза в концентраті залишається на рівні, недостатньому для забезпечення конкурентоспроможності продукції.

Для вирішення цих проблеми були впроваджені наступні заходи:

1. Визначення достовірності первинної інформації про якісні характеристики руди, що надходить на РЗФ, дозволило підвищити точність даних для подальшої оптимізації процесу збагачення. Установлення способів збільшення обсягів опробування забезпечило більш детальний контроль за коливаннями якості руди, що дало змогу своєчасно реагувати на можливі відхилення. Підвищення оперативності отримання якісних і кількісних характеристик готової продукції зменшило час реакції на можливі відхилення та сприяло більш точному плануванню виробничих процесів.

2. Опис алгоритму дій технологічного персоналу кар'єру під час управління шихтою уніфікував процеси формування шихти та зменшив ризики некоректної взаємодії між працівниками різних підрозділів. Опис алгоритму дій технологічного персоналу РЗФ-1 під час виробництва ЖРК чітко визначив обов'язки й відповідальність кожного працівника, що позитивно вплинуло на стабільність показників готової продукції.

3. Розроблення програмного забезпечення для моніторингу роботи кар'єру у погодинному режимі та впродовж зміни відповідно до розроблених сценаріїв підвищило прозорість та оперативність управлінських рішень.

4. Моніторинг процесу управління шихтою в кар'єрі за напрямом РЗФ-1 сприяв своєчасному виявленню відхилень у якості руди й оперативному коригуванню планових показників.

5. Розроблення й упровадження моделі превентивного управління виробництвом РЗФ-1 дало змогу проактивно впливати на перебіг технологічних процесів, знижуючи ризики випуску некондиційної продукції та підвищуючи загальну ефективність роботи.

Практичне впровадження запропонованих заходів сприятиме підвищенню якості продукції ПРАТ «ІНГЗК», зниженню витрат на металургійну переробку, зменшенню використання енергетичних і хімічних ресурсів, а також покращенню екологічних показників виробництва.

Таким чином, результати проведеного дослідження підтверджують доцільність і ефективність удосконалення процесу управління технологією збагачення магнетитових кварцитів на ПРАТ «ІНГЗК», що дозволяє підвищити конкурентоспроможність продукції підприємства та забезпечити його стабільну позицію на ринку залізорудної сировини.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Smirnov O.Ya., Streltsov V.O. Increasing the productivity of the iron ore dressing plant by optimizing the particle size distribution of blasted rock mass in the open pit of PJSC «INGZK».

MININGMETALTECH 2024 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION.

doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-98

2. Evtekhov V.D., Demchenko O.S., Prylepa D.M., Evtekhova A.V., Smirnov O.Ya., Ryzhkovyc O.I. Mineralogical substantiation of the picking out the representative technological samples of the Krivyi Rih basin hematite quartzites.

Geology and Mineralogy Bulletin of Kryvyi Rih National University, (42), 2021p.

doi.org/10.31721/2306-5443-2019-42-2-5-22

3. Shepelyuk, M., Evtekhov, V., & Smirnov, O. (2018). The regularities of changes ore composition Ingulets' ore mining and processing works. Journal of Geology, Geography and Geoecology, 27(1), 131-137.

[doi.org/https://doi.org/10.15421/111838](https://doi.org/10.15421/111838)

4. Смірнов О.Я. Деякі напрями підвищення ефективності планування якості руд ГЗК Кривбаса.

Сучасні технології розробки рудних родовищ. V Міжнародна науково-технічна конференція. Кривий Ріг, 23-24 листопада 2018 року, стор. 50-54.

АНОТАЦІЯ

Смірнов О.Я. Удосконалення технології збагачення магнетитових кварцитів ПРАТ «ІнГЗК» з метою отримання конкурентоспроможного концентрату. Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 184 Гірництво. ОПП «Технології збагачення корисних копалин» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2025.

У магістерській роботі проведено глибоке дослідження технології збагачення магнетитових кварцитів на ПРАТ «ІнГЗК», спрямоване на підвищення якості магнетитового концентрату та його конкурентоспроможності на світовому ринку залізорудної продукції. Об'єктом дослідження є процеси збагачення залізних руд на збагачувальній фабриці РЗФ-1 Інгулецького ГЗК, а метою роботи – удосконалення технологічних процесів, які сприятимуть поліпшенню якості готового продукту та зниженню витрат, а також оптимізації управління технологічним процесом.

Розділ 1. Характеристика збагачувальної сировини Інгулецького ГЗК

У цьому розділі детально описано мінералогічну будову та технологічні особливості магнетитових кварцитів, що добуваються на Інгулецькому ГЗК. Обґрунтовано вибір технологічної схеми збагачення руди, враховуючи вкраплення корисних мінералів та наявність шкідливих домішок.

Розділ 2. Удосконалення технології збагачення залізних руд

Цей розділ присвячений аналізу проблем, що виникають при традиційній магнітній сепарації, а також запровадженню інноваційних технологій, таких як ультразвуковий вплив, тонке грохочення та флотаційне доведення. Розглянуто використання сухої магнітної сепарації (СМС) для зменшення витрат енергії та підвищення ефективності процесу збагачення.

Розробка моделі превентивного управління технологічним процесом

У розділі запропоновано модель превентивного управління, яка дозволяє прогнозувати якість продукції та коригувати технологічні параметри ще до виникнення проблем. Описано алгоритм дій технологічного персоналу для оптимізації процесу виробництва ЖРК та моніторингу роботи кар'єра.

Розділ 3. Проведено економічний аналіз виробництва, включаючи розрахунки чисельності персоналу, продуктивності праці та витрат на оплату праці. Оцінено показники продуктивності на одиницю руди та концентрату. Також враховані витрати на амортизацію обладнання, транспорт та монтаж. Проведено калькуляцію собівартості переробки руди та розроблено заходи для зниження витрат через модернізацію виробництва, автоматизацію, покращення організації праці та підвищення кваліфікації кадрів.

ВИПРОБУВАННЯ, ЗБАГАЧУВАНІСТЬ РУД, ЯКІСНІ ПОКАЗНИКИ, ПЛАНУВАННЯ, УСЕРЕДНЕННЯ, ШИХТУВАННЯ, ЗБАГАЧЕННЯ, ПРЕВЕНТИВНЕ УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ.

ABSTRACT

Smirnov O.Y. Improvement of the technology of magnetite quartzite enrichment at PJSC “InGOK” in order to obtain a competitive concentrate. Qualification work for the master's degree in specialty 184 Mining. Mineral Processing Technologies - METINVEST POLYTECHNICA TECHNICAL UNIVERSITY LLC, Kryvyi Rih, 2025.

The master's thesis conducted an in-depth study of the technology of magnetite quartzite beneficiation at PJSC “InGOK” aimed at improving the quality of magnetite concentrate and its competitiveness in the global iron ore market. The object of the study is the iron ore beneficiation processes at the concentrator of the concentrator-1 of Ingulets GOK, and the purpose of the work is to improve technological processes that will improve the quality of the finished product and reduce costs, as well as optimize process control.

Section 1. Characteristics of Ingulets GOK's feedstock

This section describes in detail the mineralogical structure and technological features of magnetite quartzite mined at Inguletsky GOK. The choice of the technological scheme of ore beneficiation is justified, taking into account the inclusions of useful minerals and the presence of harmful impurities.

Chapter 2. Improvement of iron ore beneficiation technology

This section is devoted to the analysis of problems encountered in traditional magnetic separation and the introduction of innovative technologies such as ultrasonic impact, fine screening and flotation finishing. The use of dry magnetic separation (DMS) to reduce energy consumption and increase the efficiency of the beneficiation process is considered.

Development of a model for preventive process control

The chapter proposes a model of preventive management that allows to predict product quality and adjust process parameters before problems arise. The algorithm of actions of technological personnel to optimize the iron ore production process and monitor the open pit operation is described.

Chapter 3. Economic analysis of production, including calculations of the number of personnel, labor productivity, and labor costs. The productivity per unit of ore and concentrate was estimated. The costs of equipment depreciation, transportation and installation were also taken into account. The cost of ore processing was calculated and measures were developed to reduce costs through production modernization, automation, improved labor organization and staff development.

TESTING, ORE RECOVERABILITY, QUALITY INDICATORS, PLANNING, AVERAGING, BLENDING, CONCENTRATION, PREVENTIVE QUALITY MANAGEMENT.