

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»  
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій  
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

## **АВТОРЕФЕРАТ кваліфікаційної роботи**

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання  
освітньо-професійної програми  
«Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в  
гірничо-металургійному виробництві»  
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка

**на тему «АСУ тракту середнього та мілкового подрібнення  
залізної руди в умовах дробильної фабрики  
гірничозбагачувального комбінату»**

Здобувач

Юрій УЗЛОВ

Кам'янське 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі автоматизації, електро- та робототехнічних систем.

Керівник:

Сімкін Олександр Ісакович,  
професор, кандидат технічних наук,  
професор кафедри автоматизації,  
електро- та робототехнічних систем

Захист відбудеться 19 лютого 2025 р. о 15:30 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_YWU2ZTZjMzUtNTAyZi00ZGRiLTk3NzEtY2ViNDc2MTMyNGE2%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2277c2500a-6967-4dab-bab5-8e8029a27710%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_YWU2ZTZjMzUtNTAyZi00ZGRiLTk3NzEtY2ViNDc2MTMyNGE2%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2277c2500a-6967-4dab-bab5-8e8029a27710%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 14 лютого 2025 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** У сучасних умовах розвитку гірничо-металургійної промисловості зростає потреба у впровадженні високоефективних автоматизованих систем управління технологічними процесами. Особливо актуальною є оптимізація процесів подрібнення залізної руди, що дозволяє не лише підвищити продуктивність виробництва, але й знизити енергоспоживання, зменшити вплив людського фактору та подовжити термін безвідмовної роботи обладнання. У цьому контексті дослідження, присвячене розробці автоматизованої системи управління трактом подрібнення, є своєчасним і має вагоме практичне значення для гірничо-збагачувальної галузі.

**Постановка проблеми.** Існуючі локальні системи управління на дробильних фабриках здебільшого виконують лише базові функції моніторингу та управління, не забезпечуючи комплексного регулювання технологічних параметрів. Це призводить до нестабільності роботи дробарок, підвищених витрат енергії та зниження продуктивності. Основна проблема кваліфікаційної роботи полягає у відсутності інтегрованої системи, здатної адаптивно регулювати процес подрібнення залізної руди з урахуванням динамічних умов виробництва.

**Мета дослідження.** Метою роботи розробка та впровадження автоматизованої системи управління трактом подрібнення залізної руди, що дозволяє підвищити ефективність виробничого процесу, знизити витрати енергії та покращити якість кінцевого продукту.

### **Задачі дослідження:**

- здійснити аналіз існуючих систем автоматизації технологічних процесів на дробильних фабриках та виявити їх недоліки;
- проаналізувати літературні джерела та сучасні тенденції в галузі автоматизованого управління технологічними процесами;
- побудувати математичну модель процесу подрібнення залізної руди з урахуванням динамічних параметрів;
- обґрунтувати вибір технічних засобів автоматизації та розробити алгоритми оптимального керування;
- розробити програмне забезпечення для реалізації системи управління та провести експериментальну апробацію розробленого рішення;
- оцінити економічну ефективність впровадження запропонованої системи.

**Об'єкт дослідження** – процес дроблення залізної руди, що здійснюється трактом середнього та мілкового подрібнення в умовах дробильної фабрики одного із гірничозбагачувальних комбінатів України.

**Предмет дослідження** – методи, алгоритми та технічні засоби автоматизації автоматизованої системи управління технологічним процесом дроблення руди, що дозволяють оптимізувати параметри роботи дробильного обладнання та забезпечити адаптивність системи до змін умов виробництва.

**Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності.** У ході дослідження виявлено недоліки існуючих систем локального управління дробарками, що не забезпечують комплексну стабілізацію технологічних параметрів. Запропоновано інноваційний підхід, який включає розробку адаптивних алгоритмів керування з використанням сучасних ПЛК та датчиків, математичного моделювання та оптимізації процесу подрібнення. Новизна роботи полягає у створенні інтегрованої системи, що здатна враховувати змінні умови роботи обладнання та забезпечувати оперативну реакцію на збурення, що призводить до підвищення продуктивності, зниження енергоспоживання та збільшення терміну служби дробильного обладнання.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 65 сторінок, містить 4 рисунки та 4 таблиці. Список використаних джерел складається з 13 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Проведено комплексний аналіз літературних джерел з питань автоматизації технологічних процесів у гірничо-металургійній галузі, що дозволило виявити основні недоліки існуючих систем управління дробарками. На основі отриманих результатів розроблено нову структуру автоматизованої системи, яка інтегрує локальні системи управління, центральний контролер та системи візуалізації технологічних параметрів. Розроблені алгоритми адаптивного керування дозволяють оперативно реагувати на зміни в режимах роботи дробильного обладнання, забезпечуючи стабільність процесу та зниження витрат енергії. Експериментальна апробація системи підтвердила її ефективність та можливість практичного впровадження на підприємствах гірничо-збагачувальної промисловості.

Для досягнення поставленої мети використано комплекс методів, зокрема:

– аналіз науково-технічної літератури: огляд сучасних досліджень і публікацій з автоматизації процесів подрібнення та управління технологічними системами;

– моделювання технологічних процесів: застосування математичних моделей для опису динамічних властивостей процесу дроблення, визначення впливу ключових параметрів;

– розробка алгоритмів управління: синтез адаптивних алгоритмів, що дозволяють реалізувати оптимальне керування на основі аналізу відхилень від нормативних значень;

– експериментальні дослідження та апробація: використання даних з реальної виробничої бази одного з гірничозбагачувальних комбінатів України для перевірки ефективності запропонованих рішень;

– економічний аналіз: розрахунок інвестиційних витрат, економії енергії та підвищення продуктивності, що підтверджує економічну доцільність впровадження системи.

У ході дослідження з використанням ПЗ TIA Portal фірми Siemens розроблено комплексну автоматизовану систему управління, що складається з трьох основних рівнів:

1. Польовий рівень. На цьому етапі здійснюється безпосередній збір інформації про технологічний процес за допомогою сучасних датчиків (вимірювання температури, вібрації, струму, рівня завантаження тощо). Дані передаються до контролерного рівня для оперативної обробки. Використання високоточних вимірювальних приладів забезпечує надійність та своєчасність отримання інформації.

2. Рівень автоматичного регулювання (контролерний рівень). На основі програмованих логічних контролерів (PLC, зокрема, Siemens SIMATIC S7-1511) здійснюється аналіз отриманих даних та прийняття рішень щодо коригування режимів роботи обладнання. Розроблено адаптивні алгоритми керування дозволяють швидко реагувати на змінні умови технологічного процесу. У цьому рівні інтегровано алгоритми оптимізації, що забезпечують підтримання заданого гранулометричного складу та мінімізацію енергоспоживання.

3. Операторський рівень. Система SCADA та інтерфейси HMI забезпечують візуалізацію даних у режимі реального часу, що дозволяє оператору-технологу та обслуговуючому персоналу АСУТП контролювати стан процесу, аналізувати архіви даних та отримувати аварійні сповіщення. Такий підхід сприяє оперативному реагуванню на відхилення та покращує взаємодію між людиною та автоматизованою системою.

Для перевірки ефективності розробленої системи проведено серію експериментальних досліджень на базі дробильної фабрики одного з гірничозбагачувальних комбінатів України. Основні очікувані результати впровадження системи: збільшення продуктивності (за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання) до 5% та зниження енергоспоживання завдяки адаптивному управлінню на 5%, що є важливим показником для зменшення експлуатаційних витрат. За

рахунок стабілізації гранулометричного складу підвищиться якість подрібненої руди, що забезпечить відповідність технічним вимогам для подальшої обробки.

Крім того, економічний аналіз виявив, що впровадження запропонованої системи дозволяє знизити витрати на експлуатацію обладнання та обслуговування, що в довгостроковій перспективі забезпечує значну економію ресурсів і підвищує конкурентоспроможність підприємства.

Новизна роботи полягає у розробці інтегрованої автоматизованої системи управління, що поєднує в собі сучасні методи оптимізації технологічного процесу з використанням адаптивних алгоритмів керування. Особливу увагу приділено застосуванню інтелектуальних методів (нейронні мережі, нечітка логіка) для прогнозування стану обладнання та оптимізації параметрів дроблення. Розроблена система є адаптивною та здатною до роботи в умовах змінних параметрів технологічного процесу, що робить її універсальним рішенням для гірничо-збагачувальної галузі.

Результати дослідження мають велике практичне значення для підприємств гірничо-металургійного комплексу. Впровадження запропонованої системи сприяє підвищенню ефективності виробничого процесу за рахунок оптимізації роботи дробильного обладнання, зниженню витрат на енергоресурси та зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню якості кінцевого продукту завдяки стабілізації параметрів подрібнення, забезпеченню оперативного реагування на аварійні ситуації через інтегровану систему моніторингу та управління.

## ВИСНОВКИ

Розроблено автоматизовану систему управління, яка дозволяє ефективно координувати роботу всіх елементів технологічного процесу дроблення залізної руди; застосування адаптивних алгоритмів керування сприяє оперативному коригуванню режимів роботи обладнання та забезпечує стабільність технологічного процесу.

Експериментальні дані підтверджують, що впровадження системи призводить до значного збільшення продуктивності (до 5%), зниження енергоспоживання (до 5%) та покращення якості кінцевого продукту, а економічне обґрунтування дослідження вказує на доцільність впровадження розробленої системи, що забезпечує економію ресурсів та підвищення ефективності виробництва.

Комплексне дослідження, проведене у рамках магістерської роботи, підтверджує можливість значного підвищення ефективності технологічного процесу дроблення залізної руди за допомогою

впровадження сучасних автоматизованих систем управління. Результати дослідження відкривають перспективи для подальшого впровадження інноваційних рішень у гірничо-збагачувальній галузі, що сприятиме зменшенню експлуатаційних витрат та підвищенню якості продукції.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Узлов Ю.В., Сімкін О.І. АСУ тракту середнього та мілкового подрібнення залізної руди. Автоматизація та комп'ютерні-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку. Матеріали Секція 1. Всеукраїнська науково-практичній Інтернет-конференції. м. Черкаси, 11–17 березня 2024 р. С 55-56. URL: <https://conference.ikto.net/public/archive/2024.html>

2. Сімкін О.І., Сокол С.П., Узлов Ю.В. Постановка задачі алгоритмів роботи інформаційних підсистем АСУТП та оцінки їх якості. Автоматизація та біомедичні і комп'ютерні технології: тези доповідей Всеукраїнської науково-технічної інтернет-конференції. (Дніпро, 12 березня 2024 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». – Дніпро: ПДТУ, 2024. – С. 17–18. URL: <https://pstu.edu.uk/fakultety-2/fakultet-informacziynyh-tehnologii/kafedra-avtomatyzacziyi-i-kompyuternyh1/>

3. Simkin O.I., Uzlov Y.V. Automated control system for the crushing circuit of a crushing plant. MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education. International scientific conference Riga, the Republic of Latvia. Vol. 2, November 28–29. 2024 P. 79-82. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-142>

## АНОТАЦІЯ

Узлов Юрій Вікторович. АСУ тракту середнього та мілкового подрібнення залізної руди в умовах дробильної фабрики гірничозбагачувального комбінату. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» за освітньо-професійною програмою «Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві», виконана у ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2025.

Об'єкт дослідження – процес дроблення залізної руди трактом середнього та мілкового подрібнення на базі дробильної фабрики одного з гірничозбагачувальних комбінатів України.

Предмет дослідження – методи та алгоритми автоматизації даного технологічного процесу.

Метою роботи є розробка та вдосконалення автоматизованої системи управління трактом подрібнення залізної руди з метою підвищення продуктивності виробництва, зниження витрат на енергоресурси та покращення якості кінцевого продукту. Для досягнення поставленої мети використовувалися методи аналізу науково-технічної літератури, моделювання технологічних процесів, розробки алгоритмів оптимального управління, проведення обчислювальних експериментів та економічного аналізу.

Основні результати роботи: запропоновано концепцію модернізації існуючої системи автоматизації; розроблено адаптивні алгоритми керування процесом дроблення; проведено аналіз впливу основних технологічних параметрів на продуктивність та енерговитрати; обґрунтовано економічну доцільність впровадження запропонованої системи; сформульовано рекомендації щодо оптимізації режимів роботи дробильного обладнання.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості впровадження розробленої системи на підприємствах гірничо-збагачувальної галузі, що сприятиме зниженню експлуатаційних витрат, підвищенню якості подрібненої руди та збільшенню терміну безвідмовної роботи обладнання.

Ключові слова: автоматизація, дроблення, залізна руда, керування, оптимізація, енергоефективність, модернізація

## ABSTRACT

Uzlov Yuriy Viktorovich. "ACS of the medium and fine grinding tract of iron ore in the conditions of the crushing plant of a mining and processing plant". - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for the award of a master's degree in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics" under the educational and professional program "Intelligent control systems and robotic complexes in mining and metallurgical production", performed at LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC", Kamianske, 2025.

The object of the study is the process of crushing iron ore by a medium and fine grinding tract on the basis of the Crushing Plant of one of the mining and processing plants of Ukraine.

The subject of the study is methods and algorithms for automating this technological process.

The aim of the work is to develop and improve an automated control system for the iron ore crushing tract in order to increase production productivity, reduce energy costs and improve the quality of the final product. To achieve this goal, methods of analyzing scientific and technical

literature, modeling technological processes, developing optimal control algorithms, conducting computational experiments and economic analysis were used.

Main results of the work: a concept for upgrading the existing automation system was proposed; adaptive algorithms for controlling the crushing process were developed; an analysis of the influence of the main technological parameters on productivity and energy consumption was carried out; the economic feasibility of implementing the proposed system was substantiated; recommendations were formulated for optimizing the operating modes of crushing equipment.

The practical significance of the results obtained lies in the possibility of implementing the developed system at enterprises of the mining and processing industry, which will contribute to reducing operating costs, improving the quality of crushed ore and increasing the period of uninterrupted operation of the equipment.

Keywords: automation, crushing, iron ore, control, optimization, energy efficiency, modernization