

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  
«Назва освітньої програми»  
за спеціальністю 151 Автоматизація  
і комп'ютерно-інтегровані технології

**на тему «АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики»**

Здобувач



Віталій НІКУЛІН

Кам'янське 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник:



Мірошніченко Вікторія Ігорівна  
доцент, канд. техн. наук,  
доцент кафедри

Захист відбудеться 24 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_MDRiNzZkYTEtMzUwYy00YmZhLWI0MWItNGZIMGJkNzg0NDlk%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d](https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_MDRiNzZkYTEtMzUwYy00YmZhLWI0MWItNGZIMGJkNzg0NDlk%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 20 січня 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Сучасний гірничо-збагачувальний комбінат є підприємством із замкнутим циклом видобутку та переробки корисних копалин.

Одним з основних технологічних процесів гірничо-збагачувальних підприємств – є збагачення корисних копалин на рудозбагачувальних фабриках (РЗФ).

Сучасні збагачувальні фабрики з переробки руд чорних металів є промисловими підприємствами зі складним технологічним процесом збагачення, які насичені великою кількістю різноманітного обладнання. Збагачення магнетитових кварцитів на збагачувальних фабриках здійснюється способом магнітної сепарації руди, що послідовно подрібнюється.

Автоматизація технологічних процесів подрібнення та магнітної сепарації руди є потужним засобом збільшення рентабельності виробництва за рахунок підвищення якості концентрату та зниження втрат металу у хвості збагачення.

**Постановка проблеми.** На підставі інформації про роботу наявної на базі переддипломної практики автоматизованої системи управління зроблено висновок, що, окрім заміни засобів автоматизації на більш сучасні та відповідні Стандарту АСУТП для підприємств Групи Метінвест, наявну систему слід модернізувати за рахунок впровадження прогнозування оптимальної продуктивності млина для отримання необхідних якісних показників готової продукції.

**Мета дослідження.** Стабілізація якісних показників готової продукції рудозбагачувальної фабрики за рахунок модернізації апаратного та програмного забезпечення автоматизованої системи управління технологічним процесом здрібнювання та збагачення руд чорних металів.

### **Задачі дослідження:**

- проаналізувати предметну область автоматизації рудозбагачувальних фабрик: здійснити літературний огляд, виявити недоліки наявних систем автоматизації та сучасні тенденції розвитку цієї галузі.
- сформулювати задачі автоматизації технологічного об'єкту:
  - розглянути технологічний процес як об'єкт автоматизації;
  - виділити задачі автоматичного контролю, регулювання, управління;
- обґрунтувати запропоновану структуру системи управління:
  - виділити основні задачі АСУТП,
  - описати концепцію роботи системи,
  - обґрунтувати та вибір технічних рішень.
- навести опис реалізації запропонованої системи:

- обрати та обґрунтувати технічні засоби автоматизації,
- спроектувати САР продуктивності млина,
- розробити математичне, алгоритмічне та програмне забезпечення окремих задач системи,
- визначити та обґрунтувати економічну ефективність запропонованої системи.

**Об'єкт дослідження** – автоматизована система управління технологічними процесами секції рудозбагачувальної фабрики.

**Предмет дослідження** – автоматизація технологічних процесів здрібнювання та збагачення руд чорних металів в умовах рудозбагачувальної фабрики гірничо-збагачувального комбінату.

**Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності.**

В кваліфікаційній роботі встановлено, що для підвищення ефективності ведення технологічного процесу на ділянці, що включає до свого складу першу стадію подрібнення і класифікації та першу стадію магнітної сепарації, є доцільним застосування штучного інтелекту в автоматизованому управлінні технологічним процесом. Розроблено систему прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних характеристик готової продукції з використанням нейро-нечіткого регулятора. В результаті моделювання роботи розробленої системи в Simulink підтверджена ефективність її використання для прогнозування якості готової продукції.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, 4-х розділів, висновків, списку використаних джерел, додатку. Загальний обсяг роботи становить 59 сторінок, робота містить 45 рисунків, 12 таблиць. Список використаних джерел складається з 12 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

За результатами аналізу предметної області виявлено, що переділом, який визначає режими роботи всіх наступних стадій збагачення, є технологічний блок – перша стадія подрібнення і класифікації та перша стадія магнітної сепарації залізистих (гематитомagnetитових, magnetитових, силікатно-magnetитових та magnetито-силікатних) кварцитів Інгулецького родовища. Подрібнення руди, що подається на РЗФ, ведеться до крупності не менше 95% класу мінус 0,05 мм. Така крупність подрібнення та збагачення за схемою з режимами, визначеними технологічною інструкцією, при подачі шихти рекомендованої якості, забезпечує виробництво концентрату з масовою часткою заліза не менше 63,7 % та вологою не вище 10,5 %. При огляді літературних джерел розглянуто можливі варіанти постановки задач автоматизації рудозбагачувальної фабрики в цілому, та визначеної технологічної

ділянки, зокрема, виявлені їхні переваги та недоліки з огляду на доцільність застосування у конкретних виробничих умовах. Проаналізовано опубліковані методи моделювання управління технологічним процесом збагачення руд чорних металів. Встановлено, що для підвищення ефективності ведення технологічного процесу на ділянці, що включає до свого складу першу стадію подрібнення і класифікації та першу стадію магнітної сепарації, є доцільним застосування штучного інтелекту в автоматизованому управлінні технологічним процесом.

Проведено аналіз технічного, математичного, алгоритмічного та програмного забезпечення наявної автоматизованої системи управління технологічним процесом секції №1 РЗФ №1 ГЗК. За результатами встановлено, що, окрім заміни засобів автоматизації на більш сучасні та такі, що відповідають вимогам Стандарту АСУТП для підприємств Групи Метінвест, наявну систему слід модернізувати за рахунок впровадження прогнозування оптимальної продуктивності млина для отримання необхідних якісних показників готової продукції.

Проаналізовано технологічну ділянку, що включає до свого складу першу стадію подрібнення і класифікації та першу стадію магнітної сепарації, як об'єкт автоматизації, визначено вхідні та вихідні параметри та збурювальні впливи для кожного технологічного процесу. Сформульовані задачі автоматичного контролю та регулювання відповідними технологічними параметрами.

Обґрунтовано вибір структури автоматизованої системи управління. Визначено розподіл основних задач, які вирішуються на рівнях автоматизації, наведено перелік основних функціональних задач АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики та опис схеми їхнього взаємозв'язку.

Визначено технологічні параметри з урахуванням їхніх діапазонів згідно з технологічною інструкцією для проектування відповідних системи автоматичного регулювання (САР). Передбачено, що в САР подачі руди в млин першої стадії подрібнення та класифікації кількість руди, що надходить на млин, вимірюється за допомогою конвеєрних ваг, швидкість конвеєра і, відповідно, завантаженість млина регулюється електроприводом з частотним перетворювачем. Регулювання реалізується дистанційно, по завданню оператора, або автоматично, по струму електродвигуна млина і класифікатора, тобто кількість руди, що подається в млин залежить від завантаженості електродвигуна млина і класифікатора, а також завдання із системи прогнозування якості. В САР подачі води в млин першої стадії подрібнення та класифікації кількість води, що надходить в млин, залежить від продуктивності млина по руді, а також щільності промпродукту, що надходить з млина в класифікатор. Завдання кількості води в млин розраховується з урахуванням

співвідношення продуктивності млина і щільності промпродукту. В САР подачі води в класифікатор першої стадії подрібнення та класифікації кількість води, що надходить в класифікатор, залежить від щільності промпродукту на зливні з класифікатора. Регулювання кількості води реалізується дистанційно, по завданню оператора, або автоматично, по сигналу від густиноміра, що встановлений у ванні класифікатора.

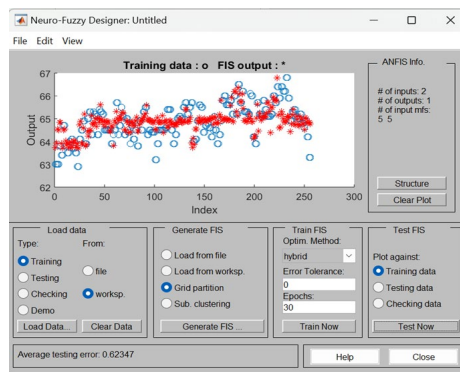
Вибір технічних засобів для всіх рівнів автоматизації проведено згідно зі Стандартом АСУТП «МЕТІНВЕСТ ДІДЖИТАЛ». Обрано обладнання вендорів SIEMENS, Schenck. Спроектовано системи регулювання технологічними параметрами секції рудозбагачувальної фабрики та розроблено відповідне програмне забезпечення з використанням програмного продукту TIA PORTAL.

Встановлено, що система прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних характеристик готової продукції передбачає додаткове вимірювання поточного значення вмісту заліза магнітного у вхідній руді, порівняння його із заданим та фактичним значенням заліза загального на виході та корекцію заданої продуктивності млина в залежності від величини відхилення планового та фактичного значення заліза загального на виході та вмістом заліза магнітного у вихідній руді з урахуванням затримки за даними для порівняння на час технологічного процесу, тобто на час поки сировина пройде через технологічний процес подрібнення, класифікації та п'ять стадій магнітної сепарації. Для вирішення вказаної задачі було розроблено цифрову модель прогнозування продуктивності млина з подальшим коригуванням завдання в САР продуктивності млина. Для моделювання об'єкта управління було спроектовано нейронну мережу на основі промислової бази даних (рис. 1, а). В якості регулятора запропоновано застосувати нейро-нечіткий регулятор. Сформульовано правила для роботи системи нечіткого логічного висновку з використанням спеціалізованого модуля програмного забезпечення MATLAB (рис. 1, б).

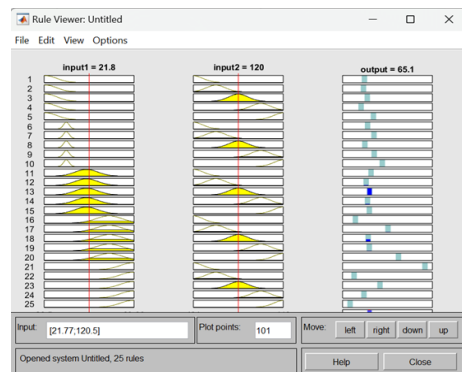
Працездатність розробленої системи нечіткого логічного висновку підтверджено результатами моделювання системи прогнозування якісних показників продукції з нейро-нечітким регулятором з використанням програмного продукту Simulink (рис. 1, в). Виявлено, що вихідний параметр системи управління з нейро-нечітким регулятором досягає заданого значення показника якості (вмісту заліза загального) готової продукції (рис. 1, г). Наявне відхилення від планового значення не перевищує 5%, що прийнято вважати похибкою математичної моделі технологічного процесу і задовольняє вимогам до систем автоматизації.

На підставі отриманих результатів зроблено висновок, що запропонована модель системи прогнозування якості готової

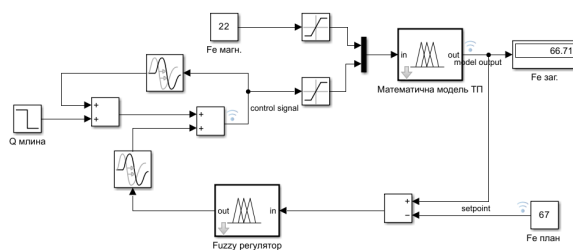
продукції з нейро-нечітким регулятором може бути ефективною при впровадженні.



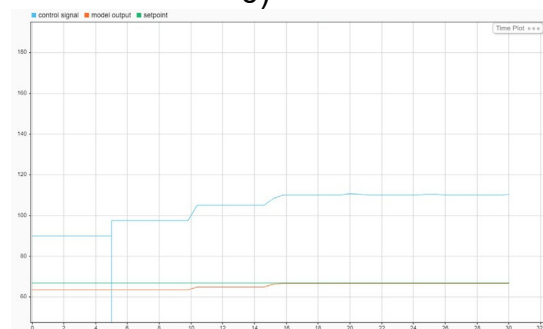
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1 - Результати моделювання системи прогнозування якісних показників продукції з нейро-нечітким регулятором: а) тестування нечіткої системи; б) роботи системи нечіткого висновку; в) модель системи в Simulink; г) результати роботи системи прогнозування

Встановлено, що економічний ефект від впровадження запропонованої автоматизованої системи управління секцією збагачення рудозбагачувальної фабрики кульового подрібнення забезпечується збільшенням продуктивності переробки руди і, як наслідок, збільшенням продуктивності виробництва концентрату. Розраховано термін окупності запропонованої АСУТП, що складає 1 рік 6 місяців.

## ВИСНОВКИ

1. В кваліфікаційній роботі розглянуті можливі варіанти постановки задачі автоматизації рудозбагачувальної фабрики. Запропоновано систему автоматизації технологічного блоку першої стадії подрібнення класифікації та магнітної сепарації, що визначає режим роботи всіх наступних стадій збагачування.

2. На підставі Стандарту АСУ ТП Метінвест Холдингу, а також вимог технологічного процесу, викладених в технологічній інструкції, запропонована модернізація метрологічного забезпечення та технічних засобів автоматизації.

3. З використанням програмного продукту TIA PORTAL розроблено програмне забезпечення для систем регулювання технологічними параметрами секції рудозбагачувальної фабрики.

4. Розроблено нейро-нечітку систему прогнозування оптимальної продуктивності млина для стабілізації якісних характеристик готової продукції з використанням програмного забезпечення ANFIS MATLAB.

5. Виконано розрахунок очікуваного економічного ефекту від впровадження запропонованого рішення для АСУТП секції збагачення рудозбагачувальної фабрики.

#### ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Nikulin V.O., Miroshnychenko V.I. A system for predicting optimal mill performance to stabilize the finished product quality of the ore dressing factory. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. P. 41–43.

DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-93>

#### АНОТАЦІЯ

Нікулін Віталій Олександрович. АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Інтелектуальні системи управління у гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2024.

Об'єктом дослідження є АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики.

Предметом дослідження є автоматизація технологічних процесів здрібнювання та збагачення руд на гірничо-збагачувальних комбінатах.

У першому розділі проаналізована предметна область автоматизації рудозбагачувальної фабрики. Розглянуті наявні



системи автоматизації, проаналізовані варіанти постановки задач автоматизації та визначений оптимальний напрямок автоматизації. Сформульована невирішена частина проблеми, яку планується досліджувати та вирішувати в рамках кваліфікаційної роботи.

У другому розділі проведено аналіз технологічного процесу як об'єкту автоматизації, визначені задачі управління об'єктом, задачі автоматичного контролю та регулювання відповідних технологічних параметрів, обґрунтовано вибір структури автоматизованої системи управління та технічних засобів для всіх рівнів автоматизації, наведено опис взаємозв'язку функціональних задач АСУТП секції рудозбагачувальної фабрики.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів автоматизації для визначених технологічних параметрів, спроектовано САР; розроблено програмне забезпечення контролера SIEMENS для систем регулювання технологічними параметрами секції рудозбагачувальної фабрики з використанням програмного продукту TIA PORTAL. На підставі даних, що характеризують технологічний процес, змодельовано систему нейро-нечіткого управління технологічним процесом.

У четвертому розділі виконано розрахунок економічної ефективності запропонованої системи автоматизації.

Ключові слова: АСУТП, РЗФ, нечітка логіка, нейронна мережа, прогнозуюча модель.

## ABSTRACT

Vitaliy Nikulin. Industrial control systems of ore beneficiation plant sections. - Qualifying work on the rights of the manuscript.

Theses for a Master's degree in Automation and Computer-Integrated Technologies, the specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies" Educational Program "Intelligent Control Systems in the Metals and Mining Sector" TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNICS", LLC, Kamyanske, 2024.

The research object is the automated technological process control system of the ore beneficiation plant section.

The subject of the research is the automation of technological processes of crushing and ore enrichment at mining and beneficiation plants.

In the first chapter, the subject area of ore beneficiation plant automation has been analyzed. Existing automation systems have been considered, various options for setting automation tasks have been analyzed, and the optimal direction of automation has been determined. An unresolved part of the problem has been formulated, which is planned

to be investigated and addressed within the scope of the qualification work.

The second chapter has conducted an analysis of the technological process as the object of automation. Control tasks for the object, tasks of automatic control, and regulation of corresponding technological parameters have been defined. The choice of the structure of the automated control system and technical means for all levels of automation has been justified, and a description of the interrelation of functional tasks of the SCADA of the ore beneficiation plant section has been provided.

In the third chapter, the choice of technical means for automation has been justified based on the determined technological parameters. A control and regulation system has been designed. Software has been developed for the SIEMENS controller to regulate technological parameters of the ore beneficiation plant section using the TIA PORTAL software. Based on data characterizing the technological process, a neuro-fuzzy control system for the technological process has been modeled.

In the fourth chapter, the economic efficiency of the proposed automation system is calculated.

Keywords: automated control system, ore beneficiation plant, fuzzy logic, neural network, predictive model.