

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 «Модернізація АСУ ТП дозування та огрудкування на  
випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату  
і шихти та гранулометрії сирих окатишів в умовах  
гірничозбагачувального комбінату»**

Здобувач

Ігор СТЕБЕЛЬКО

Кам'янське 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник:

Койфман Олексій Олександрович,  
к.т.н., доцент, завідувач кафедри  
автоматизації, електро- та  
робототехнічних систем

Захист відбудеться 19 лютого 2025 р. о 14:00 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» 12 лютого 2025 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Технологічні ділянки шихто-підготовки та огрудкування є ключовими етапами при виготовленні залізородного окатиша з необхідними хімічними та гранулометричними параметрами. Гранулометричний параметр впливає, як на подальший процес випалу, так і на обсяг виробництва в цілому. Реалізація автоматизованої системи, з необхідними та вчасними керуючими впливами на дані технологічні ділянки для отримання окатишу заданої гранулометрії, є базовим завданням для підвищення обсягів виробництва та економічної ефективності цеху з виробництва окатишів гірничо-збагачувального комбінату.

**Постановка проблематики.** В процесі детального аналізу наявної АСКТП цеху з виробництва окатишів, виявлено відсутність автоматизації двох технологічних ділянок, як окремої комплексної підсистеми з завданням формування на виході окатиш по обсягу та по гранулометричному складу з урахуванням вологості матеріалу в процесі дозування і приготування шихти.

**Мета дослідження.** Модернізація автоматизованої системи керування технологічним процесом виготовлення окатишів з метою зменшення повернення сирого окатишу.

### **Задачі дослідження:**

- аналіз технологічного ланцюга гірничо-збагачувального комбінату;
- аналіз технологій виробництва окатишів у цеху виробництва окатишів;
- аналіз існуючої АСКТП виробництва окатишів, визначення проблематики;
- аналітичний огляд прикладів подібних рішень в промисловості визначеної проблематики;
- постановка основних задач керування, обґрунтування актуальності рішень та концепція роботи модернізованої АСКТП;
- деталізація запропонованих технічних рішень для ділянок шихто-підготовки та огрудкування;
- дослідження математичної моделі, на основі можливої варіації основних технологічних параметрів;
- реалізація алгоритмів САР ділянок шихто-підготовки та огрудкування у програмному пакеті;
- економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень.

**Об'єкт дослідження** – технологічні ділянки приготування шихти та огрудкування з шихти сирого окатишу.

**Предмет дослідження** – АСКТП ділянок шихто-підготовки та огрудкування.

**Результати та обґрунтування інноваційності.** В ході виконання роботи було проаналізовано наявну структуру керування

процесами шихто-підготовки та огрудкування. Інноваційність та новизна полягає у об'єднанні керування даними ділянками у одну підсистему, врахування додаткового параметру при приготуванні шихти для окатишу – поточна вологість сирого окатишу. Проаналізовано існуючі методи виміру вологості та запропоновано найбільш ефективний – інфрачервоний метод виміру. Обрано один найперспективніших приладів вимірювань вологості обраним методом.

На ділянці огрудкування запропоновано об'єднання чотирьох параметрів в автоматизований процес формування сирого окатишу, а саме: стабілізація навантаження на огрудковувач, стабілізація подачі води, стабілізація швидкості обертання та кута нахилу таріли чашевого огрудковувача. Результатом впливу в процесі формування є вимір поточної гранулометрії новітніми засобами машинного зору, як заміна впливу людського фактору в існуючому процесі керування, вимір яких слугує завданням та зворотнім зв'язком ділянки огрудкування.

**Структура та обсяг роботи.** Склад кваліфікаційної роботи: вступ, чотири основних розділи з підрозділами кожний, висновки, перелік використаних джерел, три додатки. Обсяг роботи: 84 сторінки, 52 рисунки, 3 таблиці. Список використаних джерел складається з 25 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Проведено детальний огляд технологічного ланцюга гірничо-збагачувального комбінату з видобутку залізорудної руди в кар'єрах до кінцевого товарного продукту - одним з кінцевих продуктів є випалений окатиш з необхідними хіміко-фізичними властивостями. Кінцевим етапом при виготовленні окатишів є цех виробництва окатишів. Варто зазначити, що технологічний процес починається з доставки необхідних складових окатишу до цеху, а саме шихтових компонентів (бентоніт, вапно, залізорудний концентрат). В процесі підготовки (дроблення, сушки, помелу), транспортування по ділянкам цеху дані матеріали дозуються, змішуються, потім огрудковуються в рівномірні окатиші і вже заключним етапом випалюються у випалювальних машинах LURGI-552-A/B. Після випалювальних машин окатиші класифікуються остаточно на гуркотах, і як товарна готова продукція потрапляють на склад готової продукції або на товарні вагони. Аналіз наявної АСКТП та організація керування на етапах дозування на шихто-підготовці та огрудкування, які є ключовими у процесі створення годної товарної продукції показав наступну проблематику:

а) розглянуті ключові ділянки приготування окатишу не об'єднанні в одну під систему головної АСКТП цеху вироблення окатишів;

б) відсутність врахування поточної вологості залізорудного концентрату та шихти, що в значній мірі впливає на формування геометрії окатишу;

в) відсутність автоматизованих керуючих впливів на основні технологічні параметри огрудкування окатишу зокрема регулювання навантаження на чашу, витрати зрошувальної води для формування зародку окатишу, регулювання швидкістю та кута нахилу чаші. Тобто основні параметри стабілізування гранулометрії або не задіяні, або керуються в ручну машиністом огрудковувача;

г) відсутність автоматичного контролю поточної гранулометрії окатишів технічними засобами, що значно знижує ефективність процесу огрудкування при візуальній оцінці розмірів окатишу машиністом.

Аналіз поточного стану питання та огляд актуальних літературних джерел показав, що вирішення головного завдання можливе з наступними напрямками модернізації існуючої системи автоматизованого управління:

1. Інтеграція автоматичного контролю вологості у залізорудному концентраті на вході ділянки шихто-підготовки та вологості шихти на виході з неї. Що надасть, по-перше, більш ефективно витратити домішки при формуванні шихти, та, по-друге, забезпечить оперативне реагування при огрудкуванні окатишів з послідуєчим розрахуванням необхідної витрати зрошувальної води.

2. Застосування засобів технічного зору для цифрового контролю за процесом формування окатишів з послідуєчим впливом на керування уставками для огрудкування в автоматичному режимі.

Для виміру вологості шихти при шихто-підготовці запропоновано інтегрувати інфрачервоний метод контролю вологості у концентраті при формуванні алгоритму дозування шихтових компонентів. В алгоритмах керування процесом огрудкування враховувати поточне значення гранулометричного складу засобами машинного зору для формування керуючих впливів на наступні технологічні параметри: навантаження на чашу, подачу зрошувальної води, швидкості обертання чаші та куту її нахилу, для можливості зміни та стабілізації поточного гранулометричного складу. Розроблена структура модернізованої автоматизованої системи для ділянок огрудкування та шихто-підготовки.

За допомогою середовища Simulink у MATLAB побудовано схему математичної моделі залежності вихідного технологічного параметра гранулометричного складу від вхідних параметрів вологості та навантаження шихти на чашевий огрудковувач. За допомогою нечіткого контролера Fuzzy Logic Controller при задаванні двох параметрів отримано з мінімальним відхиленням значення на виході, що відповідає початковому заданому масиву даних. З

використанням програмних засобів нечіткої логіки побудована графічна модель закону керування одного з контурів.

Виконано реалізацію алгоритмів керування ділянок шихто-підготовки та огрудкування у програмному пакеті Siemens TIA Portal. В даному пакеті створені програмні змінні та мовою програмування LAD виконано основні ланцюги алгоритму керування, також реалізовано приклад екрану людино-машинного інтерфейсу, що є прикладом практичної адаптації та послідуєчого використання результатів дослідження в програмних засобах, які використовуються у наявному апаратному-програмному комплексі цеху виробництва окатишів .

Було розраховано капітальні затрати на всі нові інтегровані елементи структури та послідуєча окупність даних затрат. Запропоновані технічні рішення збільшують обсяги корисного виробництва та зменшують обсяг браку починаючи з 1% та до 5 % від обсягу загального виробництва окатишів. Результати розрахунків показують, що термін окупності мінімальний, але в розрахунку прийняті деякі умовні параметри, наприклад що за час окупності навантаження буде триматись в нормах технологічної інструкції, також без урахування аварійних ситуацій, які знизять оперативне виробництво за певний період, це може вплинути негативно на термін окупності, але все ж таки термін мінімальний і запас по можливим негативним впливам є. Актуальність технічних рішень доведена економічним розрахунком.

## ВИСНОВКИ

Під час виконання кваліфікаційної магістерської роботи було виконано наступні задачі: аналіз актуального стану автоматизації технологічних ділянок шихто-підготовки та огрудкування цеху з виробництва окатишів провідного гірничозбагачувального комбінату України, визначення актуальних проблем, які впливають на ефективність функціонування існуючої АСКТП, дослідження вже існуючих рішень подібної проблематики, розробка та реалізація модернізованої АСКТП з метою підвищення виробничо-економічних показників цеху. Було визначено, що завдяки інтеграції виміру вологості шихти в алгоритм дозування шихтових компонентів та виміру поточної гранулометрії на виході з процесу огрудкування, з послідуєчим алгоритмічним впливом на основні параметри роботи чашевого огрудковувача, було доведено отримання зменшення частки значення повернення (браку) сирого окатишу від загального значення виробленого окатишу, при різній варіації завантаження у випалювальній машині LURGI 552-A, від 1% до 5%.

Впровадження обґрунтованих, математично досліджених та реалізованих у програмних пакетах, технічних рішень для

модернізації АСКТП ділянок шихто-підготовки та огрудкування, можна вважати повністю доцільним і послідоюча вже практична реалізація даних рішень на виробництві є необхідним етапом для загального безперервного удосконалення гірничо-металургійного комплексу України.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Стебелько І.Є., Койфман О.О, Бондар О.В., Король В.М. Модернізація АСКТП - дозування й огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і шихти та гранулометрії сирих окатишів. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки, № 2, 2024, С 77-85. DOI <https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-2-12>

2. Stebelko I.E., Koifman O.O. Modernization of the control system of coagulation and pellet firing by measuring the moisture content of raw pellets before the firing process. International scientific-technical conference: "MININGMETALTECH 2024 - Mining and metallurgical complex: integration of business, technology and education". SECTION VI: Intelligent control systems, robotic, mechatronic and electric power complexes (November 28-29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia : "Baltija Publishing", Vol. 2. P 86. DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-144>

3. Стебелько І.Є. Модернізація АСКТП дозування та огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату, шихти, сирих окатишів та гранулометрії. 48-ма НАУКОВО-ТЕХНІЧНА КОНФЕРЕНЦІЯ МОЛОДІ з нагоди 91-річчя ПАТ «Запоріжсталь». Збірник тез і анотацій наукових доповідей. Одеса : Олді+, 2024, С 114-116. URL: <https://dspace.mipolytech.education/handle/mip/1323>.

## АНОТАЦІЯ

Стебелько Ігор Євгенович. Модернізація АСУ ТП дозування та огрудкування на випалювальних машинах з урахуванням вологості концентрату і шихти та гранулометрії сирих окатишів в умовах гірничозбагачувального комбінату - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

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

Об'єктом дослідження є процес шихто-підготовки та огрудкування сирих окатишів в умовах цеху з виробництва окатишів гірничо-збагачувального комбінату.

Предметом дослідження є автоматизована система керування процесом шихто-підготовки та огрудкування сирих окатишів.

У першому розділі розглянуто технологічний ланцюг гірничо-збагачувального комбінату та роль технологічного процесу у цеху виробництва окатишів в загальній технології комбінату. Також розглянута існуюча АСКТП та її наявний апаратно-програмний склад, проведено аналіз ефективності керування технологічними процесами. Проведено аналітичний огляд для аналізу вже існуючих рішень для покращення ефективності АСКТП в схожих умовах.

В другому розділі виділено основні технологічні параметри регулювання ділянок шихто-підготовки та огрудкування, методи вимірювання даних параметрів та їх регулювання в технологічному процесі. Запропоновано та обґрунтовано модернізовану структуру АСКТП двох технологічних ділянок.

В третьому розділі виконано експериментальні дослідження, за допомогою яких налаштовано регулятори запропонованої САР, та реалізовано приклад АСКТП в програмному пакеті, побудовані основні екрани ЛМІ.

У четвертому розділі за допомогою розрахунків обґрунтовано та підтверджено економічну доцільність впровадження запропонованої системи автоматизації досліджуваних технологічних ділянок.

Ключові слова: окатиш, годний клас, вологість, шихто-підготовка, огрудкування, регулювання, апаратно-програмний комплекс

## ABSTRACT

Ihor Yevgenovich Stebelko. Modernization of the automatic control system for dosing and pelletizing on firing machines taking into account the moisture content of the concentrate and charge and the granulometry of raw pellets in the conditions of a mining and processing plant. - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for the degree of master in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". Educational Programme «Intelligent control systems and robotics in the metals and mining sector» - LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC", Kamianske, 2025.

The object of the study is the process of charge preparation and agglomeration of raw pellets in the conditions of the pellet production shop of mining and processing plant.

The subject of the study is an automated control system for the process of charge preparation and agglomeration of raw pellets

The first section considers the technological chain of mining and processing plant and the role of the technological process at iron ore pellet production workshop in the overall technology of the plant. The existing ACS of workshop and its existing hardware and software are also considered, an analysis of the efficiency of technological process control is carried out. A literature review is conducted to analyze existing solutions for improving the efficiency of ACS in similar conditions.

The second section highlights the main technological parameters for regulating the charge preparation and pelletizing sections, methods for measuring these parameters and regulating them in the technological process. The modernized structure of the ACS of two technological sections is proposed and substantiated.

In the third section, experimental studies are performed, with the help of which the regulators of the proposed ATS are configured, and an example of the ACS is implemented in the software package, and the main screens of the HMI are built.

In the fourth section, the economic feasibility of implementing the proposed automation system of the studied technological sections is substantiated and confirmed by calculations.

Keywords: pellets, grading class, moisture, batch preparation, pelling, regulation, hardware and software complex