

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 електроприводу кран-балки (5т.) в  
умовах критого складу металопрокату»**

Здобувач

Олександр МІНАЄНКО

Кам'янське 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник:

Суботін, Олег, Володимирович,  
кандидат технічних наук, доцент,  
доцент кафедри автоматизації,  
електро- та робототехнічних  
систем

Захист відбудеться 20 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» 18 лютого 2025 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Мостові крани та кран-балки є ключовими елементами складів металопрокату. Однак застарілі системи управління не відповідають сучасним вимогам енергоефективності, безпеки та точності керування. Основна проблема полягає у використанні релейно-контакторної схеми управління, що спричиняє високі енергетичні витрати, знос механізмів та складність експлуатації. Запропонована модернізація дозволяє підвищити ефективність роботи складу та покращити надійність роботи кранового обладнання.

**Постановка проблематики.** Ефективне функціонування складу є одним з вирішальних факторів успішної роботи підприємства в цілому. Вибір конкретного типу крана залежить від особливостей складу, характеру переміщуваних вантажів та інших факторів. Часто існуючі кранові системи були спроектовані для інших завдань, що вимагає їх модернізації з метою адаптації до нових умов експлуатації та перегляду технічних рішень.

Вантажно-розвантажувальні роботи на складах металопрокату мають ряд особливостей, обумовлених властивостями вантажів, умовами роботи та типом обладнання. Особливо важливу роль у цих процесах відіграють мостові і козлові крани, які є основним інструментом для переміщення металевих виробів.

**Мета дослідження.** Модернізація АСУ електроприводом кран-балки для підвищення продуктивності, точності керування, енергоефективності та безпеки експлуатації.

### **Задачі дослідження:**

- аналіз існуючих проблем та технічних характеристик системи;
- обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації;
- розробка математичної моделі електроприводу;
- розробка системи керування із зворотним зв'язком;
- перевірка працездатності розробленої системи у середовищі Simulink;
- оцінка економічної ефективності модернізації.

**Об'єкт дослідження.** Мостова однобалочна кран-балка вантажопідйомністю 5 тонн у складі металопрокату.

**Предмет дослідження.** Автоматизована система керування (АСК) електроприводом кран-балки.

**Результати та обґрунтування інноваційності.** У роботі проведено аналіз предметної області, визначено недоліки існуючої системи керування, запропоновано нову концепцію автоматизації. Розроблено математичну модель електроприводу та алгоритм керування, що забезпечує зменшення розгойдування вантажу. Вибрано оптимальні комплектуючі – програмований логічний контролер, частотний перетворювач, індуктивні та інклінометричні

датчики для контролю параметрів. Проведено структурне моделювання системи керування, що підтвердило її ефективність.

Запропонована модернізація дозволяє:

- скоротити витрати електроенергії;
- зменшити механічне навантаження на вузли кран-балки;
- підвищити безпеку та точність керування;
- оптимізувати робочі процеси складу металопрокату.

Отримані результати можуть бути використані для модернізації аналогічних систем на промислових підприємствах.

**Структура та обсяг роботи.** Склад кваліфікаційної роботи: вступ, чотири основних розділи з підрозділами кожний, висновки, перелік використаних джерел. Обсяг роботи: 56 сторінок, 25 рисунків, 9 таблиць. Список використаних джерел складається з 15 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У критому складському приміщенні, де зберігається металопрокат, встановлено кран-балку 5т., що використовує одну колію з мостовим краном вантажопідйомністю 20т. Склад розділений на дві функціональні зони: перша призначена для завантаження та розвантаження вантажних автомобілів, друга – для обслуговування дрібних клієнтів, обсяг замовлень яких варіюється від 20 до 400 кг на позицію, причому кількість таких позицій може бути значною.

Проаналізувавши функціонування об'єкта під час виробничої практики, було ідентифіковано низку проблем. Зокрема, при ініціації руху мосту в горизонтальній площині (вправо або вліво) фіксуються різкі коливання крутного моменту та значні динамічні прискорення. Ці фактори спричиняють нерівномірний рух мосту кран-балки, що, в свою чергу, призводить до розгойдування вантажу, особливо вагою до 1 тонни. Внаслідок цього, для транспортування дрібних вантажів використовується 20-тонний мостовий кран. З економічної точки зору, використання мостового крана з такою вантажопідйомністю для переміщення вантажів масою до 1000 кг є неефективним, по-перше кран дуже повільний, і завантаження займає багато часу, по-друге високе енергоспоживання.

Тому проведення актуального аналізу конструктивних та технологічних особливостей роботи базової системи керування, а також можливості впровадження АСУ електроприводом мостової кран-балки стало відправною точкою модернізації АСК електроприводу кран-балки та крану взагалі.

Для реалізації поставленої мети запропоновано застосувати сучасні методи та засоби автоматизації, використовуючи ПЛК, ЧП, та сучасні датчики.

Сучасний ринок пропонує широкий спектр рішень, які дозволяють підвищити ефективність, безпеку та точність роботи

кранового обладнання в цілому. Основними напрямками модернізації є заміна застарілого обладнання, таких як електроприводи, датчики, релейні схеми керування, керуючі органи.

Програмовані логічні контролери (PLC) здатні забезпечити гнучку конфігурацію та управління всіма функціями крана, таких як автоматичне визначення ваги вантажу, оптимізація траєкторій руху крана, дистанційне управління. Об'єднання АСУ крана з іншими системами управління виробництвом для забезпечує більш ефективну роботу всього підприємства.

Частотні перетворювачі забезпечують плавне регулювання швидкості обертання електродвигунів, що дозволяє підвищити точність позиціонування вантажу та зменшити знос обладнання.

Сучасні датчики під управлінням ПЛК здатні забезпечити високий рівень автоматизації та контролю в різних промислових процесах, включаючи управління кранами. Вони дозволяють отримувати детальну інформацію про стан обладнання, параметри процесу та навколишнє середовище, що є основою для прийняття обґрунтованих рішень. Точне вимірювання фізичних величин таких як температура, вібрація, сила струму, напруга, положення, швидкість, кут нахилу, та багато інших параметрів можуть бути виміряні з високою точністю. Це дозволяє контролювати стан обладнання, виявляти потенційні проблеми та забезпечувати безпеку роботи.

Додатково було проаналізовано обмеження поточної системи управління, зокрема нестача плавності руху, великі витрати електроенергії та знос механізмів. А також було приведено огляд існуючих рішень та досліджено сучасні технології автоматизації кранових систем.

Після чого визначили ключові параметри електроприводу, провели аналіз руху моста кран-балки, та методів гасіння коливань. Була побудована математична модель електроприводу переміщення кран-балки та проведена перевірка працездатності системи в середовищі Simulink.

Обрано потрібні комплектуючі для модернізації системи та розроблені алгоритми управління, що забезпечують стабільну та ефективну роботу кран-балки. Зроблено опис створених програмних модулів для керування кран-балкою.

Все це дозволило вирішити поставлені завдання автоматизації та досягти цілей модернізації - покращення енергоефективності, зменшення механічного зносу, підвищення безпеки.

Така модернізація дозволить значно зменшити витрати на електроенергію за рахунок використання кран-балки в повному обсязі, а також зменшити ударні навантаження на механічні складові. Що в свою чергу дозволить зменшити розгойдування вантажу та покращить безпекові характеристики за рахунок плавної реакції

системи керування на керуючі та збурюючі впливи. Все це підвищить продуктивність технологічного процесу.

Проведена оцінка витрат на модернізацію, включаючи закупівлю обладнання, а також розрахунок економічного ефекту від запропонованої модернізації, визначено період, за який інвестиції в модернізацію повністю окупляться. Економічний аналіз показав доцільність впровадження запропонованої системи, оскільки її термін окупності становить приблизно 1.5 роки.

Розроблена система дозволяє значно прискорити процес транспортування вантажів, а також підвищити безпеку роботи персоналу в межах складу.

## ВИСНОВКИ

У ході виконання кваліфікаційної роботи було досліджено мостову кран-балку 5т., визначено її основні недоліки якими є розгойдування вантажу, сильні динамічні навантаження на механічну складову кран-балки. Проведено аналіз на можливість впровадження АСУ електроприводу кран-балки з використанням сучасного промислового обладнання.

У роботі проведено аналіз предметної області, запропоновано нову концепцію автоматизації. Розроблено математичну модель електроприводу та алгоритм керування, що забезпечує зменшення розгойдування вантажу. В процесі проектування були розраховані і вибрані, з каталогу обладнання фірми Siemens, елементи системи управління – програмований логічний контролер, частотні перетворювачі, індуктивні та інклінометричні датчики для контролю параметрів. Проведено структурне моделювання системи керування електроприводом кран-балки, що підтвердило її ефективність.

Розроблена система дозволяє значно прискорити процес транспортування вантажів, а також підвищити безпеку роботи персоналу в межах складу.

Економічний аналіз показав доцільність впровадження запропонованої системи, оскільки її термін окупності не перевищує нормативні терміни.

Таким чином, мета кваліфікаційної роботи досягнута, а всі поставлені завдання виконано.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Subotin O. V., Minaienko O. G. Research of the control system of the electric drive of the lift mechanism of the bridge crane beam. *MININGMETALTECH 2024 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND*

## АНОТАЦІЯ

Мінаєнко Олександр Григорович. Модернізація АСУ електроприводу кран-балки (5т.) в умовах критого складу металопрокату. - 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 мостова однобалочна кран-балка вантажопідйомністю 5 тон, в умовах критого складу металопрокату.

Предметом дослідження є проведення аналізу конструктивних та технологічних особливостей роботи базової системи керування, а також можливості впровадження АСУ електроприводом мостової кран-балки.

У першому розділі проведено огляд технологічного процесу, умов експлуатації, наведено загальне поняття про вантажопідйомні крани і кран-балки. Також розглянуто технічні відомості, схеми та характеристики об'єкта. Зроблено детальний огляд існуючої проблеми з ключовими показниками та аналіз обмежень поточної системи управління, зокрема нестача плавності руху, великі витрати електроенергії та знос механізмів. Проведено огляд існуючих рішень, досліджено сучасні технології автоматизації кранових систем.

У другому розділі розглянуто формулювання завдань автоматизації, визначення основних цілей модернізації, таких як покращення енергоефективності, зменшення механічного зносу, підвищення безпеки. Визначили ключові параметри електроприводу, та провели аналіз руху моста кран-балки та методів гасіння коливань. Було представлено побудовану математичну модель електроприводу переміщення кран-балки.

Третій розділ присвячений визначенню оптимальних комплектуючих для модернізації кран-балки та її системи керування, розробці алгоритмів управління, що забезпечують стабільну та ефективну роботу об'єкта керування. Проведений опис створених програмних модулів для керування кран-балкою. Зроблено перевірку працездатності системи моделюванням її в середовищі Simulink.

У четвертому розділі проведена оцінка витрат на модернізацію, включаючи закупівлю обладнання. Проведено розрахунок економічного ефекту від запропонованої модернізації, визначення періоду, за який інвестиції в модернізацію повністю окупляться.

Ключові слова: кран-балка, електропривод, частотний перетворювач, автоматизована система управління (АСУ), контролер (ПЛК), датчик.

## ABSTRACT

Minaenko Oleksandr Hryhorovych. Modernization of the ACS electric drive of the girder crane (5 tons) in a covered metal warehouse. - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for a master's degree in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". Educational Programme "Intelligent control systems and robotic complexes in mining and metallurgical production" - LLC "TECHNICAL UNIVERSITY 'METINVEST POLYTECHNICA', Kamianske, 2025.

The object of study is a single-girder crane bridge with a lifting capacity of 5 tons, in the conditions of a covered warehouse of rolled metal products.

The subject of the study is to analyze the design and technological features of the basic control system, as well as the possibility of implementing an ACS with an electric drive for a bridge crane girder.

The first section provides an overview of the technological process, operating conditions, and the general concept of cranes and crane beams. Technical information, diagrams and characteristics of the facility. A detailed overview of the existing problem with key indicators. Limitations of the current control system are analyzed, including lack of smoothness, high energy consumption, and wear and tear on mechanisms. An overview of existing solutions is provided, and modern technologies for automating crane systems are studied.

The second section discusses the formulation of automation tasks, identifying the main goals of modernization, such as improving energy efficiency, reducing mechanical wear, and improving safety. The key parameters of the electric drive are determined, the motion of the crane-beam bridge is analyzed, and methods of damping oscillations are analyzed. A mathematical model of the electric drive for moving the crane-beam was built.

The third section is devoted to the determination of optimal components for modernization, the development of control algorithms that ensure stable and efficient operation. Description of the created software modules for crane beam control. Checking the system performance in the Simulink environment.

In the fourth section, we estimate the costs of modernization, including the purchase of equipment. The economic effect of the proposed modernization is calculated, and the period for which the investment in modernization will fully pay off is determined.

Keywords: girder crane, electric drive, frequency converter, automated control system (ACS), controller, sensor