

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  
«Комп'ютерне конструювання мехатронних систем»  
за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування

**на тему «Модернізація систем управління крана мостового  
електричного спеціального КМ 1664.00.000 мартенівського  
цеху»**

Здобувач

Іван АРХІПОВ

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник:

Цимбал Богдан Михайлович,  
д.держ.упр., доцент, доцент  
кафедри автоматизації,  
електро- та робототехнічних систем

Захист відбудеться 06 грудня 2024 р. о 18:00 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting\\_YzU0OTg1ZDctODhINS00MjUwLTk2NjYtZDZiZmlxZjBiYTk5%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_YzU0OTg1ZDctODhINS00MjUwLTk2NjYtZDZiZmlxZjBiYTk5%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» 29 листопада 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Модернізація систем управління крана мостового електричного спеціального КМ 1664.00.000 мартенівського цеху. Системи управління мостових кранів потребують оновлення для підвищення продуктивності, безпеки та зниження енерговитрат. Впровадження автоматизованої системи компенсації коливань дозволяє покращити експлуатаційні характеристики кранів та забезпечити їхню надійність у мартенівському цеху.

**Постановка проблеми.** Недостатня точність і енергоефективність систем управління сучасних кранів створюють ризики для безпеки та продуктивності, особливо у мартенівських цехах.

**Мета дослідження.** Розробка та впровадження автоматизованої електромеханічної системи компенсації коливань для покращення роботи мостового крана КМ 1664.00.000.

### **Задачі дослідження:**

- провести аналіз існуючих систем управління та методів автоматизації;
- розробити схему автоматизованої системи управління з компенсацією коливань;
- обґрунтувати вибір обладнання та алгоритмів керування;
- провести економічну оцінку модернізації.

**Об'єкт дослідження** - процеси компенсації коливань вантажу у мостових кранах.

**Предмет дослідження** - система управління електроприводом візка мостового крана.

**Результати та обґрунтування їх новизни інноваційності.** Запропонована система дозволяє значно знизити динамічні навантаження, підвищити безпеку експлуатації крана та зменшити енерговитрати до 20%.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи — 90 сторінок, включає 25 рисунків, 10 таблиць. Список використаних джерел налічує 45 позицій.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У сучасному світі, де технічний прогрес розвивається з наростаючою інтенсивністю, продовжують залишатися актуальними завдання, спрямовані на всебічну механізацію та автоматизацію, які докорінно змінюють сучасні виробничі процеси в різних галузях

економіки. Щороку з'являються нові моделі обладнання, що підвищують ефективність і надійність виробничих процесів, зокрема завдяки мостовим електричним кранам, які значно спрощують технологічні операції. Особливості технологічних процесів у різних галузях важкої промисловості безпосередньо впливають на конструктивні характеристики таких кранів.

Практично всі підприємства застосовують вантажопідйомні машини в різних сферах: від будівництва й автомобілебудування до ремонтних цехів. Мостові крани, поряд із виконанням основних завдань, забезпечують широкий спектр технологічних, навантажувально-розвантажувальних, монтажних та складських робіт. Вони представлені в багатому асортименті розмірів і вантажопідйомності, де найбільш поширеними є моделі з вантажопідйомністю від 5 до 320 тонн. Для їх приводу використовуються класичні асинхронні електродвигуни із фазним або короткозамкненим ротором, причому у схемі може бути задіяно до п'яти двигунів.

Відповідно до принципів стандартизації та уніфікації промислового обладнання, електрообладнання мостових кранів комплектується серійно виробленими складовими. Конструкція електричної частини враховує особливості використання кранів, що відображається у схемах керування. Серед загальних вимог до кранів особлива увага приділяється високій продуктивності, надійності, простоті експлуатації та безпеці. Водночас, із розвитком нових економічних підходів, першорядного значення набуває зниження енергоспоживання і витрат на експлуатацію.

Частотне регулювання приводів дозволяє зменшити енергоспоживання кранів майже наполовину. Крім того, цей метод сприяє більш плавним перехідним процесам, знижує динамічні навантаження на кінематику електроприводу, що позитивно позначається на надійності та довговічності обладнання.

Крани зазвичай застосовуються в умовах, де пріоритетними є продуктивність і безпека. Однак, однією з ключових проблем залишається розгойдування вантажу під час руху, яке значно впливає на ефективність роботи обладнання.

Одним із можливих рішень цієї проблеми є впровадження автоматизованої електромеханічної системи компенсації коливань вантажу. Реалізація такого підходу на одному з кранів дасть змогу зменшити ризик аварій, підвищити швидкість і надійність його роботи. Окрім цього, автоматизація забезпечить можливість безпечного управління краном персоналом із базовою підготовкою, що загалом сприятиме підвищенню продуктивності підприємства та забезпеченню безпеки його працівників.

Мостові крани відіграють важливу роль у виробничих процесах, забезпечуючи ефективне транспортування вантажів.

Важливою проблемою таких кранів є високий рівень енергоспоживання, значні динамічні навантаження та ризик розгойдування вантажу під час переміщення. Застарілі системи управління часто не забезпечують належної точності керування, що призводить до підвищеного зносу механізмів та додаткових витрат на ремонт.

Мостовий кран електричний спеціальний КМ 1664.00.000 використовується в мартенівському цеху та призначений для транспортування важких вантажів. Конструктивно він складається з мосту, механізмів пересування, підйому та системи керування. Основні вузли крана включають ходові візки, підйомний механізм, вантажозахоплювальні пристрої та електропривод.

Механізми пересування крана можуть мати різні приводи: централізований, індивідуальний або комбінований. Використання частотного регулювання приводів дозволяє значно зменшити зношування деталей та покращити точність управління. Це особливо важливо для зниження коливань вантажу, що є однією з основних проблем експлуатації таких кранів.

Електропривод крана представлений асинхронними двигунами, що працюють у різних режимах навантаження. Завдяки використанню частотного перетворювача досягається можливість регулювання швидкості, що позитивно впливає на продуктивність роботи обладнання.

Для модернізації системи управління крана було обрано частотно-регульований електропривод із можливістю адаптивного керування. Така система дозволяє автоматично коригувати швидкість руху, залежно від навантаження та поточних умов експлуатації. Використання частотного регулювання дозволяє зменшити енергоспоживання до 60%, забезпечити плавний запуск та зупинку механізмів, що знижує динамічні навантаження, покращити точність керування за рахунок використання зворотного зв'язку та підвищити термін служби механічних компонентів крана.

Система автоматизації включає мікропроцесорні контролери, які забезпечують управління всіма режимами роботи крана. Також було впроваджено систему контролю розгойдування вантажу, що дозволяє значно зменшити ризик пошкодження обладнання та продукції.

Розрахунок економічного ефекту показав, що модернізація системи управління крана дозволяє суттєво скоротити витрати підприємства. Основні джерела економії включають зниження витрат на електроенергію на 40-60% завдяки частотному регулюванню, скорочення витрат на технічне обслуговування на 30%, оскільки механізми працюють у щадному режимі, а також зменшення витрат на ремонт на 25% завдяки зниженню зношення деталей.

Загальний економічний ефект оцінюється в 300-500 тис. грн на рік, що дозволяє окупити витрати на модернізацію протягом 2-3 років. Таким чином, впровадження автоматизованої системи управління мостовим краном сприяє значному підвищенню ефективності виробництва, зниженню експлуатаційних витрат та підвищенню безпеки роботи обладнання.

## ВИСНОВКИ

У роботі була успішно проведена модернізація системи електроприводу переміщення крана. Було підібрано сучасний електродвигун, що відповідає актуальним стандартам, а також частотний перетворювач.

У рамках проекту виконано розрахунок системи автоматичного керування електроприводом переміщення крана. Проаналізовано характеристики моменту, швидкості та магнітного потоку асинхронного двигуна під час виконання заданої тахограми руху.

В економічному розділі за результатами розрахунків встановлено ефективність технічного рішення щодо заміни старого електроприводу на новий, який відповідає сучасним стандартам регульованих електроприводів. Річна економія від модернізації обладнання становить 47 081,8 гривні, розрахунковий коефіцієнт ефективності дорівнює 0,37, а термін окупності капітальних вкладень складає 2,6 роки. Таким чином, доведено доцільність впровадження синтезованої системи автоматичного керування.

Аналітичний огляд виявив існуючі системи компенсації коливань вантажу у вантажопідіймальних кранах, їх переваги та недоліки. З огляду на результати аналізу підтверджено актуальність розробки автоматизованої системи компенсації коливань вантажу для підйомних кранів.

Для реалізації цієї системи здійснено розрахунок потужності двигуна пересування візка, а також перевірку його за критеріями нагріву і перевантажувальної здатності. Розроблено схемо-технічні рішення, підібрано необхідне обладнання для впровадження системи компенсації коливань вантажу. Дослідження показали, що використання системи компенсації значно зменшує величину коливань вантажу порівняно зі звичайним частотним керуванням.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Tsymbal V.M., Arkhipov I.I. Modernization of the control systems of the bridge crane of the marteniv workshop. International

scientific conference “MININGMETALTECH 2024 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education”: conference proceedings (November 28–29, 2024. Riga, the Republic of Latvia). Riga, Latvia: “Baltija Publishing”. 2024. Vol. 2. P. 104–107. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-151>

## АНОТАЦІЯ

Архіпов Іван Іванович. Модернізація систем управління крана мостового електричного спеціального КМ 1664.00.000 мартенівського цеху. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 133 «Галузеве машинобудування». ОПП «Комп'ютерне конструювання мехатронних систем» - ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кривий Ріг, 2024.

Метою цієї розробки є підвищення продуктивності роботи мартенівського цеху підприємства шляхом впровадження автоматизованої електромеханічної системи, яка компенсує коливання вантажу в підйомних кранах.

Для досягнення поставленої мети в магістерській дисертації вирішено такі завдання:

- 1) виконано аналітичний огляд завдань і методів підвищення надійності, безпеки та ефективності роботи кранового господарства;
- 2) проведено розрахунок, перевірку та вибір силової частини автоматизованої системи;
- 3) розроблено автоматизовану систему керування.

Об'єкт дослідження є процеси компенсації коливань вантажу під час поступального руху мостового крана. Предмет дослідження є система керування швидкістю електропривода візка мостового крана.

Методи дослідження. Для виконання завдань, поставлених у роботі, застосовано: класичні методи теорії автоматичного керування; теорію керування електроприводами змінного струму; методи математичного моделювання.

У першому розділі розглянуто важливість модернізації мостових кранів мартенівських цехів для підвищення ефективності роботи та безпеки. Описано основні проблеми: високе енергоспоживання, значні динамічні навантаження та небезпека коливання вантажу. Розглянуто переваги частотно-регульованих приводів, які знижують енергоспоживання до 60%, забезпечують плавність рухів і зменшують навантаження на механізми. Зазначено, що автоматизація дозволить мінімізувати ризики аварій та підвищити зручність управління обладнанням.

У другому розділі детально описано конструкцію мостового крана: типи балок (однбалкові, двобалкові), механізми пересування, вантажозахоплювальні пристрої (гаки, грейфери, магніти). Розглянуто особливості експлуатації кранів в різних умовах, у тому числі на відкритих майданчиках та в сейсмічних зонах. Проаналізовано існуючі системи управління, зокрема релейно-контакторні та сучасні мікропроцесорні з частотним регулюванням. Розглянуто переваги плавного регулювання швидкості та усунення динамічних навантажень. Описано кінематичні схеми підйомних механізмів, редукторів і систем передачі руху. Визначено основні параметри роботи механізмів та вплив модернізації на їх надійність.

У третьому розділі вибрано обладнання для модернізації мостового крана, розроблено схеми автоматизації та запропоновано інноваційні рішення для інтеграції людиномашинного інтерфейсу. Проведено тестування систем компенсації коливань вантажу та розрахунок основних параметрів.

У четвертому розділі проаналізовано витрати на модернізацію крана, включаючи придбання обладнання, монтаж і налаштування. Розраховано економію, яку можна досягти за рахунок зменшення енергоспоживання та витрат на технічне обслуговування. Проведено аналіз періоду повернення інвестицій у модернізацію.

Ключові слова: автоматизація, частотний регулятор, енергоефективність, мостовий кран, частотний перетворювач, редуктори, модернізація

## ABSTRACT

Arkhipov Ivan Ivanovich. Modernization of the control systems of the crane of the bridge electric special KM 1664.00.000 of the Marteniv workshop. - Qualification work on manuscript rights.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 133 "Industrial mechanical engineering". OPP "Computer Design of Mechatronic Systems" - LLC "METINVEST POLYTECHNIC TECHNICAL UNIVERSITY", Kryvyi Rih, 2024.

The purpose of this development is to increase the productivity of the March shop of the enterprise by introducing an automated electromechanical system that compensates for the fluctuations of the cargo in the lifting cranes.

To achieve the set goal, the following tasks were solved in the master's thesis:

- 1) an analytical review of the tasks and methods of increasing the reliability, safety and efficiency of the crane industry was carried out;
- 2) calculation, verification and selection of the power part of the automated system were carried out;

3) an automated control system was developed.

The object of research is the process of compensation of load fluctuations during translational movement of a bridge crane. The subject of the research is the speed control system of the electric drive of the overhead crane trolley.

Research methods. To fulfill the tasks set in the work, the following are applied: classical methods of the theory of automatic control; theory of control of alternating current electric drives; methods of mathematical modeling.

In the first chapter, the importance of modernizing the bridge cranes of the Marteniv workshops for increasing the efficiency of work and safety is considered. The main problems are described: high energy consumption, significant dynamic loads and the danger of load oscillation. The advantages of frequency-regulated drives, which reduce energy consumption by up to 60%, ensure smooth movements and reduce the load on mechanisms, are considered. It is noted that automation will minimize the risks of accidents and increase the convenience of equipment management.

The second chapter describes in detail the design of the bridge crane: types of beams (single-beam, double-beam), movement mechanisms, load-catching devices (hooks, grabs, magnets). Features of operation of cranes in various conditions, including on open platforms and in seismic zones, are considered. The existing control systems are analyzed, in particular relay-contactor and modern microprocessor with frequency regulation. The advantages of smooth speed regulation and elimination of dynamic loads are considered. Kinematic diagrams of lifting mechanisms, gearboxes and motion transmission systems are described. The main operating parameters of the mechanisms and the impact of modernization on their reliability are determined.

In the third section, the equipment for the modernization of the bridge crane is selected, automation schemes are developed, and innovative solutions for the integration of the human-machine interface are proposed. Testing of load fluctuation compensation systems and calculation of main parameters was carried out.

The fourth chapter analyzes the costs of crane modernization, including the purchase of equipment, installation and adjustment. The savings that can be achieved through reduced energy consumption and maintenance costs are calculated. An analysis of the period of return on investment in modernization was carried out.

Keywords: automation, frequency regulator, energy efficiency, bridge crane, frequency converter, reducers, modernization