

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 електроприводом мостового крану
в умовах цеху металовиробів металургійного комбінату»**

Здобувач

Артем АСТАФУРОВ

Кам'янське 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник:

Разживін Олексій Валерійович,
кандидат технічних наук, доцент
кафедри автоматизації, електро-
та робототехнічних систем

Захист відбудеться 20 лютого 2025 р. о 16:00 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).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 13 лютого 2025 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Актуальність теми роботи. Полягає в підвищенні ефективності виробництва, зниженні витрат на технічне обслуговування, підвищенні безпеки, адаптивності до змінних умов та енергозбереженні. Модернізація автоматизованих систем управління електроприводом дозволяє значно підвищити продуктивність та ефективність виробничих процесів завдяки покращенню точності та швидкості роботи крана. Впровадження сучасних технологій управління електроприводом знижує витрати на технічне обслуговування та ремонт обладнання, підвищуючи надійність та довговічність роботи крана. Це також сприяє підвищенню рівня безпеки при експлуатації мостових кранів, оскільки сучасні системи управління дозволяють точно контролювати рухи крана, знижуючи ризик аварійних ситуацій та травматизму на виробництві. Сучасні системи управління електроприводом мають високу адаптивність до змінних умов роботи, що дозволяє ефективно використовувати кран в різних виробничих ситуаціях, включаючи адаптацію до змін навантаження та швидкості руху. Крім того, використання сучасних технологій управління електроприводом сприяє зниженню енергоспоживання, що є важливим фактором в умовах зростаючих цін на енергоносії та необхідності збереження природних ресурсів. Ці аспекти роблять тему модернізації АСУ електроприводом мостового крану надзвичайно актуальною та важливою для сучасного виробництва.

Постановка проблеми. Традиційна релейно-контактна схема управління електроприводами мостового крана має низку недоліків, таких як швидкий знос контактів, обмеженість у регулюванні швидкості, великі розміри та складність монтажу, а також підвищене енергоспоживання. Ці недоліки знижують ефективність та надійність роботи кранів, збільшують витрати на технічне обслуговування та енергоспоживання. З появою частотно-регульованих систем управління стало можливим значно підвищити точність, енергоефективність та надійність роботи кранів, що робить необхідним перехід від релейно-контактних схем до сучасних частотно-регульованих систем.

Мета дослідження. Зниження трудомісткості і енергоємності переміщення вантажів мостовим краном за рахунок модернізації системи управління електроприводом підйому підвіски гака.

Задачі дослідження:

- аналіз технологічного процесу переміщення вантажів з використання мостового крану;
- 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;
- обґрунтування необхідності застосування системи частотно-регульованого електроприводу вантажопідйомного механізму мостового крана;
- дослідження динамічних характеристик автоматизованого електроприводу з частотним регулюванням швидкості вантажопідйомного механізму мостового крана;
- реалізація алгоритмів роботи САР крана в заданих режимах;
- обґрунтування економічної ефективності впровадження технічних рішень.

Об'єкт дослідження – електропривід підвіски гака мостового металургійного мостового крана вантажопідйомністю 16 тон.

Предмет дослідження – АСУ частотно-регульованим електроприводом вантажопідйомного механізму мостового крана.

Результати та обґрунтування їх новизни / інноваційності. У процесі роботи було комплексно сформульована доцільність модернізації автоматизованого електроприводу побудованого на релейно-контакторній системі управління на частотно-регульований для вантажопідйомного механізму мостового крана та розроблено необхідні технічні рішення. Обґрунтовано, що використання частотно-регульованого електроприводу знижує механічне навантаження на елементи крана, збільшує ресурс роботи обладнання та зменшує витрати на технічне обслуговування. Розроблено структурну та функціональну схеми системи управління, визначено оптимальні параметри силової частини та алгоритми роботи крана. Проведений розрахунок економічної ефективності підтвердив доцільність впровадження частотно-регульованого електроприводу, що сприяє зниженню енергоспоживання, витрат на обслуговування та підвищенню продуктивності крана.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку використаних джерел, 3 додатків. Загальний обсяг роботи становить 63 сторінки, робота містить 16 рисунків, 5 таблиць. Список використаних джерел складається з 21 джерела.

ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Проведено аналіз поточного стану електроприводу мостового крана в умовах металургійного комбінату. Описано загальні характеристики існуючої системи управління електроприводом, виявлено її недоліки та обґрунтовано необхідність удосконалення.

Обґрунтована модернізація базової релейно-контакторної системи управління шляхом впровадження частотно-регульованого автоматизованого електроприводу з векторним законом регулювання швидкості, що дозволить підвищити ефективність роботи мостового крана.

Метою визначення статичних параметрів електропривода підйому мостового крана проведено вибір і розрахунок параметрів виконавчих механізмів, розглянуто параметри об'єкту автоматизації, визначено завдання автоматизованої системи управління (АСУ) електроприводом підйому гака мостового крана. Згідно з проведеним розрахунком здійснено математичне моделювання електропривода підйому гаку мостового крана. Проведений розрахунок дозволив здійснити вибір приводних електродвигунів механізму підйому гаку, а також визначити його фізичні параметри необхідні для побудови математичної моделі автоматизованого електроприводу.

За визначеними технологічними параметрами об'єкту автоматизації здійснено вибір технічних рішень для модернізації електроприводу та засобів контролю технологічних параметрів системи. Розроблено проект функціональної схеми автоматизації та обґрунтовано запропоновану структуру системи управління.

Проведено дослідження автоматизованого електроприводу який включає асинхронний двигун з векторним керуванням із застосуванням перетворювача частоти з широтно-імпульсною модуляцією.

Реалізовано імітаційну модель слідкуючого асинхронного електроприводу з векторним керуванням, що враховує квантування сигналів зворотного зв'язку за рівнем та часом сигналів керування.

Імітаційна модель асинхронного електроприводу з векторним керуванням складається з наступних функціональних елементів:

- джерело трифазного змінного струму необмеженої потужності;
- реактор на стороні мережі живлення;
- некерований діодний випрямляч;
- конденсатор у ланці постійного струму;
- інвертор напруги на транзисторах IGBT;
- моделі асинхронного двигуна;
- ланцюг розряду конденсатора, що складається з гальмівного резистора і транзисторного ключа.

Система управління електроприводу реалізована як багатоконтурна система регулювання і включає моделі:

- контур регулювання струму з ПІ-регулятором;
- контур регулювання швидкості двигуна з ПІ-регулятором ;

- контур регулювання потокозчеплення ротора з ПІ-регулятором;
- перетворювачів координат керуючих напруг;
- формувача регульованих координат приводу в загальному випадку з датчиками струмів, потоків та швидкості двигуна.

На математичній моделі побудовані графіки перехідних характеристик за моментом та кутковою швидкістю. Результати математичного моделювання, дозволяють стверджувати, що всі три контури розраховані і налаштовані вірно, так як на графіках не спостерігається перерегулювання, які перевищують допустимі значення, виконується точне відпрацювання впливів, що задаються.

Обґрунтовано вибір технічних засобів та частотного перетворювача для електроприводу підйому гака мостового крана. Спроековано автоматизовану систему управління (АСУ) електроприводом підйому гака крана, розроблено блок-схему алгоритмів роботи крана в різних режимах експлуатації та імітаційну математичну модель частотно-регульованого електроприводу підйому мостового крана.

Запропонована система управління приводом підйому порталного крану. Електропривод проектується із застосуванням частотних перетворювачів. Все обладнання ПТК об'єднується промисловими шинами Industrial Ethernet. Абоненти мережі розташовані територіально в одному або сусідніх приміщеннях і об'єднані в сегменти по роздільного принципу. Пост управління і ПЛК пов'язані між собою по мережі Industrial Ethernet.

Структура розглянутої системи автоматичного управління розроблена на основі шини Industrial Ethernet і визначається принципами роботи ПТК, технологічними особливостями вимірювальної апаратури і виконавчих механізмів, а також алгоритмом роботи системи управління. ПТК має розподілену структуру, є складним багатозв'язним об'єктом.

Кожна ділянка оснащена вимірювальними перетворювачами і виконавчими органами. У зв'язку з цим впровадження розроблюваної АСУ в модернізовану САУ доцільно здійснювати на основі застосування шини Industrial Ethernet.

Інтеграція АСУ мостового крану в єдину розподілену систему управління здійснюється за допомогою польової шини Profibus на нижньому рівні і за допомогою шини Industrial Ethernet - на верхньому рівні. З верхнього рівня по мережі Industrial Ethernet організована підтримка за допомогою баз даних.

За запитом оператора крану на робочу станцію викликаються дані про параметри крану.

Система управління забезпечує два режими роботи: режим "дистанційний", режим ручного управління.

При будь-якому вигляді управління передбачається реверсивний режим роботи всіх механізмів які здійснюють подачу вантажу в точку завантаження/розвантажування. При досягненні крайніх положень контрольованих кінцевими вимикачами всі механізми фіксуються відповідним електромагнітним гальмом. Контроль положення механізмів забезпечується в початковому положенні та проміжному положенні кінцевим вимикачем. Поточний контроль величини переміщення здійснюється за допомогою датчика імпульсів подальшою передачею інформації на ПЛК.

Обґрунтовано економічну доцільність впровадження запропонованої системи управління електроприводом підйому гака мостового крана. Проведено аналіз економічних показників, який підтвердив зниження трудомісткості на 5% і енергоємності переміщення вантажів мостовим краном на 8% за рахунок модернізації системи управління електроприводом підйому підвіски гака.

Проведено детальний аналіз шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які можуть впливати на працівників під час експлуатації мостового крана. Розглянуто різні види ризиків, такі як механічні травми, електричні небезпеки, вплив шкідливих речовин, шумове та вібраційне навантаження. Визначено, як ці фактори можуть впливати на здоров'я та безпеку працівників. Наведено основні вимоги безпеки, яких необхідно дотримуватися при обслуговуванні мостового крана. Описано заходи щодо запобігання нещасним випадкам, такі як регулярне технічне обслуговування обладнання, використання засобів індивідуального захисту, проведення інструктажів з охорони праці та дотримання правил експлуатації крана. Особливу увагу приділено необхідності постійного контролю за станом крана та своєчасному виявленню та усуненню потенційних небезпек.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи удосконалена система управління електроприводом підвіски гака мостового крана із заданими параметрами. Зроблено розрахунок основних параметрів і здійснено вибір основних елементів частотно-регульованої системи управління.

Вирішено поставлені завдання, що дозволило комплексно оцінити доцільність впровадження системи частотно-регульованого електроприводу для вантажопідйомного механізму мостового крана, а також розроблені необхідні технічні рішення.

Обґрунтовано необхідність використання частотно-регульованого електроприводу. Завдяки можливості плавного регулювання швидкості знижується механічне навантаження на

конструктивні елементи крана, що сприяє збільшенню ресурсу роботи обладнання та зменшенню витрат на технічне обслуговування.

На основі аналізу функціональних вимог розроблено структурну та функціональну схеми системи управління частотно-регульованого електроприводу.

Проведені розрахунки дозволили визначити параметри електроприводу, що забезпечують високу продуктивність і надійність роботи механізму.

Розроблено блок-схему алгоритмів роботи крана, що описує логіку функціонування системи в різних режимах експлуатації. Це дозволило деталізувати процеси управління, врахувати особливості запуску, гальмування, зміни швидкості та режимів роботи електроприводу відповідно до вимог продуктивності та охорони праці.

Проведений розрахунок економічної ефективності підтвердив доцільність впровадження частотно-регульованого електроприводу на підприємстві. Аналіз показав зниження споживання електроенергії, скорочення витрат на технічне обслуговування, зменшення втрат через зношування механічних елементів і підвищення загальної продуктивності крана.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Razzhyvin O.V., Astafurov A.Yu. Determination of the control process parameters of the frequency regulated electric drive of the bridge crane .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. 63-68 DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-138>.

АНОТАЦІЯ

Астафуров Артем Юрійович. Модернізація АСУ електроприводом мостового крана в умовах цеху металовиробів металургійного 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'єкт дослідження. Електропривід підвіски гака мостового металургійного мостового крана вантажопідйомністю 16 тон.

Предмет дослідження. АСУ частотно-регульованим електроприводом вантажопідйомного механізму мостового крана.

У першому розділі проведено аналіз поточного стану електроприводу мостового крана в умовах цеху металовиробів металургійного комбінату. Надана загальна характеристика наявної системи управління електроприводу, визначені її недоліки та необхідність удосконалення існуючої системи. Модернізація системи управління з релейно-контакторної на частотно-регульовану, що підвищить ефективність роботи мостового крана.

У другому розділі розглянуто параметри об'єкту автоматизації, визначені задачі АСУ електроприводом підйому гака мостового крана, здійснено вибір технічних рішень з модернізації електроприводу та засобів контролю технологічних параметрів електроприводної системи, виконано проектування функціональної схеми автоматизації, обґрунтована запропонована структура системи управління.

У третьому розділі обґрунтовано вибір технічних засобів та перетворювача частоти електроприводу підйому гаку мостового крана; спроектовано АСУ електроприводом підйому гаку крана; розроблено блок-схему алгоритмів роботи крана в заданих режимах та імітаційну математичну модель частотно-регульованого електроприводу підйому мостового крана.

У четвертому розділі обґрунтовано економічну доцільність впровадження запропонованої системи управління електроприводом підйому гака мостового крана.

У п'ятому розділі проаналізовані шкідливі та небезпечними виробничі факторами, які впливають на працівників при експлуатації мостового крана та наведені основні вимоги безпеки при обслуговуванні мостового крана.

Ключові слова: мостовий кран, електропривод, частотний перетворювач, система управління, регулятор, контролер, SIMATIC S7-1500

ABSTRACT

Astafurov Artem Yurievich. Modernization of the ACS with an electric drive of a bridge crane in the conditions of the metal products shop of a metallurgical plant. - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". OPP

"Intelligent control systems and robotic complexes in mining and metallurgical production" - LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC", Kamianske, 2025.

Object of research. Electric drive of the suspension hook of a bridge metallurgical bridge crane with a lifting capacity of 16 tons

Subject of research. ACS with a frequency-controlled electric drive of the lifting mechanism of a bridge crane.

The first section analyzes the current state of the electric drive of the bridge crane in the conditions of the metal products shop of the metallurgical plant. A general characteristic of the existing electric drive control system is given, its shortcomings and the need to improve the existing system are identified. Modernization of the control system from relay-contactor to frequency-controlled, which will increase the efficiency of the bridge crane.

The second section considers the parameters of the automation object, determines the tasks of the automatic control system for the electric drive of the bridge crane hook, selects technical solutions for the modernization of the electric drive and means of controlling the technological parameters of the electric drive system, designs a functional automation scheme, and justifies the proposed structure of the control system.

The third section justifies the choice of technical means and frequency converter for the electric drive of the bridge crane hook; designs an automatic control system for the electric drive of the crane hook; a block diagram of the crane operation algorithms in the specified modes and a simulation mathematical model of the frequency-controlled electric drive for lifting the bridge crane have been developed.

In the fourth section, the economic feasibility of implementing the proposed control system for the electric drive for lifting the bridge crane hook has been substantiated.

In the fifth section, harmful and dangerous production factors that affect workers during the operation of the bridge crane have been analyzed and the basic safety requirements for servicing the bridge crane have been given.

Key words: overhead crane, electric drive, frequency changer, control system, regulator, controller, SIMATIC S7-1500