

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 системи керування пуском  
електродвигунів насосів високого тиску мартенівського цеху»**

Здобувач

Володимир СИЧОВ

Кривий Ріг 2024

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 системи керування пуском електродвигунів насосних станцій високого тиску є надзвичайно актуальною у контексті підвищення енергоефективності та надійності промислових об'єктів. В умовах сучасних викликів, зокрема, через енергетичну кризу та економічні труднощі, обумовлені війною в Україні, питання енергозбереження набуває особливої значущості.

**Постановка проблеми.** Основна проблема кваліфікаційної роботи полягає у високому енергоспоживанні та зношенні електродвигунів насосних станцій через застарілі системи пуску, що призводить до підвищених витрат на електроенергію та обслуговування.

**Мета дослідження.** Розробити, обґрунтувати та впровадити заходи щодо модернізації системи керування пуском електродвигунів насосної станції високого тиску мартенівського цеху шляхом встановлення частотного перетворювача для підвищення енергоефективності та надійності обладнання.

### **Задачі дослідження:**

- здійснити аналіз існуючої системи пуску електродвигунів насосної станції;
- проаналізувати теоретичні основи та принципи роботи частотних перетворювачів;
- розробити програму та методику проведення експериментальних досліджень;
- оцінити ефективність впровадження частотного перетворювача;
- виконати економічний аналіз доцільності впровадження частотного перетворювача.

**Об'єкт дослідження** – система пуску електродвигунів насосної станції високого тиску.

**Предмет дослідження** – частотний перетворювач як засіб модернізації системи пуску електродвигунів.

**Результати та обґрунтування їх новизни / іноваційності.** У роботі проведено детальний аналіз існуючої системи пуску електродвигунів насосної станції, що включає шість насосів з високовольтними двигунами 6000 В. Встановлено, що частотний перетворювач дозволяє плавно регулювати швидкість обертання електродвигунів, що забезпечує оптимізацію роботи насосів, зниження енергоспоживання та зменшення зносу механічних частин. Встановлено, що використання частотного перетворювача дозволяє зменшити споживання електроенергії на 27% за рахунок оптимізації швидкості обертання електродвигунів. Розроблено рекомендації щодо використання частотного перетворювача в насосних станціях

для підвищення енергоефективності та надійності обладнання. Економічний розрахунок показав, що чистий прибуток від впровадження частотного перетворювача становить 1 950 000 грн, а період окупності складає 0,53 роки. Робота містить практичні рекомендації щодо впровадження частотних перетворювачів на промислових підприємствах для підвищення енергоефективності та зниження експлуатаційних витрат. Результати дослідження можуть бути використані для модернізації інших промислових об'єктів, що працюють у важких умовах.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи становить 75 сторінок, робота містить 34 рисунки, 5 таблиць. Список використаних джерел складається з 19 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Сучасні вимоги до енергозбереження та ефективного використання ресурсів у металургійній промисловості вимагають постійного вдосконалення технологічних процесів. Насосні станції високого тиску, які є невід'ємною частиною мартенівських цехів, виконують важливу функцію забезпечення циркуляції охолоджувальної води та інших технологічних рідин. Проте, більшість насосних станцій оснащені застарілими системами пуску електродвигунів, що призводить до підвищених енергетичних витрат, частих збоїв та дорогого технічного обслуговування.

В умовах війни в Україні питання енергозбереження набуває особливої гостроти. Пошкодження інфраструктури та дефіцит енергоресурсів вимагають максимально ефективного використання наявних ресурсів. Модернізація системи пуску електродвигунів із застосуванням частотних перетворювачів дозволяє значно знизити споживання електроенергії, підвищити стабільність роботи обладнання та зменшити витрати на його обслуговування, що є критично важливим в сучасних умовах.

Насосна станція високого тиску мартенівського цеху відіграє важливу роль у технологічному процесі металургійного виробництва. Основною функцією станції є забезпечення охолодження ключових агрегатів та механізмів мартенівських печей. В умовах експлуатації насосної станції виникає ряд проблем, пов'язаних із застарілою системою пуску електродвигунів, що призводить до значних енергетичних втрат, зношення механізмів та збільшення витрат на обслуговування.

Аналіз існуючих систем пуску показав, що традиційний прямий пуск електродвигунів створює підвищене навантаження на електромережу, а високі пускові струми можуть перевищувати

номінальні у 5-7 разів. Це призводить до зниження загальної ефективності роботи насосного обладнання та збільшення ризику аварійних ситуацій.

Високі пускові струми негативно впливають на стан електродвигунів та насосів, спричиняючи прискорене зношення підшипників і обмоток. Це зменшує середній термін експлуатації обладнання на 15-20% та збільшує потребу у плановому технічному обслуговуванні. Згідно з даними підприємства, у період з 2018 по 2023 рік витрати на ремонт насосної станції зросли на 28%, що свідчить про зростаючий рівень зношення основних агрегатів.

Для вирішення цих проблем запропоновано модернізацію системи керування пуском електродвигунів шляхом впровадження частотного перетворювача. Дане рішення дозволяє плавно регулювати швидкість обертання електродвигунів, що забезпечує оптимізацію роботи насосів, зниження енергоспоживання та зменшення зносу механічних частин.

Розрахунки показали, що застосування частотного перетворювача дозволяє зменшити пікові навантаження на електромережу на 42%, що забезпечує стабільнішу роботу інших агрегатів, підключених до тієї ж системи електропостачання. Окрім цього, зниження пускових струмів сприяє зменшенню теплових втрат в обмотках електродвигунів на 18%, що значно подовжує їх експлуатаційний термін.

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність використання частотного перетворювача у насосній станції. Було встановлено, що модернізована система забезпечує зменшення часу виходу двигунів на робочий режим на 23%, що покращує загальну динаміку роботи насосного обладнання. Також вдалося зменшити споживання електроенергії на 27% у порівнянні з традиційним методом прямого пуску.

Зменшення витрат на електроенергію та обслуговування дозволяє досягти значного економічного ефекту. Розрахунки показали, що економія електроенергії унаслідок впровадження частотного перетворювача становить приблизно 650 тисяч кВт·год на рік, що у грошовому еквіваленті дає змогу знизити витрати підприємства на 1 950 000 грн щороку. Окупність проєкту становить 0,53 роки, що свідчить про його високу ефективність та доцільність впровадження.

Окрім фінансових вигод, модернізація позитивно впливає на безпеку роботи насосної станції. Використання частотного перетворювача дозволяє уникнути різких навантажень на механізми насосів, що знижує ймовірність аварійних відключень на 31%. Це забезпечує більш стабільну роботу всієї системи охолодження мартенівських печей, що є критично важливим для безперервного виробничого процесу.

Отримані результати свідчать про значне покращення техніко-економічних показників насосної станції після модернізації. Зниження витрат на електроенергію, підвищення надійності роботи обладнання та збільшення терміну служби електродвигунів забезпечують високу ефективність запропонованих рішень.

Метою цієї кваліфікаційної роботи є розробка, обґрунтування та впровадження заходів щодо модернізації системи пуску електродвигунів насосної станції високого тиску мартенівського цеху шляхом встановлення частотного перетворювача. Це дозволить підвищити енергоефективність, зменшити навантаження на електричну мережу, продовжити термін служби обладнання та знизити витрати на технічне обслуговування.

В ході дослідження було проведено детальний аналіз існуючої системи пуску електродвигунів насосної станції, вивчено теоретичні основи та принципи роботи частотних перетворювачів, їх вплив на характеристики електродвигунів та загальну ефективність насосних станцій. Розроблено програму та методику проведення експериментальних досліджень з метою оцінки ефективності впровадження частотного перетворювача. Визначено технічні характеристики та вимоги до апаратури та обладнання, необхідних для проведення експериментів. Проведено експериментальні дослідження, проаналізувано отримані результати та зроблено відповідні висновки. Виконано економічний аналіз доцільності впровадження частотного перетворювача, включаючи розрахунок окупності проекту та потенційні економічні вигоди.

У роботі використовувались методи теоретичного аналізу, моделювання, експериментальні дослідження та економічний аналіз. Теоретичні аспекти включають аналіз принципів роботи частотних перетворювачів та їх впливу на електродвигуни. Експериментальні дослідження передбачали тестування нової системи в умовах, наближених до реальних, з метою оцінки її ефективності. Економічний аналіз включав розрахунок вартості впровадження частотного перетворювача та оцінку економічних вигод від зниження експлуатаційних витрат.

Кваліфікаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків та списку використаних джерел. У першому розділі проведено аналіз предметної області, у другому розглянуто теоретичні аспекти частотних перетворювачів, третій розділ присвячений програмі, методиці та результатам експериментальних досліджень, а четвертий розділ містить економічний аналіз впровадження частотного перетворювача. У висновках підсумовано результати роботи та запропоновано напрямки подальших досліджень.

Значимість цієї роботи полягає в підвищенні енергоефективності та надійності роботи насосної станції з

використанням частотного перетворювача. Розроблені рекомендації щодо впровадження частотних перетворювачів дозволяють значно знизити енергоспоживання, що сприяє економії витрат на електроенергію. Також, завдяки вдосконаленню системи пуску електродвигунів, зменшується зношення обладнання, що подовжує термін його служби. Отримані результати можуть бути використані для модернізації інших насосних станцій та виробничих процесів, що потребують точного регулювання швидкості обертання електродвигунів.

Цей підхід не лише покращує роботу конкретних систем, а й створює базу для подальших досліджень у напрямку енергоефективного управління промисловими процесами.

Таким чином, модернізація системи керування пуском електродвигунів насосів високого тиску мартенівського цеху шляхом впровадження частотного перетворювача є не лише технічно обґрунтованим, але й економічно вигідним рішенням, що дозволяє значно підвищити енергоефективність та надійність роботи підприємства.

## ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі розглянуто модернізацію системи пуску електродвигунів насосної станції високого тиску мартенівського цеху з використанням частотного перетворювача. В умовах сучасних викликів, особливо з огляду на економічну ситуацію та необхідність енергозбереження в Україні, ця модернізація є надзвичайно актуальною.

Аналіз існуючої системи показав, що встановлення частотного перетворювача є необхідним для підвищення енергоефективності та надійності роботи насосної станції. Використання частотного перетворювача дозволяє оптимізувати швидкість обертання електродвигунів, що знижує енергоспоживання та збільшує термін служби обладнання.

Теоретичні дослідження підтвердили ефективність застосування частотних перетворювачів для регулювання швидкості асинхронних двигунів. Використання частотних перетворювачів дозволяє забезпечити стабільну та ефективну роботу насосної станції в складних умовах експлуатації.

Методика експериментальних досліджень включала моделювання роботи насосної станції, встановлення частотного перетворювача, енкодера Koyo TRD-S Series та датчика тиску Сафір М 5151. Експерименти підтвердили, що зменшення частоти обертання двигуна на 10% дозволяє знизити споживання електроенергії приблизно на 27%.

Економічний розрахунок показав високу економічну ефективність проекту. Загальні початкові витрати на модернізацію складають 2 208 000 грн, при цьому річна економія електроенергії становить 591 705 кВт·год, що відповідає 4 185 000 грн. Чистий прибуток складає 1 950 000 грн, а період окупності проекту становить лише 0,53 роки (близько 6 місяців).

Практичні рекомендації щодо впровадження частотних перетворювачів на промислових підприємствах дозволяють підвищити енергоефективність та знизити експлуатаційні витрати. Результати дослідження можуть бути використані для модернізації інших промислових об'єктів, що працюють у важких умовах.

Таким чином, проведені дослідження та розрахунки підтвердили доцільність та ефективність модернізації системи пуску електродвигунів насосної станції високого тиску з використанням частотного перетворювача. Це забезпечує значну економію енергоресурсів, підвищує надійність і стабільність роботи обладнання, що є надзвичайно важливим в умовах сучасних економічних та енергетичних викликів.

#### ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Tsymbal B.M., Sychov V.V. Modernization of the start-up control system of electric motors of high-pressure pumps 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. 115–118. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-506-8-154>

2. Цимбал Б.М., Сичов В.В. Особливості роботизації металургійного виробництва. Науковий Журнал Метінвест Політехніки. Серія: Технічні науки. Одеса : Видавничий дім «Гельветика». 2024. № 1. С. 25-31. DOI:<https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-4>.

#### АНОТАЦІЯ

Сичов Володимир Вікторович. Модернізація системи керування пуском електродвигунів насосів високого тиску 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.

Об'єкт дослідження є система пуску електродвигунів насосної станції високого тиску.

Предмет дослідження є частотний перетворювач як засіб модернізації системи пуску електродвигунів.

У першому розділі проведено аналіз предметної області, що включає детальний огляд існуючої системи пуску електродвигунів насосної станції високого тиску. Виявлено основні недоліки системи та обґрунтовано необхідність її модернізації.

У другому розділі розглянуто теоретичні аспекти частотних перетворювачів, зокрема, їх вплив на характеристики електродвигунів та загальну ефективність насосних станцій.

Третій розділ присвячений програмі, методиці та результатам експериментальних досліджень. Проведено тестування нової системи в умовах, наближених до реальних, з метою оцінки її ефективності.

У четвертому розділі виконано економічний аналіз доцільності впровадження частотного перетворювача, включаючи розрахунок окупності проекту та потенційні економічні вигоди.

Ключові слова: енергозбереження, частотний перетворювач, насосна станція, електродвигун, модернізація, економічний розрахунок, енергоефективність, промислове обладнання

## ABSTRACT

Sychev Volodymyr Viktorovich. Modernization of the control system for starting electric motors of high-pressure pumps of the open-hearth shop. - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 133 "Industrial mechanical engineering". Educational Programme "Computer design of mechatronic systems" - LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC", Kryvyi Rih, 2024.

The object of the study is the starting system of electric motors of a high-pressure pumping station.

The subject of the study is a frequency converter as a means of modernizing the starting system of electric motors.

In the first section, an analysis of the subject area is carried out, which includes a detailed review of the existing starting system of electric motors of a high-pressure pumping station. The main shortcomings of the system are identified and the need for its modernization is justified.

The second section considers the theoretical aspects of frequency converters, in particular, their impact on the characteristics of electric motors and the overall efficiency of pumping stations.

The third section is devoted to the program, methodology and results of experimental research. The new system was tested in conditions close to real ones in order to assess its efficiency.

The fourth section performs an economic analysis of the feasibility of implementing a frequency converter, including calculating the project payback and potential economic benefits.

Keywords: energy saving, frequency converter, pumping station, electric motor, modernization, economic calculation, energy efficiency, industrial equipment