

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  
в гірничо-металургійному виробництві»  
за спеціальністю 151 Автоматизація  
і комп'ютерно-інтегровані технології

**на тему «Автоматизована система контролю та обліку  
енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6кВ  
комбінату з метою підвищення стабільності оперативного  
диспетчерського управління і моніторингу підстанції»**

Здобувач



Володимир ПРАСОЛ

Кам'янське 2024

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

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

Керівник:



Разживін Олексій Валерійович  
к.т.н., доцент, доцент

Захист відбудеться 23 січня 2024 р. о 09:00 год на засіданні екзаменаційної комісії ([https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting\\_ZDliOWZhMzUtMzE0My00NzVkLTkyOWItNmE3OTM4ZmQwNWNm%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d](https://teams.microsoft.com/join/19%3ameeting_ZDliOWZhMzUtMzE0My00NzVkLTkyOWItNmE3OTM4ZmQwNWNm%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2201efadc2-6354-43fb-8f92-8e8c2485636b%22%7d)).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 19 січня 2024 р.

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність теми роботи.** Сучасні технологічні процеси вимагають постійного технічного оновлення та впровадження найкращих методів оптимізації роботи. Оптимізація стосується не лише менеджменту, логістики, промислових майданчиків, а й енергетичних об'єктів – підстанцій. Оптимальне використання енергетичних ресурсів, зокрема електричної енергії, є ключовою метою світової спільноти, оскільки природні ресурси виснажуються. Розробка і впровадження альтернативних джерел відновлювальної енергії підштовхнуло технічний розвиток, у тому числі, в сфері енергетики. Цифрові підстанції в Україні з'явилися не так давно, оскільки реконструкція традиційних підстанцій вимагає чималих фінансових інвестицій, але часткове впровадження технічних рішень поступово відбувається.

**Метою кваліфікаційної роботи** є проведення дослідження щодо оптимізації роботи електричної системи, а саме впровадження часткової системи автоматизації та автоматичного контролера реактивної потужності, оскільки енергопостачальні організації виставляють певні вимоги щодо обліку активної та реактивної потужності.

**Результати дослідження.** Виявлено, що після проведення симуляції коефіцієнт потужності автоматично підлаштовується, в залежності від поточного навантаження активного, індуктивного або ємнісного характеру, під задані параметри. Оскільки впровадження автоматичної корекції коефіцієнта реактивної потужності залежить від автоматизованої системи управління підстанцією було проведено аналіз впровадження системи автоматизації підстанції ГПП 154/6 кВ комбінату шляхом об'єднання пристроїв релейного захисту та управління фідерами у єдину мережу.

Актуальність запропонованої системи відображає апробація теми на Міжнародній науково-технічній конференції та на Всеукраїнській науково-практичній конференції. Оптимізація у роботі енергетичної системи є вкрай важливим інструментом, враховуючі умови сучасності, оскільки використання економічних та сучасних систем автоматизації дозволяє підприємству економити ресурси не тільки за допомогою зменшення поточних рахунків, а й за допомогою збереження ресурсу обладнання.

Система компенсації реактивної потужності має не тільки наукове, а й практичне значення, оскільки використання конденсаторних пристроїв вже активно використовується не тільки великими промисловими підприємствами, а й невеликими організаціями, допомагаючи покращувати характеристики мережі, підвищувати життєвий цикл тощо.

Міжнародні стандарти МЕК 61850, МЕК 60870 допомагають підтримувати зв'язок на новому технічному рівні. За допомогою чітких алгоритмів, впроваджених стандартами, здійснюється підтримка протоколів зв'язку та обладнання підстанції.

*Апробацією результатів магістерської роботи* є публікація тез доповідей на VII Всеукраїнській науково-практичній конференції «СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ЗАСОБИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕЛЕКТРОПРИВОД» 20–23 квітня 2023 року (Краматорськ – Тернопіль, ДДМА, 2023р.); International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – THE MINING AND METALS SECTOR: INTEGRATION OF BUSINESS, TECHNOLOGY AND EDUCATION» November 29–30, 2023.

**Структура та обсяг роботи.** Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та двох додатків. Загальний обсяг роботи становить 70 сторінок, робота містить 37 рисунків, 11 таблиць. Список використаних джерел складається з 20 джерел.

## ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У вступі представлено загальну характеристику досліджуваної теми, обґрунтовано актуальність роботи, зазначено мету, результати, отримані в ході роботи, подано інформацію щодо структури та обсягу дипломної роботи. Висвітлено інформацію щодо апробації роботи на науково-технічних конференціях.

У першому розділі магістерської роботи «Автоматизована система контролю та обліку енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6кВ комбінату з метою підвищення стабільності оперативного диспетчерського управління і моніторингу підстанції» проаналізовано обладнання, яке встановлене на підстанції, принцип роботи обладнання та наявну структуру. Зазначено електричну схему підстанції для наглядного прикладу. Оглянуто декілька існуючих протоколів зв'язку, вказано на їх переваги та недоліки. Розглянуто ключові стандарти зв'язку в сфері автоматизації підстанцій.

Проаналізовано сучасні рішення для автоматизації підстанцій, тенденції до розвитку, новітні пристрої для системи компенсації реактивної потужності.

У другому розділі магістерської роботи «Автоматизована система контролю та обліку енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6кВ комбінату з метою підвищення стабільності оперативного диспетчерського управління і моніторингу підстанції» визначено ключові цілі автоматизації та поставлені відповідні задачі. Зазначено основні схеми компенсації реактивної потужності, описано концепцію роботи системи.

Робота автоматизованої системи компенсації полягає у наступному. З приладів польового рівня зчитуються дані щодо поточного стану коефіцієнта потужності в системі з певною частотою дискретизації. Далі, ці дані за допомогою протоколів зв'язку зчитуються контролером реактивної потужності, який на основі математичного алгоритмування проводить порівняльну характеристику з наявними параметрами своєї системи. Після вирахування поточних даних контролер видає сигнал на перемикання того чи іншого ступеню конденсаторного пристрою, в залежності від потрібного рівня компенсації.

Таким чином, за допомогою автоматизації, рівень поточного значення коефіцієнту потужності можливо утримувати на рівні 0.92...0.95, як того потребують відповідні положення.

Третій розділ магістерської роботи «Автоматизована система контролю та обліку енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6кВ комбінату з метою підвищення стабільності оперативного диспетчерського управління і моніторингу підстанції» присвячений реалізації запропонованої системи та математичному, алгоритмічному впровадженню моделі автоматичного контролера компенсації реактивної потужності в існуючу систему управління, за допомогою середі програмного забезпечення Matlab. Також, визначено основне програмне забезпечення для роботи з частковою системою автоматизації терміналів захисту та управління, приведено приклади його застосування.

У четвертому розділі магістерської роботи «Автоматизована система контролю та обліку енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6кВ комбінату з метою підвищення стабільності оперативного диспетчерського управління і моніторингу підстанції» проведена оцінка економічної ефективності системи автоматизації та обґрунтовано доцільність впровадження системи.

## ВИСНОВКИ

Системи автоматизації технологічних процесів використовують для зменшення використання людських ресурсів та підвищення ефективності роботи машин і механізмів. Після впровадження таких систем великими підприємствами підвищуються показники якості продукції, зменшується час на випуск продукції та оптимізуються процеси виробництва. Отже, використання автоматизованих систем є важливим напрямком для підвищення конкурентної спроможності та оптимізації використання ресурсів. Автоматизація може відбуватися як частковою так і повністю, з використанням найсучасніших технологій. Наприклад, часткове використання штучного інтелекту або машинного навчання в процесах автоматизації стає дедалі

популярнішим. Використання промислових роботів для виконання рутинних процесів набирає популярності і в нашій країні, оскільки робот може виконувати роботу набагато якісніше та ефективніше ніж людина, керуючись заданими, чіткими алгоритмами. Повна автоматизація підприємства доцільна лиш у випадках виробництва продукції з високою добавленою вартістю або у випадках відбудови підприємства наново, оскільки реконструкція повного циклу має великий час окупності. Найчастіше, все ж таки, використовують часткову автоматизацію певних процесів або агрегатів.

Автоматизація системи управління підстанціями є компромісним рішенням між класичними підстанціями та повністю цифровими, яке пом'якшує перехідні процеси. Традиційні підстанції передають як аналогові так і дискретні сигнали, використовуючи велику кількість мідних кабелів, що формує велику кількість питань у разі їх пошкодження. Цифрові підстанції використовують значно зменшену кількість кабельної продукції, маючи змогу передавати сигнали дистанційно.

З 1 січня 2024 року оператор системи передачі України став 40-м членом асоціації європейської мережі системних операторів передачі електроенергії (ENTSO-E). Для постійного з'єднання енергосистем континентальної Європи та України потрібно виконання певних технічних вимог, які стосуються і технічного оновлення енергетичної системи.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є електрична підстанція металургійного комбінату. Електричні системи є невід'ємною частиною технологічних процесів, які, також, важливо оптимізувати та автоматизувати. Використання традиційних підстанцій сьогодні обумовлено низькою дослідницькою базою, оскільки доступність технологій та їх впровадження напряму залежить від економічного розвитку країни. Незважаючи на виклики сучасності, процес розвитку науково-технічної та матеріальної бази в сфері автоматизації підстанції має тенденції до розвитку.

Автоматизація систем управління підстанцією та їх впровадження є державною політикою, оскільки переведення потужностей на європейський ринок електричної енергії вимагає відповідних потреб і зобов'язань. Поява нових стандартів, протоколів зв'язку, електричного обладнання щільно інтегрується в наше життя, оскільки використання тих чи інших пристроїв або зникає з ринку, або не відповідає вимогам. Цілі шафи обладнання, наприклад, релейного захисту, може замінити один інтелектуальний електронний пристрій, розміром з невеликий прилад. Оптимізація та диджиталізація обладнання відбувається крок за кроком, покращуючи той чи інший процес. Розвиток нанотехнологій та мікроелектроніки сприяв

неймовірному стрибку в історії людства – стрибку від першої до четвертої промислової революції.

Запропонована часткова система автоматизації підстанції обумовлена попередньою реконструкцією підстанції 2021 року, в період якої було замінено обладнання застарілого типу на сучасне нове. Також, впровадження системи автоматизації компенсації реактивної потужності якісно підвищує показники електричної мережі, оскільки від електричної енергії напряму залежить собівартість продукції. Зменшення штрафних санкцій за використання реактивної потужності, стабілізація параметрів струму та напруги, фільтрація мережі від гармонік вищих порядків, збереження обладнання – невеликий перелік переваг від впровадження системи автоматизації.

Не менш важливою часткою впровадження автоматизованої системи управління є закладення фундаменту під подальшу модернізацію, оскільки впровадження системи автоматизації підстанції та автоматизація пристроїв компенсації актуальна не тільки для однієї підстанції підприємства. На основі запропонованої системи можна вдосконалити інші підстанції та системи, які таким самим чином можуть бути під'єднані до існуючої системи або як відгалуження.

Проведене моделювання запропонованої системи автоматизації наявно показує переваги від використання. Зменшення часу пересувань черговим персоналом фактично відображається на ефективності їх роботи. З урахуванням впровадження автоматизованого робочого місця та можливістю дистанційних перемикачів зменшуються ризики отримання електричних травм персоналом або помилкових перемикачів. Також, проведені розрахунки вказують на невеликі інвестиційні вкладення та короткий термін окупності.

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Прасол В.А. Цифрова підстанція контролю та обліку енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6 кВ. Сучасні інформаційні технології, засоби автоматизації та електропривод: матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Краматорськ, 20–23 квітня 2023 р. / ред. О. Ф. Тарасова, 2023. С. 92 – 94.

2. Razzhyvin O.V., Prasol V.A. An overview of automated control systems  $\cos \varphi$  in the 6 kV electricity network. International scientific conference «MININGMETALTECH 2023 – The mining and metals sector: integration of business, technology and education» conference

proceedings, Riga, the Republic of Latvia, November 29–30, 2023. «Baltija Publishing», Riga, Latvia, 2023. V.2. P. 51 – 55.

DOI <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-361-3-97>

## АНОТАЦІЯ

Прасол Володимир Анатолійович. Автоматизована система контролю та обліку енергосистеми низької сторони підстанції ГПП 154/6кВ комбінату з метою підвищення стабільності оперативного диспетчерського управління і моніторингу підстанції. – Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». ОПП «Інтелектуальні системи управління у гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2024.

Об'єктом дослідження система автоматичного управління та система автоматизації підстанції ГПП 154/6 кВ металургійного комбінату.

Предметом дослідження є часткова автоматизація системи управління підстанцією та автоматизація компенсуючих пристроїв.

У першому розділі проведено аналіз літературних джерел існуючих систем автоматизації щодо дослідження питань автоматизації системи управління електричною енергією та автоматичної корекції коефіцієнта потужності. В результаті дослідження визначена необхідність часткової модернізації системи автоматизації та виявлено недоліки наявної системи, які планується дослідити в кваліфікаційній роботі.

У другому розділі проведено аналіз наявних схем компенсації реактивної потужності, визначено та сформовано технічні рішення щодо модернізації існуючої системи автоматизації. Обґрунтована запропонована топологія та структура майбутньої системи, наведено перелік функціональних задач.

У третьому розділі вибрано тип та клас технічних засобів для певних рівнів автоматизації, обумовлених системою, спроектовано систему автоматичного регулювання коефіцієнта потужності, розроблено та частково впроваджене конфігурування параметрів терміналу релейного захисту та управління.

У четвертому розділі було економічно підтверджено доцільність запропонованої системи автоматизації шляхом відповідних розрахунків.

Сторінок – 70, рисунків – 37, таблиць – 11, креслень – 6, джерел – 20, додатків – 2.

Ключові слова: автоматизовані системи управління, коефіцієнт потужності, автоматизація підстанції, МЕК 61850, автоматичний контролер, цифрова підстанція.

## ABSTRACT

Prasol Volodymr. Automated power grid control and metering system of the low-voltage side of the 154/6 kV of plant main step-down substation to improve the stability of supervisory control and monitoring of the substation. - Qualifying work on the rights of the manuscript.

Theses for a Master's degree in Automation and Computer-Integrated Technologies, the specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies" Educational Program "Intelligent Control Systems in the Metals and Mining Sector" TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNICS", LLC, Kamyanske, 2024.

The object of the study is the automatic control system and automation system of the 154/6 kV GIS substation of a metallurgical plant.

The subject of the study is partial automation of the substation control system and automation of compensating devices.

The first section analyzes the literature sources of existing automation systems to study the automation of the power management system and automatic power factor correction. As a result of the study, the need for partial modernization of the automation system was determined and the shortcomings of the existing system were identified, which are planned to be investigated in the qualification work.

The second section analyzes the existing reactive power compensation schemes, identifies, and formulates technical solutions for modernizing the existing automation system. The proposed topology and structure of the future system are substantiated, and a list of functional tasks is presented.

The third section selects the type and class of technical means for certain automation levels determined by the system, designs a system for automatic power factor control, and develops and partially implements the configuration of the parameters of the relay protection and control terminal.

In the fourth section, the feasibility of the proposed automation system was economically confirmed by means of appropriate calculations.

Pages - 70, figures - 37, tables - 11, drawings - 6, references - 20, appendices - 2.

Keywords: automated control systems, power factor, substation automation, IEC 61850, automatic controller, digital substation.