

Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»  
Факультет енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра електротехніки, електромеханіки і електротехнологій

## ДИПЛОМНА РОБОТА

на тему:

### ПІДВИЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ РЕЧОВИН

**Виконав:**

здобувач вищої освіти денної форми навчання  
освітнього ступеня «Магістр», освітньо-  
професійної програми «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

\_\_\_\_\_ **Володимир МАНУЩАК**

**Керівник:** кандидат технічних наук, доцент

\_\_\_\_\_ **Олександр КОЗАК**

**Оцінка захисту:**

Національна шкала \_\_\_\_\_

Кількість балів \_\_\_\_\_ Шкала ECTS \_\_\_\_\_

**Допускається до захисту:**

«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2023 р.

Керівник проектної групи (гарант освітньої  
програми) «Електроенергетика, електротехніка  
та електромеханіка» спеціальності 141  
«Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка»

кандидат технічних наук, доцент \_\_\_\_\_ **Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2023р.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                             |                                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| ВСТУП.....                                                                                                                                                  | 7                                      |
| РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ДОСЛІДЖЕНЬ ПРОЦЕСУ ДОЗУВАННЯ СИПКИХ РЕЧОВИН .....                                                                                           | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА АСУ ТП ДЛЯ ДОЗУЮЧОЇ УСТАНОВКИ.....                                                                                                        | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.1 Опис технологічного процесу і устаткування.....                                                                                                         | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.2 Аналіз і класифікація технологічних змінних, керуючих дій, точок виміру, контролю і управління.....                                                     | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.3 Складання переліку вимірюваних технологічних керуючих змінних і дій, а також середовища і умов роботи вимірювальних і регулюючих пристроїв .....        | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.4 Аналіз взаємозв'язку між технологічними змінними, визначення основних вимог до ведення процесів, формулювання критеріїв якості і цілей управління ..... | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.5 Розробка комплексу технічних засобів АСУ ТПО.....                                                                                                       | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.5.1 Ієрархія рівнів АСУ.....                                                                                                                              | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.5.2 Блок - схема апаратних засобів автоматизації.....                                                                                                     | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.5.3 Функціональна структура системи....                                                                                                                   | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.6 Вибір апаратних засобів на усіх рівнях управління.....                                                                                                  | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.7 Програмне забезпечення на усіх рівнях АСУ ТПО.....                                                                                                      | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 2.8 Обмін інформації між рівнями системи.....                                                                                                               | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА І МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОНИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ ІЗ СКАЛЯРНИМ УПРАВЛІННЯМ.....                                                                    | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |
| 3.1 Визначення параметрів Т - подібної схеми заміщення АД .....                                                                                             | <b>Ошибка! Закладка не определена.</b> |

3.2 Динамічні характеристики скалярного асинхронного електроприводу з автономним інвертором напруги..... **Ошибка! Закладка не определена.**

3.3 Підвищення критичного моменту асинхронного електроприводу. **Ошибка! Закладка не определена.**

3.4 Синтез регулятора ваги на основі модульного оптимуму ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

## РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА І МОДЕЛЮВАННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ВЕКТОРНИМ УПРАВЛІННЯМ **Ошибка! Закладка не определена.**

4.1 Визначення параметрів електроприводу **Ошибка! Закладка не определена.**

4.2 Параметри елементів силового каналу електроприводу **Ошибка! Закладка не определена.**

4.3 Перевірка вибору асинхронного електроприводу шнекового дозатора по моменту ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.4 Природні характеристики електродвигуна **Ошибка! Закладка не определена.**

4.5 Розрахунок параметрів елементів силового каналу з урахуванням ШІМ вихідної напруги інвертора ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.6 Розрахунок параметрів налаштування контура струму з ПІ регулятором і аналоговим датчиком..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.7 Розрахунок параметрів налаштування контура потокозчеплення з ПІ-регулятором без датчика ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.8 Розрахунок параметрів налаштування контура швидкості з ПІ-регулятором і аналоговим датчиком..... **Ошибка! Закладка не определена.**

4.9 Імітаційна модель і дослідження електроприводу **Ошибка! Закладка не определена.**

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ АСИНХРОННИХ ЕЛЕКТРОПРИВОДІВ З ПРОГНОЗУЮЧИМ УПРАВЛІННЯМ ..... **Ошибка! Закладка не определена.**

5.1 Розробка прогнозуючого управління... **Ошибка! Закладка не определена.**

5.2 Дозуюча установка і вимірювальні пристрої **Ошибка! Закладка не определена.**

5.3 Регулятор..... **Ошибка! Закладка не определена.**

|                                                                              |                                 |
|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|
| 5.4 Визначення квадратичної програми $K_{\text{ИХ}}$ регулятора              | Ошибка! Закладка не определена. |
| 5.5 Модель оцінки .....                                                      | Ошибка! Закладка не определена. |
| 5.6 Розробка автоматизованої системи управління для дозуючої установки ..... | Ошибка! Закладка не определена. |
| ВИСНОВКИ.....                                                                | 8                               |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ.....                                              | 10                              |

## АНОТАЦІЯ

Проведений аналіз існуючих технологічних процесів дозування сипких речовин показав, що підвищення точності дозування, істотно знижує продуктивність технологічного процесу, а у свою чергу, підвищення продуктивності знижує точність технологічного процесу дозування. Для вирішення цієї проблеми в цій дисертації був розроблений технологічний процес для високоточного порційного дозування сипких речовин.

Для управління електроприводом шнекового живильника використовується система з векторним управлінням, що дозволяє контролювати не лише величину і частоту напруги, але і фазу. Векторне управління має більш високу продуктивність в порівнянні із скалярним управлінням і рядом переваг.

## ANNOTATION

The analysis of the existing technological processes of dosing of loose substances showed that increasing the accuracy of dosing significantly reduces the productivity of the technological process, and in turn, increasing the productivity reduces the accuracy of the technological process of dosing. To solve this problem, this thesis developed a technological process for high-precision batch dosing of loose substances.

A system with vector control is used to control the electric drive of the screw feeder, which allows you to control not only the magnitude and frequency of the voltage, but also the phase. Vector control has higher performance compared to scalar control and a number of advantages.

## РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота містить: 83 с., 48 рисунків, 7 таблиць, 22 літературних джерела.

Об'єктом дослідження дозуюча установка сипких речовин.

Мета роботи - підвищення показників якості управління процесом дозування сипких речовин.

В процесі дослідження проводилися:

1. Розробити технологічний процес для високоточного порційного дозування сипких речовин;
2. Розробити алгоритми управління асинхронним електроприводом шнекового живильника і стрічкового конвеєра;
3. Розробити систему управління електроприводом шнекового дозатора сипких речовин;
4. Розробити імітаційну модель, що дозволяє досліджувати процес дозування сипких речовин.

В результаті дослідження був розроблений технологічний процес для високоточного двоступінчатого порційного дозування сипких речовин. Розроблені системи управління електроприводом шнекового дозатора сипких речовин із скалярним, векторним і предиктивним управлінням.

Розроблені імітаційні моделі для скалярного і векторного управління.

Основні техніко-експлуатаційні характеристики:

1. Точність дозування  $\pm 3\%$ ;
2. Продуктивність (12 год.) 36 тон.

Ключові слова: АСИНХРОННИЙ ЕЛЕКТРОДВИГУН, ВЕКТОРНЕ УПРАВЛІННЯ, НАПРУГА, АВТОМАТИЧНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КУТОВА ШВИДКІСТЬ, СТРУМ, МЕРЕЖА, МОДЕЛЬ

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун

АСУ – автоматична система управління

АРМ – автоматизація робочого місця

ВО – виконавчий орган

ДСД – датчики струму двигуна

ЗІ – задатчик інтенсивності

К – контроллер

МКУ – мікропроцесорний контроллер управління

ПЧ – перетворювач частоти

ПКП, ПКО – прямий і зворотний координатні перетворювачі

ПЧН – перетворювач «частота - напруга»

FASTWEL I/O – модульний програмований логічний контроллер

## ВСТУП

Розробка і дослідження автоматичної системи управління технологічного комплексу порційного вагового дозування сипких матеріалів, що гарантує високу продуктивність при високій точності дозування, на сьогодні **актуально**.

**Метою цієї роботи** було поставлено підвищення продуктивності вертикального порційного дозування сипких матеріалів, із застосуванням ефективного алгоритму управління для, асинхронного електроприводу шнекового живильника.

**Об'єктом дослідження** став технологічний процес дозування сипких речовин і спосіб його управління.

Предметом дослідження стала побудова алгоритму управління електроприводом шнекового живильника.

Новизною цієї роботи стала розробка двоступінчатого технологічного процесу дозування сипких речовин і розробка системи управління електроприводом шнека із скалярним, векторним і предиктивним управлінням.

**З практичної** точки зору реалізація цього проекту дозволить підвищити продуктивності дозуючих установок без втрати точності.

Пропрацював технологічний процес вертикального порційного дозування сипких матеріалів. Введені конструктивні зміни в дозуючу установку і пропрацювали методи управління приводом шнекового живильника. Прораховані алгоритми управління асинхронним електроприводом шнекового живильника. Побудовані імітаційні моделі для скалярного і векторного управління і зняті експериментальні дослідження. По цій роботі була написана стаття в III Всеукраїнській студентській науково-практичній конференції "Ефективне використання енергії; стан і перспективи" ЗВО «ПДУ».

## ВИСНОВКИ

Дозування є одним з важливих технологічних процесів: металургійній, хімічній і харчовій промисловості, ключовими показниками якості, якої являється точність і продуктивність.

Проведений аналіз існуючих технологічних процесів дозування сипких речовин показав, що підвищення точності дозування, істотно знижує продуктивність технологічного процесу, а у свою чергу, підвищення продуктивності знижує точність технологічного процесу дозування. Для вирішення цієї проблеми в цій дисертації був розроблений технологічний процес для високоточного порційного дозування сипких речовин.

Рішеннями, необхідними для досягнення необхідної точності дозування при незначному зниженні продуктивності, є:

- зміна конструкції дозуючої установки;
- застосування розробленого алгоритму управління, що забезпечує плавність і точність дозування.

Конструкція була змінена таким чином: доданий другий бункер-дозатор з шнековим живильником. Для забезпечення синхронної роботи двох бункерів дозаторів був розроблений алгоритм управління. Перший бункер дозатор забезпечує завантаження сипкої речовини при максимально можливій швидкості в ємність на 90% від еталонної маси, виставленої оператором, а другий бункер-дозатор в той же відведений час забезпечує завантаження сипкої речовини в ємність на 10% від еталонної маси, після чого система проводить контрольне зважування. Контрольне зважування наводиться для порівняння отриманих даних з даними, виставленими оператором. Таким чином, розроблена система дозування з необхідними показниками точності при мінімальному зниженні продуктивності.

Для управління електроприводом шнекового живильника були розраховані скалярна і векторна системи управління.

Для управління електроприводом шнекового живильника використовується система з векторним управлінням, що дозволяє контролювати не лише величину і частоту напруги, але і фазу. Векторне управління має більш високу продуктивність в порівнянні із скалярним управлінням і рядом переваг такими як:

- висока точність регулювання швидкості;
- плавний старт і плавне обертання двигуна в усьому діапазоні частот;
- швидка реакція на зміну навантаження;
- підвищений діапазон управління.

До недоліків такої системи можна віднести високу складність структури системи управління.

У цій роботі була розглянута можливість застосування системи предиктивного управління електроприводом шнекового живильника. Цей метод знаходить все більше застосування в промислових системах управління, що обумовлено його перевагами. Одним з них є мінімум параметрів, що вимагають налаштування. Для успішного застосування предиктивного управління була запропонована модель об'єкту, що має необхідну адекватність і точність.

За допомогою моделі об'єкту управління з'являється можливість передбачати поведінку системи в майбутньому, відповідно до виду дії, що управляє. У результаті була складена структура системи предиктивного управління для дозуючої установки і проведений аналіз усіх частин цієї структури. Були визначені вхідні і вихідні координати, на базі яких відбувається функціонування системи. Складена функціональна схема автоматизованої системи управління технологічним процесом дозування.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. М.Г. Поповича та Лозинського О.Ю., Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи Під редакцією Київ, Либідь, 2005.
2. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін. За ред. М.Г. Поповича. – К. Вища шк., 1993. – 494 с.
3. Ляпушкін С. В., Гусєв Н.В. Синтез регуляторів системи автоматичного дозування сипких матеріалів // Сучасні техніка і технології : збірка праць XV Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих учених. - Полтава: Вид-во ТПУ, 2009.
4. Рогинський, Г. А. Дозування сипких матеріалів / Г. А. Рогинський. - К.: Хімія. - 2008. - 176 с.
5. Каракулов А.С., Гусєв Н.В., Родионов Г. В., Сливенко М.В. Сучасна технологія розробки цифрових систем управління електроприводами // Звістки внз. Електромеханіка. 2011. № 6. С. 46 - 50.
6. Довідкові дані асинхронного електродвигуна серії RA.
7. Чернишев А.Ю., Чернишев И.А. Визначення параметрів схеми заміщення асинхронного двигуна за каталожними даними // Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. - К: Вид-во Київського політехнічного університету, 2007. - С. 269-272.
8. Шрейнер Р. Т. Математичне моделювання електроприводів змінного струму з напівпровідниковими перетворювачами частоти. - Одеса: УРО РАН, 2000. - 654 с.
9. Чкурнув Л. С. Проектування і дослідження автоматизованих електроприводів. Ч. 8. Асинхронний частотно-регульований електропривод: навчальний посібник / Л. С. Чкурнув, О. П. Мальцева, Н. В. Коян; Київський політехнічний університет. - 2-е видавництво перероб. і доп. - Київ, 2014.

10. В. Браун-Аквей, Розробка програмного забезпечення для управління контуром помелу / А. Н. Чохонелидзе, Ф. Лемпого, В. Браун-Аквей / Інтернет-журнал «Наукознавство», 2014. Рад Б.Я., Яковлев С. А. Моделювання систем. - К.: Вища школа, 2001.
11. Олійников В. А., Тихонов О. Н. Автоматичне управління технологічними процесами. - Л.: Надра, 1966.
19. Техніко-економічне обґрунтування інноваційного проекту: методичні вказівки по виконанню економічного розділу ВКР для студентів енергетичних спеціальностей усіх форм навчання. Укладачі: Коршунова Л.А., Кузьміна Н.Г. - К, 2014.
20. Закладний О.М., Тимченко Т.М., Передрій В.Ю, ГромВ.В. Енергозберігаючі аспекти застосування частотно-регульованого електропривода / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: Наукові праці КДПУ. –Кременчук: КДПУ, 2003. –Вип.2(19), Т.1. –с.136-139.
21. Закладний О.М., Праховник А.В., Соловей О.І. Енергозбереження засобами промислового електропривода: Навчальний посібник. – К.: Кондор, 2005. - 408 с.
22. Лісовський В.С., Закладний О.М., Борисюк М.Г. та ін. Автоматизація виробничих процесів у гірничій промисловості: Навч. посіб. для проф.-техн. навч. закл. – К.: Факт, 2001. – 164 с.