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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

РОЗРОБКА КОМПЛЕКСНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО МОНІТОРИНГУ ТА ПІДТРИМКИ МІКРОКЛІМАТУ В ЗЕРНОСХОВИЩАХ

Виконав:
здобувач вищої освіти денної форми навчання освітнього ступеня «Бакалавр», освітньо-професійної програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
_____Іван ПРИТУЛА

Керівник: канд. техн. наук, доцент
_____**Ігор ГАРАСИМЧУК**

Оцінка захисту:
Національна шкала_____
Кількість балів _____Шкала ECTS_____

Допускається до захисту:
«____» _____2026 р.
Гарант освітньої програми «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» кандидат технічних наук, доцент

_____**Ігор ГАРАСИМЧУК**

м. Кам'янець-Подільський, 2026

ЗМІСТ

ВСТУП 5
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ ЗБЕРІГАННЯ ЗЕРНОВОЇ ПРОДУКЦІЇ 7
1.1 Особливості утримання зерна в горизонтальних сховищах 7
1.2 Переваги порівняно з традиційними вертикальними силосами 9
1.3 Перелік технологічних параметрів та їх статичні й динамічні властивості 11
1.4 Характеристика технологічних операцій зберігання зерна 12
РОЗДІЛ 2 АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ЗЕРНОСХОВИЩЕМ 16
2.1 Аналіз технологічних процесів зберігання зерна 16
2.2 Основні функціональні завдання керування 17
2.3 Опис контурів регулювання 18
2.3.1 Контур стабілізації температури в сховищі 18
2.3.2 Контур регулювання вологості та температури 19
2.3.3 Контур контролю рівня зерна 20
2.3.4 Контури керування перекидним клапаном і стрічковими транспортерами 21
РОЗДІЛ 3 ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ 24
3.1 Підбір програмованих логічних контролерів та комп’ютерів 24
3.2 Вибір сенсорів і датчиків 35
3.3 Підбір виконавчих механізмів 39

РОЗДІЛ 4 ТЕХНІЧНА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ 47
4.1. Організація робіт з технічного обслуговування та ремонту (ТОіР) засобів автоматизації 47
3. Метрологічне забезпечення системи автоматизації 50
4.2. Експлуатація та обслуговування програмованого логічного контролера SIMATIC S7-300 та периферійного обладнання 51
4.3. Технічне обслуговування вимірювальних перетворювачів, первинних датчиків та контурів моніторингу мікроклімату 54
4.4. Експлуатація виконавчих механізмів, приводів та запірно-регулюючої арматури 57
4.5. Методика пошуку, локалізації та усунення типових несправностей у системі 59
4.6. Охорона праці та техніка безпеки під час монтажу, налагодження та технічної експлуатації системи автоматизації 62
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ 67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ 69

ВСТУП

Актуальність теми. Агропромисловий комплекс є однією з провідних галузей економіки України, де ефективне збереження зібраного врожаю зернових культур має стратегічне значення для забезпечення продовольчої безпеки. Процес тривалого зберігання зерна в сучасних силосних та підлогових зерносховищах супроводжується ризиками погіршення його якості або повної втрати через процеси самозігрівання, розвиток мікроорганізмів та шкідників, які активізуються за умов недотримання оптимальних параметрів мікроклімату (температури та відносної вологості повітря).

Традиційні локальні засоби контролю не забезпечують необхідної оперативності та точності моніторингу у великих об’ємах зернового насипу, що призводить до запізнілого ввімкнення вентиляційних установок або їх перевитрати електроенергії. У зв'язку з цим, розробка та впровадження комплексних систем автоматичного моніторингу та підтримки мікроклімату на базі сучасних програмованих логічних контролерів (зокрема лінійки Siemens SIMATIC S7-300) та інтегрованих технічних засобів є надзвичайно актуальною науково-практичною задачею. Це дозволяє мінімізувати вплив людського фактора, забезпечити безперервний енергоефективний контроль параметрів зберігання та знизити питомі витрати електроенергії на аерацію зернової маси.

Мета і завдання досліджень. Метою кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та енергоефективності процесу зберігання зерна шляхом розробки комплексної системи автоматичного моніторингу та підтримки оптимальних параметрів мікроклімату в зерносховищах.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

1. Проаналізувати технологічні особливості зберігання зернових культур та обґрунтувати вимоги до параметрів мікроклімату в зерносховищах.
2. Провести аналіз існуючих засобів та систем автоматизації контролю температурно-вологісних режимів зернової маси.
3. Обґрунтувати структуру комплексної системи автоматизації та виконати вибір технічних засобів (первинних вимірювальних перетворювачів, контролерного та комутаційного обладнання).
4. Спроектувати принципові електричні схеми керування виконавчими механізмами вентиляції, аерації та запірної арматури.
5. Розглянути питання технічної експлуатації розробленого комплексу автоматизації та розробити заходи з охорони праці й електробезпеки.

Об’єкт досліджень – процеси автоматичного вимірювання, моніторингу та регулювання параметрів мікроклімату (температури, вологості повітря, рівня заповнення) в технологічних об'ємах зерносховищ.

Предмет досліджень – технічні засоби КВПіА, схемні рішення автоматизації, апаратна конфігурація на базі ПЛК Siemens SIMATIC S7-300 та елементи керування для підтримки заданих режимів зберігання зерна.

Методи досліджень. Для вирішення поставлених завдань у роботі використано:

- методи теорії автоматичного керування (для аналізу та синтезу контурів регулювання технологічних параметрів);
- методи системного аналізу (при виборі структури та апаратного забезпечення комплексу автоматизації);
- методи інженерного та електричного проектування АСУ ТП (при побудові принципових схем та схем автоматизації).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі розв’язано актуальну науково-практичну задачу підвищення надійності та енергоефективності процесу тривалого зберігання зернових культур шляхом обґрунтування та розробки комплексної системи автоматичного моніторингу і підтримки оптимальних параметрів мікроклімату в зерносховищах.

На основі виконаних досліджень та проектних рішень отримано такі основні результати:

1. Проаналізовано технологічні особливості зберігання зернової маси в сучасних силосах та підлогових складах. Визначено критичні чинники (вологість зерна та навколишнього повітря, температура насипу), що впливають на виникнення осередків самозігрівання та активізацію шкідників. Сформульовано жорсткі технічні вимоги до точності вимірювання та оперативності автоматизованого контролю параметрів мікроклімату.

2. Проведено аналіз існуючих засобів та систем автоматизації контролю температурно-вологісних режимів зерносховищ. Виявлено недоліки локальних та застарілих систем регулювання, що виражаються у низькій завадостійкості та високому рівні енергоспоживання. Обґрунтовано доцільність переходу на комплексні децентралізовані системи керування.

3. Обґрунтовано структуру комплексної системи автоматизації на базі промислового програмованого логічного контролера Siemens SIMATIC S7-300.

Здійснено техніко-економічний вибір сучасної елементної бази приладів КВПіА, включаючи багатозонні цифрові термопідвіски, пилозахищені ємнісні давачі рівня та комбіновані вимірювальні перетворювачі вологості й температури повітря з високим класом захисту оболонки (IP65/IP67).

4. Спроектовано принципові електричні схеми керування основними виконавчими механізмами технологічного комплексу. Реалізовано схемні рішення для надійного та безпечного пуску, реверсування та зупину асинхронних електродвигунів вентиляторів системи аерації, витяжних дахових вентиляторів, а також електроприводів секційних засувок і перекидних клапанів. Впроваджено схеми апаратних взаємоблокувань транспортних ліній (норій, конвеєрів) за сигналами датчиків швидкості, обриву та сходу стрічки.

5. Розроблено чіткий технологічний регламент технічної експлуатації засобів автоматики на основі стратегії планово-запобіжних ремонтів (ПЗР). Складено оперативно-діагностичну карту пошуку, локалізації та усунення типових несправностей вимірювальних контурів і периферійного обладнання ПЛК для чергового персоналу.

6. Обґрунтовано комплекс заходів з охорони праці та техніки безпеки при монтажі, налагодженні та експлуатації запроектованого обладнання. Особливу увагу приділено захисному заземленню металоконструкцій, використанню безпечної напруги 24 В для живлення датчиків, забезпеченню вибухобезпеки в умовах високої концентрації зернового пилу, а також безпечному виконанню висотних робіт на дахах силосів.

Запропоновані технічні й схемні рішення дозволяють мінімізувати вплив людського фактора, забезпечити безперервний моніторинг стану зерна, підвищити загальну техногенну безпеку підприємства та знизити питомі витрати електроенергії на підтримку кондиційної якості врожаю.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Галкін П. В., Ключник І. І. Програмування ПЛК в CODESYS : навчальний посібник. Харків : ФОП Панов А. М., 2019. 92 с.

2. ДСТУ 4117:2007. Зерно і продукти його переробки. Визначення показників якості методом інфрачервоної спектроскопії. [Чинний від 2008-01-01]. Київ : Держспоживстандарт України, 2007. 16 с.

3. Технологія зберігання зерна з основами захисту від шкідників / Н. М. Осокіна, І. І. Мостов'як, О. П. Герасимчук, В. В. Любич та ін. – Умань; Київ: СІК ГРУП УКРАЇНА, 2019. – 248 с

4. ДСТУ EN 60529:2018. Ступені захисту, що забезпечують оболонки (Код IP) (EN 60529:1991; A1:2000; A2:2013, IDT). [Чинний від 2019-01-01]. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 46 с.

5. ДСТУ Б А.2.4–16 – 2008. Система проектної документації для будівництва. Автоматизація технологічних процесів. Зображення умовні приладів і засобів. Автоматизації в схемах. Введеній у 2008 році зі скасуванням ГОСТ 21.404–85.

6. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів : затв. наказом Міністерства палива та енергетики України від 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 13.02.2012 р. № 91). Київ : Інпрес, 2012. 414 с.

7. Активне вентилювання та сушіння зерна [Текст] : навч. посіб. / О. І. Гапонюк, М. В. Остапчук, Г. М. Станкевич, І. І. Гапонюк. – Одеса: ВМВ, 2014. – 326 с.

8. Бабич М. Б., Коц С. О. Сучасні технології та обладнання для зберігання зерна : навч. посіб. Одеса : ОНАХТ, 2019. 184 с.

9. Подпрятов Г. І, Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. – К.: Аграрна освіта, 2014. – 393 с.

10. Бурдо О. Г., Безбах І. В. Енергетичний моніторинг та автоматизація процесів сушіння і аерації зернової маси. Наукові праці ОНАХТ. 2018. Т. 82, Вип. 1. С. 45–51.

11. Волошин П. М., Кисліченко В. О. Автоматизований контроль температурних режимів силобудівних зерносховищ на базі промислових ПЛК. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2020. Вип. 208. С. 112–119.

12. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, О.В. Гвоздєв; ред.О.В. Дацишина. Навчальний посібник. – Вінниця: Нова Книга, 2013. – 488с

13. Демко А. О., Лавріненко С. С. Вимірювальні перетворювачі та сенсори для систем моніторингу вологості сипких рослинних матеріалів. Технічна інженерія. 2021. № 2 (88). С. 67–74.

14. Клименко М. В. Проектування принципових електричних схем та контурів захисту електроприводів поточно-транспортних ліній елеваторів. Енергетика і автоматика. 2022. № 4. С. 15–23.

15. Сільськогосподарські будівлі та споруди [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://bibliograph.com.ua/spravochnik–44/16.htm

16. Пузік Л. М. Технологія зберігання і переробки зерна. / Л. М. Пузік, В. К. Пузік. – Х.: Точка, 2013. – 311 с.

17. Занько М. Правильний контроль зерна під час зберігання / М. Занько // Пропозиція. – 2015. – С. 104 – 107.

18. Куцик А. С., Місюренко В. О. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах. – Львів: Видавництво Львівської

політехніки, 2013. – 200с.

19. Кондратенко Ю. П., Ткаченко О. А. Застосування контролерів сімейства SIMATIC для автоматизації складних об'єктів агропромислового комплексу. Автоматизація виробничих процесів. 2019. № 1 (47). С. 34–42.

20. Світлицький В. М., Федоренко Д. І. Обґрунтування алгоритмів роботи систем активного вентилювання горизонтальних та вертикальних зерносховищ. Прикладна гідроаеромеханіка та промислова вентиляція. 2021. Вип. 14. С. 54–61.

21. Хоменко А. В., Шаповал О. М. Охорона праці та заходи вибухобезпеки на підприємствах із зберігання та переробки зерна. Журнал Академії охорони праці. 2023. № 3. С. 22–29.

22. General technical specification SIMATIC IPC647E [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу:https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10224666?tree=CatalogTree.

23. Datasheet SIEMENS SM 331 [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ru/Catalog/DatasheetDownload?downloadUrl=teddatasheet%2F%3Fformat%3DPDF%26caller%3DMall%26mlfbs%3D6ES7223–1BH32–0XB0%26language%3Den

24. Al-Yahshaee R., Al-Subhi A., Al-Mahdouri A. Automation and Control of Microclimate Parameters in Modern Horizontal Grain Storage Facilities. International Journal of Agricultural and Biosystems Engineering. 2022. Vol. 16, No. 4. P. 145–152.

25. Berger T., Ostermann J., Schmidt M. Multi-zone Temperature Monitoring in Grain Silos Using Digital Sensors and Industrial Networks. Computers and Electronics in Agriculture. 2021. Vol. 182. Art. 106012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.compag.2021.106012

26. Давачі температури ТМ [Електронний ресурс]. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://prosfimann.com.ua/imsages/companies/1/PsDF/MBT%203560.pdf?1592907540313

27. Вентилятор високої продуктивності [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: https://vent–a.com.uga/pr3876–vc–14–46–%E2%84%968–sg–dv.%C2%A055–kvt–1000–ob.min/

28. Siemens AG. SIMATIC S7-300 Automation System CPU 31xC and CPU 31x: Technical Specifications. Reference Manual. 2020. 420 p. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/document/13008499/ (дата звернення: 14.05.2026).

29. Siemens AG. STEP 7 V5.6 Programming Manual for S7-300 and S7-400. System Manual. 2019. 618 p. URL: https://support.industry.siemens.com/cs/document/109751820/ (дата звернення: 14.05.2026).

30. Zhang Q., Casada M. E. Dynamic simulation of temperature and moisture changes in stored grain with aeration control systems. Journal of Stored Products Research. 2023. Vol. 101. Art. 102089. DOI: https://doi.org/10.1016/j.jspr.2023.102089