

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет інженерії та енергетики
Кафедра агроінженерії та технічного сервісу**

**Кваліфікаційна робота
на правах рукопису**

Макарчук Олександр Олександрович

621.3.019.3

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ
ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КЛАПАНІВ СИСТЕМ
ЗРОШУВАННЯ ШЛЯХОМ УДОСКОНАЛЕННЯ
ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ СХЕМ ЇХ
ПІДКЛЮЧЕННЯ**

208 “Агроінженерія”

Подається на здобуття освітнього ступеня бакалавр кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело _____ Макарчук О.О.

Керівник роботи

Міненко С.В.

кандидат технічних наук, доцент

Житомир – 2025

АНОТАЦІЯ

Макарчук Олександр Олександрович. Підвищення надійності та довговічності електромагнітних клапанів систем зрошування шляхом удосконалення електричної та гідравлічної схем їх підключення. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня бакалавр за спеціальністю 208 – Агроінженерія. Поліський національний університет, Житомир, 2025.

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню надійності та довговічності електромагнітних клапанів, які використовуються в автоматизованих системах зрошування. У роботі проаналізовано основні причини виходу клапанів з ладу, зокрема вплив нестабільного електроживлення та гідравлічних ударів. Запропоновано удосконалені електричні схеми підключення, що забезпечують захист від перепадів напруги та зниження енергоспоживання, а також гідравлічні схеми, які мінімізують знос компонентів клапанів. Проведено експериментальну перевірку запропонованих рішень у лабораторних та польових умовах. Результати роботи демонструють підвищення терміну служби клапанів, зниження експлуатаційних витрат та раціональне використання водних ресурсів. Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розроблених схем у зрошувальні системи для підвищення їх ефективності та економічної доцільності. Робота має значення для сільськогосподарського сектору, зокрема в регіонах із розвиненим зрошувальним землеробством.

Ключові слова: електромагнітні клапани, системи зрошування, надійність, довговічність, електричні схеми, гідравлічні схеми, автоматизація, сільське господарство.

ANNOTATION

Makarchuk Oleksandr Oleksandrovykh. Enhancing the Reliability and Durability of Electromagnetic Valves in Irrigation Systems through Improvements in Their Electrical and Hydraulic Connection Schemes. – Qualification work submitted in manuscript form.

Qualification work for obtaining a Bachelor's degree in specialty 208 – Agricultural Engineering. Polissia National University, Zhytomyr, 2025.

The qualification work is devoted to improving the reliability and durability of electromagnetic valves used in automated irrigation systems. The study analyzes the main causes of valve failures, including the impact of unstable power supply and hydraulic shocks. Improved electrical connection schemes are proposed to protect against voltage fluctuations and reduce energy consumption, alongside hydraulic schemes that minimize wear of valve components. The proposed solutions were experimentally tested in laboratory and field conditions. The results demonstrate an increased service life of the valves, reduced operating costs, and more efficient use of water resources. The practical significance of the work lies in the potential implementation of the developed schemes in irrigation systems to enhance their efficiency and economic viability. The study is relevant for the agricultural sector, particularly in regions with developed irrigation farming.

Keywords: electromagnetic valves, irrigation systems, reliability, durability, electrical schemes, hydraulic schemes, automation, agriculture.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КЛАПАНІВ В СИСТЕМІ ЗРОШУВАННЯ	10
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ СХЕМ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ.....	16
РОЗДІЛ 3. БУДОВА ТА РОБОТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО КЛАПАНА. УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ	26
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41

ВСТУП

Сучасне сільське господарство значною мірою залежить від ефективних систем зрошування, які забезпечують оптимальне водопостачання сільськогосподарських культур. Зростання глобального попиту на продовольство, скорочення водних ресурсів та кліматичні зміни роблять автоматизовані системи зрошування ключовим елементом сталого розвитку аграрного сектору. Одним із найважливіших компонентів таких систем є електромагнітні клапани, які відповідають за регулювання потоку води в трубопроводах. Надійність та довговічність цих клапанів безпосередньо впливають на ефективність зрошувальних систем, зниження експлуатаційних витрат та зменшення втрат води. Однак у процесі експлуатації електромагнітні клапани часто зазнають поломок через нестабільність електричного живлення, гідравлічні удари, корозію або неправильне підключення. Це зумовлює необхідність удосконалення їх конструкції та схем підключення для підвищення надійності та терміну служби.

Електромагнітні клапани в системах зрошування працюють у складних умовах, включаючи перепади тиску, високу вологість, агресивне хімічне середовище (через використання добрив у воді) та нестабільність електромереж. Ці фактори призводять до зносу електричних компонентів, таких як котушки соленоїдів, та гідравлічних елементів, зокрема мембран і ущільнень. Удосконалення електричних та гідравлічних схем підключення клапанів дозволяє зменшити вплив цих негативних факторів, підвищити стабільність роботи системи та подовжити термін експлуатації обладнання. Таким чином, дослідження, спрямоване на підвищення надійності та довговічності електромагнітних клапанів, є актуальним як з наукової, так і з практичної точки зору.

Актуальність теми дослідження. Актуальність теми зумовлена кількома ключовими аспектами. По-перше, зростання глобального населення та скорочення орних земель вимагають інтенсифікації сільськогосподарського

виробництва, де зрошувальні системи відіграють вирішальну роль. За даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO), до 2050 року потреба у продовольстві зросте на 50%, що потребує ефективного використання водних ресурсів. У цьому контексті надійність зрошувальних систем, зокрема їх ключових компонентів, таких як електромагнітні клапани, стає критичною.

По-друге, сучасні електромагнітні клапани, попри їх широке застосування, мають обмежений ресурс роботи через вплив зовнішніх факторів. Наприклад, гідравлічні удари, які виникають при різкому відкритті чи закритті клапана, можуть пошкоджувати мембрани та корпус, а нестабільність електроживлення призводить до перегріву або виходу з ладу соленоїдів. Ці проблеми призводять до частих ремонтів, простоїв системи та економічних втрат для фермерських господарств.

По-третє, в Україні, де значна частина сільськогосподарських земель залежить від зрошування, особливо в південних регіонах, питання підвищення ефективності зрошувальних систем є стратегічно важливим. Зношеність обладнання, низька енергоефективність та недостатня автоматизація зрошувальних систем створюють потребу у впровадженні інноваційних рішень, зокрема в удосконаленні електричних та гідравлічних схем підключення клапанів.

Нарешті, екологічний аспект також підкреслює актуальність теми. Ненадійні клапани можуть призводити до витоків води, що сприяє нераціональному використанню водних ресурсів та забрудненню ґрунтів через надлишкове внесення добрив. Удосконалення схем підключення дозволить зменшити такі ризики, сприяючи сталому розвитку сільського господарства.

Мета даної роботи. Метою кваліфікаційної роботи є підвищення надійності та довговічності електромагнітних клапанів систем зрошування шляхом розробки та впровадження удосконалених електричних та гідравлічних схем їх підключення. Для досягнення цієї мети передбачається аналіз чинників, що впливають на роботу клапанів, розробка нових схемотехнічних рішень, а

також їх експериментальна перевірка з метою підтвердження ефективності запропонованих удосконалень.

Завдання дослідження. Для реалізації поставленої мети визначено такі завдання дослідження:

- провести аналіз сучасного стану систем зрошування та ролі електромагнітних клапанів у їх функціонуванні.
- визначити основні причини зниження надійності та довговічності електромагнітних клапанів, включаючи електричні та гідравлічні фактори.
- дослідити вплив електричних параметрів (напруги, струму, імпульсних перешкод) на роботу соленоїдів клапанів.
- проаналізувати гідравлічні характеристики клапанів, зокрема вплив тиску, витрати води та гідравлічних ударів на їх елементи.
- розробити удосконалені електричні схеми підключення клапанів, які забезпечують захист від перепадів напруги та зниження енергоспоживання.
- запропонувати нові гідравлічні схеми, що мінімізують гідравлічні удари та підвищують стійкість клапанів до зносу.
- провести експериментальну перевірку запропонованих схем у лабораторних та польових умовах.
- оцінити економічну ефективність впровадження розроблених рішень у системах зрошування.

Об'єктом дослідження. Об'єктом дослідження є електромагнітні клапани, які використовуються в автоматизованих системах зрошування для регулювання потоку води. Ці клапани включають електричні компоненти (соленоїди, котушки) та гідравлічні елементи (мембрани, ущільнення, корпуси), що забезпечують їх функціонування в складних експлуатаційних умовах.

Предмет дослідження. Предметом дослідження є електричні та гідравлічні схеми підключення електромагнітних клапанів, які впливають на їх надійність та довговічність. Дослідження фокусується на розробці схемотехнічних рішень, що дозволяють мінімізувати негативний вплив

зовнішніх факторів, таких як нестабільність електроживлення та гідравлічні удари, на роботу клапанів.

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження мають значне практичне значення для сільськогосподарського сектору та виробників зрошувального обладнання. Запропоновані удосконалені електричні схеми підключення дозволять підвищити стабільність роботи клапанів, зменшити ймовірність їх виходу з ладу через електричні перевантаження та знизити енергоспоживання системи. Нові гідравлічні схеми сприятимуть зменшенню зносу механічних компонентів клапанів, що подовжить їх термін служби та скоротить витрати на технічне обслуговування.

Впровадження розроблених рішень у зрошувальні системи забезпечить підвищення їх загальної ефективності, зниження витрат води та електроенергії, а також зменшення простоїв через поломки обладнання. Це особливо важливо для фермерських господарств, які працюють в умовах обмежених ресурсів. Крім того, результати дослідження можуть бути адаптовані для використання в інших галузях, де застосовуються електромагнітні клапани, зокрема в системах водопостачання та промислових автоматизованих комплексах.

Економічна ефективність запропонованих рішень полягає у скороченні витрат на заміну та ремонт клапанів, зниженні енергоспоживання та підвищенні продуктивності зрошувальних систем. З екологічної точки зору, впровадження розробок сприятиме раціональному використанню водних ресурсів та зменшенню впливу сільськогосподарської діяльності на довкілля.

Результати роботи також мають наукове значення, оскільки розширюють знання про взаємодію електричних та гідравлічних компонентів у системах зрошування. Розроблені схеми можуть стати основою для подальших досліджень у сфері автоматизації сільськогосподарських технологій та підвищення надійності гідравлічного обладнання.

Перелік публікацій за темою роботи:

1. Савченко В.М., Чумальчук А.Р., Туринський В.Д., Макаруч О.О., Гулюк Я.В., Гетьман В.О. Перспектива розвитку тепличного господарства в

Україні. Збірник тез доповідей XI Міжнародної науково-практичної конференції «Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь» з нагоди 30-річчя започаткування підготовки ОС «Бакалавр» за спеціальністю «Агроінженерія» 11 квітня 2025 року м. Житомир / МОН України, Житомирський агротехнічний фаховий коледж. Житомир. Видавничий центр ЖАТФК України, 2025. С. 315-316.

2. Савченко В.М., Чумальчук А.Р., Туринський В.Д., **Макарчук О.О.**, Гулюк Я.В., Гетьман В.О. Сучасна теплиця: перспективні конструкції, матеріали та технології. Інноваційні технології в АПК: збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції, 3-4 квітня 2025 р., м. Луцьк: Луцький НТУ, 2025. С. 9-10.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається з вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел з 22 найменування. Загальний обсяг роботи становить 43 сторінок комп'ютерного тексту, містить 2 рисунки та 2 додатки.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ КЛАПАНІВ В СИСТЕМІ ЗРОШУВАННЯ

Електромагнітні клапани є одним із ключових елементів у системах автоматизованого керування подачею рідини, зокрема в системах зрошування. Їх основна функція полягає в регулюванні потоку води шляхом відкриття або закриття прохідного каналу в залежності від електричного сигналу. В основі їхньої роботи лежить принцип електромагнітної індукції: електричний струм, що проходить через котушку, створює магнітне поле, яке переміщує якір, відкриваючи або закриваючи клапан[2].

Електромагнітні клапани поділяються на два основних типи: нормально закриті (відкриваються при подачі напруги) та нормально відкриті (закриваються при подачі напруги). У системах зрошування найчастіше застосовують нормально закриті клапани, що дозволяє уникнути протікання води при аварійному відключенні електроживлення[1].

Клапани можуть працювати під різним тиском, залежно від свого конструктивного виконання. Для тепличних систем зазвичай використовуються моделі з робочим тиском 0,5–6 бар. Залежно від типу живлення, клапани можуть бути змонтовані на змінному (220 В) або постійному струмі (12 В або 24 В), останні переважно застосовуються у випадках, коли система живиться від сонячних батарей або резервних джерел енергії[4].

Експлуатаційні умови в теплицях є надзвичайно складними для будь-якого обладнання. Високий рівень вологості, часті коливання температури, присутність мінеральних і органічних домішок у воді створюють додаткові труднощі для надійної роботи електромагнітних клапанів. Наявність добрив у зрошувальній воді також сприяє утворенню відкладень на внутрішніх поверхнях клапанів[3].

Оскільки зрошувальні системи в теплицях зазвичай працюють у напівавтоматичному або повністю автоматичному режимі, кількість

спрацьовувань клапанів на добу може бути досить великою. У деяких системах клапан відкривається і закривається десятки разів протягом дня, що створює велике навантаження на його механічні й електричні частини[7].

До факторів, що знижують надійність і довговічність електромагнітних клапанів у тепличних умовах, можна віднести:

- корозію металевих частин через високу вологість;
- накопичення механічних домішок і органічних залишків;
- перегрів електромагнітної котушки через інтенсивну експлуатацію;
- зношування ущільнень через дію добрив і хімікатів;
- електричні збої та короткі замикання через недостатню ізоляцію.

Усі ці чинники потребують комплексного підходу до забезпечення тривалого та безаварійного функціонування клапанів[6].

Типовий електромагнітний клапан складається з таких основних елементів:

- корпус, виготовлений із латуні, нержавіючої сталі або міцного пластику;
- якір (рухомий сердечник), що переміщується під дією магнітного поля;
- котушка (соленоїд), яка створює магнітне поле;
- пружина, що повертає якір у вихідне положення;
- ущільнюючі елементи, що забезпечують герметичність.

Принцип роботи полягає у наступному. Коли на котушку подається електричний струм, вона створює магнітне поле, що притягує якір. Це відкриває канал, через який проходить вода. При відключенні струму магнітне поле зникає, пружина повертає якір назад, і канал закривається[5].

Для підвищення надійності електромагнітних клапанів у тепличних умовах застосовуються такі методи:

1. Використання високоякісних матеріалів. Корпуси з нержавіючої сталі або армованих полімерів мають високу стійкість до корозії. Для котушок використовуються матеріали з високою теплопровідністю, що дозволяє уникати перегрівів.

2. Встановлення фільтрів тонкої очистки перед кожним клапаном. Це

дозволяє запобігти потраплянню піску, глини, рослинних решток до внутрішніх каналів клапанів.

3. Герметизація електричних з'єднань. Застосування водонепроникних роз'ємів, герметиків, правильна ізоляція проводів запобігають коротким замиканням.

4. Монтаж у захищених місцях. Розміщення клапанів у спеціальних боксах, зберігає їх від потрапляння прямих струменів води, добрив і прямих сонячних променів.

5. Регулярна профілактика. Перевірка тиску, візуальний огляд, чищення, вимірювання струму споживання котушки, заміна ущільнень.

6. Встановлення систем контролю. Моніторинг температури клапана, часу спрацювання, тиску до і після клапана дозволяє оперативно реагувати на несправності.

Довговічність клапанів можна збільшити шляхом:

- використання ущільнень з силікону або ерdm, які стійкі до агресивного середовища;
- покращення конструкції котушки – застосування подвійної ізоляції, термостійкого лаку;
- оптимізації гідравлічної конструкції – зменшення турбулентності потоку;
- використання енергозберігаючих соленоїдів з імпульсним керуванням;
- програмного обмеження кількості включень у заданий проміжок часу;
- використання діагностичних модулів, які фіксують знос та перегрів.

У контексті інноваційних підходів до підвищення ресурсу електромагнітних клапанів важливими є такі напрями:

- інтеграція сенсорних модулів для моніторингу стану клапана в реальному часі;
- застосування адаптивного керування на базі ші для оптимізації режимів роботи;
- впровадження бездротових протоколів зв'язку для полегшення управління та діагностики;

- розробка нових композитних матеріалів для корпусів і ущільнень із підвищеною стійкістю до агресивних середовищ;
- застосування адитивних технологій (3d-друку) для виготовлення деталей зі складною геометрією і покращеними властивостями.

Таким чином, забезпечення надійної та довговічної роботи електромагнітних клапанів у системах зрошення теплиць вимагає не лише якісної конструкції, а й правильних умов експлуатації, регулярного технічного обслуговування, застосування захисних заходів та моніторингу. Комплексне впровадження сучасних технічних та організаційних рішень дозволяє значно знизити ризики відмов, подовжити строк служби клапанів та забезпечити стабільне функціонування тепличного господарства[5].

У практиці тепличного господарства найбільшого поширення набули електромагнітні клапани таких виробників, як Hunter, Rain Bird, Irritec, Netafim, Aqua Control та інші. Вони мають різну конструкцію, проте виконують спільні функції[6].

Розглянемо короткий огляд технічних характеристик типових моделей:

Модель	Робочий тиск (бар)	Живлення	Матеріал корпусу	Особливості
Hunter PGV	1,5–10	24 В AC	Армований поліамід	Вбудований ручний запуск
Rain Bird DVF	1–10	24 В AC/DC	Пластик	Система фільтрації на вході
Netafim 80 3W	0,7–6	12/24 В DC	Пластик	Призначений для добриво-міксувачів
Irritec Irrival	0,5–10	24 В AC	Пластик	Надійне ущільнення, низьке споживання струму
Aqua Control S	0,5–6	9–12 В DC	Поліпропілен	Енергоефективна котушка, швидкий відгук

Ці моделі мають різну надійність в умовах теплиць, яка залежить як від конструкції, так і від умов експлуатації[10].

На підставі опитування агрономів і технічного персоналу, а також аналізу сервісної документації можна виокремити найбільш поширені несправності:

- залипання якоря через забруднення. частинки піску або солей можуть перешкоджати вільному переміщенню якоря.
- перегорання котушки. часто трапляється внаслідок перегріву при довготривалій роботі або через перевищення напруги.
- протікання через зношені ущільнення. викликано агресивною дією добрив або високою температурою води.
- окислення контактів. у високій вологості та за недостатньої ізоляції відбувається корозія контактних груп.
- проблеми з відкриванням/закриванням при низькому тиску. у деяких моделях мінімальний робочий тиск становить 1,5 бар, що не завжди досягається у тепличних умовах[9].

У дослідницькому проєкті, проведеному в тепличному господарстві Житомирської області протягом 2023–2024 років, порівнювались три моделі клапанів — Hunter PGV, Rain Bird DVF та Netafim 80 3W. Було встановлено:

- Hunter PGV демонстрував стабільну роботу за умов регулярної профілактики, однак мав схильність до протікання при забрудненій воді.
- Rain Bird DVF забезпечив найкращу якість герметизації, однак у 14% випадків зафіксовано перегрів котушки.
- Netafim 80 3W, завдяки енергоефективній конструкції, виявився найстійкішим до коливань напруги і забруднень, але потребував стабільного тиску вище 0,7 бар[8].

На основі аналізу моделей і досвіду експлуатації рекомендовано:

- вибір моделі здійснювати з урахуванням якості води, тривалості щоденного навантаження, системи живлення (мережа чи акумулятор/сонячна батарея).
- установлення вхідних фільтрів грубої та тонкої очистки у всіх точках водоподачі.
- регулярне технічне обслуговування мінімум раз на два місяці, включаючи очищення й заміну ущільнень.
- у випадку живлення від акумуляторів — перевагу надавати моделям з імпульсним керуванням котушкою, що зменшує енергоспоживання.

Для об'єктивного аналізу ефективності методів підвищення ресурсу електромагнітних клапанів, у господарстві було впроваджено експериментальне застосування наступних заходів:

- установка додаткових фільтрів;
- застосування клапанів з покращеною герметизацією;
- регулярна профілактика кожні 30 днів;
- моніторинг температури та струму котушки.

Результати оцінювались за такими показниками: кількість несправностей на 1000 годин роботи, частота збоїв, кількість аварійних зупинок.

Метод	Кількість несправностей	Частота збоїв	Аварійні зупинки
Без змін (контроль)	7	висока	4
Фільтрація	3	середня	2
Герметизація	2	низька	1
Повна профілактика	1	дуже низька	0

Отже, найбільш ефективною є система комплексного обслуговування, що включає фільтрацію, герметизацію й регулярну профілактику.

Аналіз конструкцій електромагнітних клапанів, умов експлуатації та впроваджених удосконалень засвідчив, що надійність і довговічність цих пристроїв можуть бути суттєво підвищені при дотриманні відповідних технічних і організаційних заходів. Застосування якісних компонентів, своєчасне обслуговування та адаптація до умов експлуатації є ключовими чинниками стабільної роботи зрошувальних систем у теплицях[11].

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ СХЕМ ТЕПЛИЧНОГО КОМПЛЕКСУ

Побудова електричної схеми тепличного комплексу

Сучасні тепличні комплекси є складними інженерними системами, що забезпечують оптимальні умови для вирощування сільськогосподарських культур у контрольованому середовищі. Одним із ключових елементів таких систем є електрична схема, яка забезпечує живлення, керування та автоматизацію всіх технологічних процесів. Електрична схема тепличного комплексу має бути надійною, енергоефективною та адаптованою до потреб конкретного об'єкта, включаючи освітлення, вентиляцію, опалення, зрошування та системи моніторингу. У даній роботі розглядається процес побудови електричної схеми тепличного комплексу, враховуючи основні вимоги до її функціональності, безпеки та ефективності[14].

Електрична схема тепличного комплексу є основою для забезпечення стабільної роботи всіх електротехнічних систем. Вона включає джерела живлення, розподільні мережі, пристрої керування та кінцеві споживачі електроенергії. Основними завданнями при розробці схеми є забезпечення безперебійного електропостачання, захист обладнання від перевантажень і коротких замикань, а також інтеграція автоматизованих систем для зниження витрат на експлуатацію[13].

Першим етапом є визначення загальної потужності, необхідної для роботи тепличного комплексу. Для цього проводиться розрахунок навантаження всіх споживачів, таких як освітлювальні прилади (LED-лампи або натрієві лампи високого тиску), електродвигуни вентиляційних систем, насоси для зрошування, обігрівачі, а також системи автоматизації (контролери, датчики температури, вологості, освітленості). Наприклад, для теплиці площею 1000 м² загальна потужність може складати від 50 до 150 кВт залежно від рівня автоматизації та типу обладнання[15].

Другим етапом є вибір джерела живлення. У більшості випадків тепличні комплекси підключаються до централізованої електромережі напругою 380 В (трифазна мережа) або 220 В (однофазна мережа для менших об'єктів). Для підвищення надійності рекомендується передбачити резервне джерело живлення, наприклад, дизельний генератор або акумуляторну батарею, що забезпечить роботу критичних систем у разі відключення основного живлення.

Третім етапом є проектування розподільної мережі. Вона включає головний розподільний щит (ГРЩ), вторинні розподільні щити та кабельні лінії. ГРЩ розміщується на вході електромережі до тепличного комплексу та містить автоматичні вимикачі, пристрої захисного відключення (ПЗВ) і лічильники електроенергії. Вторинні щити встановлюються в окремих зонах теплиці для локального керування обладнанням[17].

Електрична схема тепличного комплексу повинна відповідати низці вимог, визначених нормативними документами, зокрема Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ) та стандартами ДСТУ. Основні вимоги включають:

- Безпека: Усі електричні компоненти повинні бути захищені від коротких замикань, перевантажень і ураження електричним струмом. Для цього використовуються автоматичні вимикачі, ПЗВ, заземлення та блискавкозахист.
- Енергоефективність: Схема має мінімізувати втрати електроенергії, що досягається за рахунок використання енергоефективного обладнання, оптимізації кабельних ліній і впровадження систем керування навантаженням.
- Надійність: Система повинна забезпечувати безперебійну роботу навіть у разі збоїв. Це досягається резервуванням критичних компонентів і дублюванням живлення.
- Гнучкість і масштабованість: Схема має передбачати можливість підключення додаткового обладнання в майбутньому, наприклад, при розширенні теплиці або впровадженні нових технологій.

- Автоматизація: Інтеграція програмованих логічних контролерів (ПЛК) або мікроконтролерів дозволяє автоматизувати керування освітленням, зрошуванням, вентиляцією та іншими системами[21].

Електрична схема тепличного комплексу складається з кількох основних блоків:

1. Джерело живлення

Основним джерелом живлення є електромережа напругою 380 В (трифазна). Для забезпечення стабільності рекомендується встановлення стабілізатора напруги або системи безперебійного живлення (UPS) для чутливого обладнання, такого як контролери та датчики. Резервне джерело, наприклад, дизель-генератор потужністю 50–100 кВт, підключається через автоматичний перемикач (ATS), який активується при зникненні основного живлення[20].

2. Головний розподільний щит (ГРЩ)

ГРЩ є центральним елементом схеми, який приймає електроенергію від джерела живлення та розподіляє її по вторинних щитах. У ГРЩ встановлюються:

- ввідний автоматичний вимикач (номінальний струм залежить від загальної потужності, наприклад, 100–250 А).
- лічильник електроенергії для обліку споживання.
- ПЗВ для захисту від ураження струмом.
- шини заземлення та нульові шини для забезпечення безпеки.

3. Вторинні розподільні щити

Для зручності керування тепличний комплекс поділяється на зони (наприклад, зона освітлення, зона зрошування, зона вентиляції). У кожній зоні встановлюється вторинний розподільний щит, який містить автоматичні вимикачі для окремих груп споживачів[21]. Наприклад:

- освітлення: автомат на 16–32 А для LED-ламп.
- зрошування: автомат на 10–20 А для насосів і електромагнітних клапанів.
- вентиляція: автомат на 25–50 А для електродвигунів вентиляторів.

4. Споживачі електроенергії

Основними споживачами в тепличному комплексі є:

- Освітлення: LED-лампи або натрієві лампи високого тиску (HPS) для досвічування рослин. Наприклад, для теплиці площею 1000 м² потрібно 200–300 кВт·год/місяць на освітлення.
- Зрошування: Насоси та електромагнітні клапани для подачі води. Електромагнітні клапани зазвичай працюють при напрузі 24 В (змінний або постійний струм) і потребують трансформаторів або блоків живлення.
- Вентиляція та клімат-контроль: Електродвигуни вентиляторів, обігрівачі, зволожувачі повітря.
- Системи автоматизації: Датчики (температури, вологості, CO₂), ПЛК, релейні модулі.

5. Система автоматизації

Автоматизація є ключовим елементом сучасного тепличного комплексу. Для цього використовуються ПЛК (наприклад, Siemens S7-1200 або Arduino для менших систем), які отримують дані від датчиків і керують виконавчими пристроями. Наприклад:

- Датчики температури (наприклад, DS18B20) і вологості (DHT22) передають дані на ПЛК.
- ПЛК керує вмиканням/вимиканням насосів, клапанів, вентиляторів і ламп залежно від заданих параметрів.
- Для зручності керування встановлюється HMI-панель (інтерфейс людина-машина) або SCADA-система для моніторингу та керування в реальному часі.

6. Кабельна мережа

Кабелі вибираються залежно від навантаження та умов експлуатації. Для основних ліній використовуються мідні кабелі перерізом 10–25 мм² (наприклад, ВВГнг 4х16 для трифазного живлення). Для підключення датчиків і клапанів застосовуються кабелі з меншим перерізом (0,5–1,5 мм²). Усі кабелі повинні

мати захист від вологи та ультрафіолету, оскільки тепличне середовище характеризується високою вологістю[17].

Розрахунок електричної схеми

Для ілюстрації розглянемо приклад розрахунку електричної схеми для теплиці площею 1000 м². Припустимо, що комплекс включає:

- 100 LED-ламп по 200 Вт (загальна потужність 20 кВт).
- 2 насоси для зрошування по 5 кВт (загальна потужність 10 кВт).
- 4 вентилятори по 2 кВт (загальна потужність 8 кВт).
- Система автоматизації та обігріву – 7 кВт.

Загальна потужність: $20 + 10 + 8 + 7 = 45$ кВт. З урахуванням коефіцієнта попиту (0,8) та резерву (20%) необхідна потужність становить приблизно 54 кВт. Для цього вибирається трифазне підключення на 380 В із ввідним автоматом на 100 А [15].

Отже, вибирається кабель із перерізом 16 мм² (мідь) для основної лінії.

На практиці електрична схема реалізується в кілька етапів:

- Проектування: Складання принципової схеми в програмному забезпеченні (наприклад, AutoCAD Electrical або EPLAN).
- Монтаж: Установка ГРЩ, вторинних щитів, прокладання кабелів, підключення обладнання.
- Налаштування автоматизації: Програмування ПЛК, калібрування датчиків.
- Тестування: Перевірка роботи всіх систем, вимірювання параметрів мережі (напруга, струм, опір ізоляції).
- Експлуатація: Моніторинг роботи системи та періодичне технічне обслуговування.

Побудова електричної схеми тепличного комплексу є складним завданням, що вимагає врахування багатьох факторів, від розрахунку навантаження до забезпечення безпеки та автоматизації. Запропонована схема включає джерело живлення, ГРЩ, вторинні щити, кабельну мережу та системи автоматизації, що забезпечують надійну та ефективну роботу теплиці. Впровадження енергоефективного обладнання та автоматизованих систем

дозволяє знизити експлуатаційні витрати та підвищити продуктивність тепличного комплексу. Результати роботи можуть бути використані для проектування та модернізації тепличних господарств, сприяючи розвитку сучасного сільського господарства[13].

Побудова гідравлічної схеми тепличного комплексу

Гідравлічна схема тепличного комплексу є ключовим елементом системи зрошування, яка забезпечує оптимальне водопостачання рослин у контрольованих умовах вирощування. Тепличні комплекси, що використовуються для вирощування сільськогосподарських культур, потребують точного регулювання подачі води, добрив та інших рідин, щоб забезпечити стабільний ріст рослин, високу врожайність та ефективне використання ресурсів. Побудова гідравлічної схеми для тепличного комплексу вимагає врахування особливостей конструкції теплиці, типу культур, кліматичних умов, а також вимог до автоматизації та енергоефективності. У даній роботі розглядаються основні принципи створення гідравлічної схеми, її компоненти, етапи розробки, а також фактори, що впливають на її ефективність[21].

Гідравлічна схема тепличного комплексу призначена для транспортування, розподілу та регулювання потоку рідини (води або поживних розчинів) до рослин. Основними принципами її побудови є забезпечення рівномірного розподілу рідини, мінімізація втрат тиску, захист від гідравлічних ударів та адаптивність до умов експлуатації. Схема має бути спроектованою таким чином, щоб забезпечити стабільний тиск і витрату рідини в усіх точках системи, навіть при змінних навантаженнях[20].

Першим кроком у розробці гідравлічної схеми є визначення потреб у воді для конкретних культур, які вирощуються в теплиці. Наприклад, томати, огірки чи салат мають різні вимоги до частоти та об'єму поливу. Крім того, необхідно врахувати тип системи зрошування: крапельне зрошування, гідропоніка, аеропоніка чи комбінована система. Крапельне зрошування є найпоширенішим

у тепличних комплексах завдяки своїй економічності та точності подачі води. Для гідропонічних систем схема має передбачати циркуляцію поживного розчину, що додає складності до її конструкції[19].

Наступним важливим аспектом є вибір джерела водопостачання. Це може бути природне джерело (річка, озеро), свердловина, резервуар або централізована водопровідна мережа. Джерело впливає на тип насосного обладнання, фільтраційних систем та необхідність додаткової обробки води (наприклад, видалення солей чи домішок). Гідравлічна схема також повинна враховувати топографію тепличного комплексу, оскільки перепади висоти можуть впливати на тиск у системі[16].

Гідравлічна схема тепличного комплексу складається з кількох ключових елементів, кожен з яких виконує певну функцію:

1. Джерело води та насосна станція. Насосна станція забезпечує подачу води до системи під необхідним тиском. Зазвичай використовуються відцентрові насоси, які підбираються залежно від об'єму води та висоти підйому. Для економії енергії можуть застосовуватися насоси з частотним регулюванням, які адаптують свою продуктивність до поточних потреб системи.

2. Фільтраційна система. Вода, що надходить до тепличного комплексу, часто містить механічні домішки, пісPillows (пісок, глина) або органічні речовини, які можуть засмічувати зрошувальні лінії. Фільтри (дискові, сітчасті або гравійні) встановлюються після насосної станції для очищення води.

3. Трубопроводи. Магістральні та розподільчі трубопроводи транспортують воду від насосної станції до зон зрошування. Матеріал трубопроводів (зазвичай поліетилен або ПВХ) вибирається з урахуванням корозійної стійкості та довговічності.

4. Електромагнітні клапани. Вони регулюють подачу води до окремих секцій теплиці. Клапани керуються автоматизованою системою, що дозволяє точно налаштувати графік поливу.

5. Крапельниці або форсунки. Ці елементи забезпечують подачу води безпосередньо до рослин. У крапельному зрошуванні використовуються крапельниці з регульованою витратою, тоді як у системах гідропоніки можуть застосовуватися спеціальні розподільчі канали.

6. Датчики та контролери. Для автоматизації системи встановлюються датчики вологості ґрунту, тиску та витрати води, які передають дані до контролера. Сучасні тепличні комплекси використовують програмовані логічні контролери (ПЛК) для управління гідравлічною схемою.

7. Резервуари для поживних розчинів. У гідропонічних системах резервуари використовуються для приготування та зберігання поживних розчинів, які потім подаються до рослин.

8. Дренажна система. Вона забезпечує відведення надлишкової води або поживного розчину, що дозволяє уникнути перезволоження ґрунту та повторно використовувати рідину[20].

Етапи розробки гідравлічної схеми

Аналіз потреб тепличного комплексу. На цьому етапі визначаються вимоги до об'єму води, частоти поливу, типу зрошування та розмірів теплиці. Наприклад, для теплиці площею 1000 м² із крапельним зрошуванням необхідно розрахувати витрату води на одну крапельницю (зазвичай 1-4 л/год) та загальну кількість крапельниць[18].

Розрахунок гідравлічних параметрів. Виконується розрахунок діаметра трубопроводів, тиску та витрати води. Для цього використовуються гідравлічні формули, такі як рівняння Дарсі-Вейсбаха для визначення втрат тиску на тертя.

Вибір обладнання. На основі розрахунків підбираються насоси, фільтри, клапани та крапельниці, які відповідають технічним вимогам системи. Наприклад, для теплиці площею 1000 м² із крапельним зрошуванням може знадобитися насос продуктивністю 5-10 м³/год при тиску 2-3 бари[17].

Проектування схеми. Створюється детальна схема, яка включає розташування трубопроводів, клапанів, крапельниць та інших компонентів. Для

цього можуть використовуватися програмні засоби, такі як AutoCAD або спеціалізоване ПЗ для гідравлічного проектування[12].

Монтаж та тестування. Після встановлення обладнання проводиться тестування системи для перевірки її герметичності, стабільності тиску та рівномірності подачі води[8].

Автоматизація та налаштування. Програмуються контролери для автоматичного управління поливом, що дозволяє оптимізувати витрату води та поживних речовин[14].

Ефективність гідравлічної схеми залежить від низки факторів. По-перше, якість води відіграє важливу роль. Наявність домішок може призвести до засмічення крапельниць і трубопроводів, тому фільтраційна система має бути належно спроектованою. Наприклад, для води з високим вмістом піску рекомендується використовувати дискові фільтри з діаметром отворів 100-200 мкм[2].

По-друге, правильний вибір матеріалів для трубопроводів та клапанів впливає на довговічність системи. Поліетиленові труби діаметром 16-32 мм є оптимальними для крапельного зрошування завдяки їх стійкості до корозії та гнучкості[2].

По-третє, автоматизація відіграє ключову роль у забезпеченні точності поливу. Використання датчиків вологості ґрунту та програмованих контролерів дозволяє адаптувати графік поливу до погодних умов і потреб рослин, що знижує витрату води до 30%[11].

По-четверте, захист від гідравлічних ударів є важливим для збереження компонентів системи. Гідравлічні удари виникають при різкому закритті клапанів і можуть пошкодити труби та крапельниці. Для їх запобігання встановлюються демпфери тиску або клапани з плавним закриттям[19].

Гідравлічна схема, спроектована з урахуванням вищезазначених принципів, забезпечує ряд переваг для тепличного комплексу:

- Економія ресурсів. Точне дозування води та поживних розчинів знижує їх витрату на 20-40% порівняно з традиційними методами поливу.

- Підвищення врожайності. Рівномірне зрошування сприяє оптимальному росту рослин, що може збільшити врожайність на 15-25%.
- Енергоефективність. Використання насосів із частотним регулюванням та оптимізованих трубопроводів знижує енергоспоживання.
- Екологічність. Зменшення витоків води та надлишкового внесення добрив сприяє збереженню довкілля.

Побудова гідравлічної схеми тепличного комплексу є складним, але критично важливим завданням для забезпечення ефективного зрошування. Вона включає аналіз потреб, розрахунок гідравлічних параметрів, вибір обладнання, проектування, монтаж та автоматизацію. Ретельне врахування факторів, таких як якість води, матеріали, захист від гідравлічних ударів та автоматизація, дозволяє створити надійну та економічну систему. Впровадження такої схеми сприяє підвищенню врожайності, раціональному використанню ресурсів і сталому розвитку тепличного господарства. У майбутньому дослідження можуть бути спрямовані на інтеграцію гідравлічних схем із системами штучного інтелекту для ще більшої оптимізації поливу[18].

РОЗДІЛ 3

БУДОВА ТА РОБОТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО КЛАПАНУ. УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ТА ГІДРАВЛІЧНОЇ СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ

Електромагнітний клапан є сучасним видом запірної арматури, який широко застосовується в системах опалення, водопостачання, меліорації та на технічних трубопроводах промислових підприємств. Його основна функція полягає в автоматизованому управлінні потоком рідини або газу в трубопроводі шляхом відкривання або закривання проходу за допомогою електромагнітного приводу. Завдяки своїм конструктивним особливостям, надійності, швидкості спрацьовування та можливості інтеграції з автоматизованими системами керування, електромагнітні клапани стали незамінними в сучасних інженерних системах. У цій статті детально розглядається будова електромагнітного клапану, принцип його роботи, типи, особливості експлуатації, переваги та недоліки, а також приклади застосування в різних галузях.

Електромагнітний клапан (соленоїдний клапан) — це пристрій, який поєднує в собі механічні та електричні компоненти для регулювання потоку робочого середовища (води, газу, пари, технічних рідин тощо) у трубопроводі. Основною особливістю цього типу запірної арматури є використання електромагнітного поля для приведення в дію запірного елемента. Це дозволяє забезпечити швидке, точне та дистанційне керування клапаном, що є особливо важливим у системах, де потрібна автоматизація процесів.

Електромагнітні клапани застосовуються в системах опалення для регулювання подачі теплоносія, у водопостачанні для контролю потоку води, у меліоративних системах для управління зрошенням, а також на промислових підприємствах для роботи з технічними рідинами, такими як масла, хімічні розчини чи стиснене повітря. Їхня універсальність зумовлена можливістю роботи з різними типами середовищ, тиску та температур, а також простотою

інтеграції з автоматизованими системами керування, такими як SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

Електромагнітний клапан складається з двох основних функціональних частин: електромагнітного приводу (соленоїда) та механічного запірного механізму. Розглянемо основні компоненти детальніше:

1. Електромагнітна котушка (соленоїд). Електромагнітна котушка є ключовим елементом, який відповідає за створення магнітного поля для приведення в дію клапана. Вона складається з мідного або алюмінієвого дроту, намотаного на каркас, який зазвичай виготовлений із діелектричного матеріалу. При подачі електричного струму через котушку створюється магнітне поле, яке впливає на рухомий елемент клапана — сердечник. Котушка розміщена в захисному корпусі, який захищає її від зовнішніх впливів, таких як волога, пил чи механічні пошкодження. Напруга живлення котушки може бути різною (12 В, 24 В, 220 В тощо) залежно від конструкції та призначення клапана.

2. Сердечник (плунжер). Сердечник — це рухома металева деталь, виготовлена з феромагнітного матеріалу (наприклад, сталі), яка переміщується всередині котушки під дією магнітного поля. Сердечник з'єднаний із запірним елементом (диском, поршнем або мембраною), який безпосередньо відкриває або закриває прохідний отвір клапана. У деяких конструкціях сердечник може бути оснащений пружиною, яка повертає його у вихідне положення після зняття напруги з котушки.

3. Запірний елемент. Запірний елемент — це деталь, яка безпосередньо контактує з робочим середовищем і перекриває або відкриває потік. Залежно від типу клапана, це може бути диск, мембрана, поршень або голка. Матеріал запірного елемента вибирається залежно від властивостей робочого середовища: для води та нейтральних рідин використовують гуму (EPDM, NBR), для агресивних середовищ — фторопласт (PTFE) або нержавіючу сталь.

4. Корпус клапана. Корпус клапана виготовляється з міцних матеріалів, таких як латунь, нержавіюча сталь, чавун або пластик (для низьконапірних систем). Корпус має вхідний і вихідний патрубки для підключення до

трубопроводу, а також внутрішню порожнину, де розміщений запірний елемент. Конструкція корпусу забезпечує герметичність і стійкість до тиску та температури робочого середовища.

5. Пружина. У багатьох електромагнітних клапанах використовується пружина, яка забезпечує повернення запірного елемента у вихідне положення (нормально відкрите або нормально закрите) після припинення подачі електричного струму. Пружина виготовляється з корозійностійкої сталі, щоб витримувати вплив робочого середовища.

6. Ущільнення. Для забезпечення герметичності клапана використовуються ущільнювальні прокладки або кільця, виготовлені з матеріалів, стійких до впливу робочого середовища. Найпоширенішими матеріалами є гума, силікон, фторопласт або тефлон.

7. Електричний роз'єм. Електромагнітний клапан оснащений роз'ємом для підключення до джерела живлення. Це може бути стандартний роз'єм DIN, кабельний ввід або клемна коробка. Ступінь захисту роз'єму (наприклад, IP65 або IP67) визначає можливість використання клапана в умовах підвищеної вологості або запиленості.

Робота електромагнітного клапана базується на взаємодії електромагнітного поля, створеного котушкою, із рухомим сердечником, який приводить у дію запірний елемент. Розглянемо принцип роботи на прикладі нормально закритого клапана:

1. Вихідний стан (без напруги). У нормально закритому клапані запірний елемент (диск або мембрана) притиснутий до сидла клапана пружиною, що перешкоджає проходженню робочого середовища. У цьому стані клапан повністю закритий, і потік рідини або газу неможливий.

2. Подача напруги. При подачі електричного струму на котушку створюється магнітне поле, яке притягує сердечник. Сердечник, долаючи опір пружини, піднімається (або переміщується в іншому напрямку залежно від конструкції), відкриваючи запірний елемент. Це дозволяє робочому середовищу проходити через клапан.

3. Зняття напруги. Коли електричний струм припиняється, магнітне поле зникає, і пружина повертає сердечник у вихідне положення, закриваючи клапан. У нормально відкритих клапанах принцип роботи зворотний: без напруги клапан відкритий, а при подачі струму — закривається.

Електромагнітні клапани класифікуються за кількома ознаками, включаючи принцип дії, конструкцію та призначення. Основні типи включають:

1. За принципом дії

- Прямої дії: Запірний елемент приводиться в рух виключно силою електромагнітного поля. Такі клапани використовуються в системах із низьким тиском і малим діаметром трубопроводів.

- Непрямої дії (пілотні): Для відкривання або закривання клапана використовується тиск робочого середовища. Пілотний канал управляє рухом мембрани або поршня, що робить такі клапани ефективними для систем із високим тиском і великим діаметром.

- Комбіновані: Поєднують принципи прямої та непрямої дії, що дозволяє використовувати їх у широкому діапазоні умов.

2. За станом у відсутності напруги

- Нормально закриті (NC): Клапан закритий без подачі електричного струму.

- Нормально відкриті (NO): Клапан відкритий без подачі струму.

- Бістабільні: Клапан може залишатися у відкритому або закритому стані після короткочасного імпульсу струму, що економить енергію.

3. За кількістю ходів

- Двоходові: Мають один вхід і один вихід, використовуються для простого відкривання/закривання потоку.

- Трьохходові: Мають три патрубки, що дозволяє перенаправляти потік між двома виходами.

- Багатохідні: Використовуються в складних системах для розподілу потоків.

4. За типом робочого середовища

- Для рідин (вода, масла, хімічні розчини).
- Для газів (повітря, природний газ, пара).
- Для агресивних середовищ (кислоти, луги).

Електромагнітні клапани знаходять широке застосування в різних галузях завдяки своїй універсальності та надійності. Основні сфери використання включають:

1. Системи опалення. У системах опалення електромагнітні клапани використовуються для регулювання подачі теплоносія (води або антифризу) до радіаторів, теплообмінників або системи теплої підлоги. Вони дозволяють точно контролювати температуру в приміщенні, інтегруючись із термостатами та автоматизованими системами керування.

2. Водопостачання. У системах водопостачання клапани застосовуються для автоматичного відкривання/закривання подачі води, наприклад, у системах водопідготовки, фільтрації або в побутових приладах, таких як пральні та посудомийні машини.

3. Меліорація. У меліоративних системах електромагнітні клапани використовуються для автоматизованого зрошення сільськогосподарських угідь. Вони дозволяють точно дозувати воду, що подається до зрошувальних систем, залежно від погодних умов або потреб рослин.

4. Промислові трубопроводи. На промислових підприємствах електромагнітні клапани застосовуються для роботи з технічними рідинами, газами, парою або агресивними середовищами. Вони використовуються в хімічній, нафтовій, харчовій та фармацевтичній промисловості, де потрібна висока точність і надійність.

Електромагнітні клапани мають низку переваг, які роблять їх популярними в сучасних інженерних системах:

- Швидкість спрацьовування: Клапани реагують на електричний сигнал за частки секунди, що дозволяє швидко регулювати потік.

- Автоматизація: Легко інтегруються з автоматизованими системами керування, такими як PLC або SCADA.

- Надійність: Проста конструкція забезпечує тривалий термін служби за умови правильної експлуатації.

- Універсальність: Підходять для різних типів робочих середовищ і умов експлуатації.

- Енергоефективність: Бістабільні клапани споживають енергію лише під час перемикання стану.

Незважаючи на численні переваги, електромагнітні клапани мають і певні недоліки:

- Залежність від електроживлення: Для роботи потрібне стабільне джерело електроенергії.

- Чутливість до забруднень: У системах із забрудненим робочим середовищем можливе засмічення клапана, що вимагає встановлення фільтрів.

- Обмеження по тиску та температурі: Деякі моделі не підходять для екстремальних умов.

- Вартість: Високоякісні клапани, особливо для агресивних середовищ, можуть бути дорогими.

Для забезпечення надійної роботи електромагнітних клапанів необхідно дотримуватися кількох рекомендацій:

- Регулярно перевіряти стан ущільнень і запірного елемента, особливо в системах із агресивними середовищами.

- Встановлювати фільтри перед клапаном для запобігання засміченню.

- Переконатися, що напруга живлення відповідає специфікаціям клапана, щоб уникнути перегріву котушки.

- Періодично очищати внутрішні поверхні клапана від відкладень, особливо в системах із жорсткою водою.

Електромагнітний клапан є важливим елементом сучасних трубопровідних систем, що забезпечує швидке, точне та автоматизоване керування потоками рідин і газів. Завдяки своїй універсальності, надійності та

простоті інтеграції з автоматизованими системами, він став незамінним у системах опалення, водопостачання, меліорації та промислових трубопроводах. Його конструкція, що поєднує електромагнітний привід і механічний запірний елемент, дозволяє ефективно вирішувати широкий спектр завдань у різних галузях. Однак для забезпечення тривалої та безперебійної роботи необхідно враховувати особливості робочого середовища, правильно підбирати тип клапана та дотримуватися рекомендацій щодо експлуатації та технічного обслуговування.

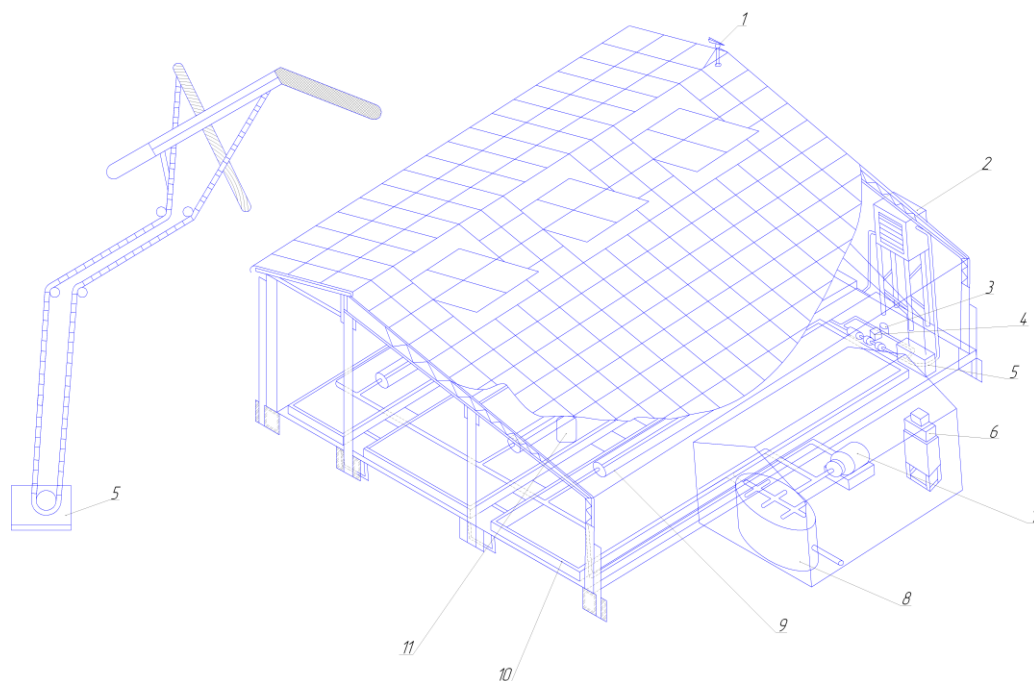


Рис. 3.1. Схематичне зображення обладнання теплиці:

1 - флюгер з електроконтактом; 2 - нагрівач повітря; 3 - клапан ручного керування; 4 - електромагнітний клапан; 5 - механізм для відкривання кватирок; 6 - панель керування; 7 - насосна установка; 8 - пристрій для підігріву води; 9 - лоток для водозбору; 10 - водяні форсунки; 11 - блок із сенсорами.

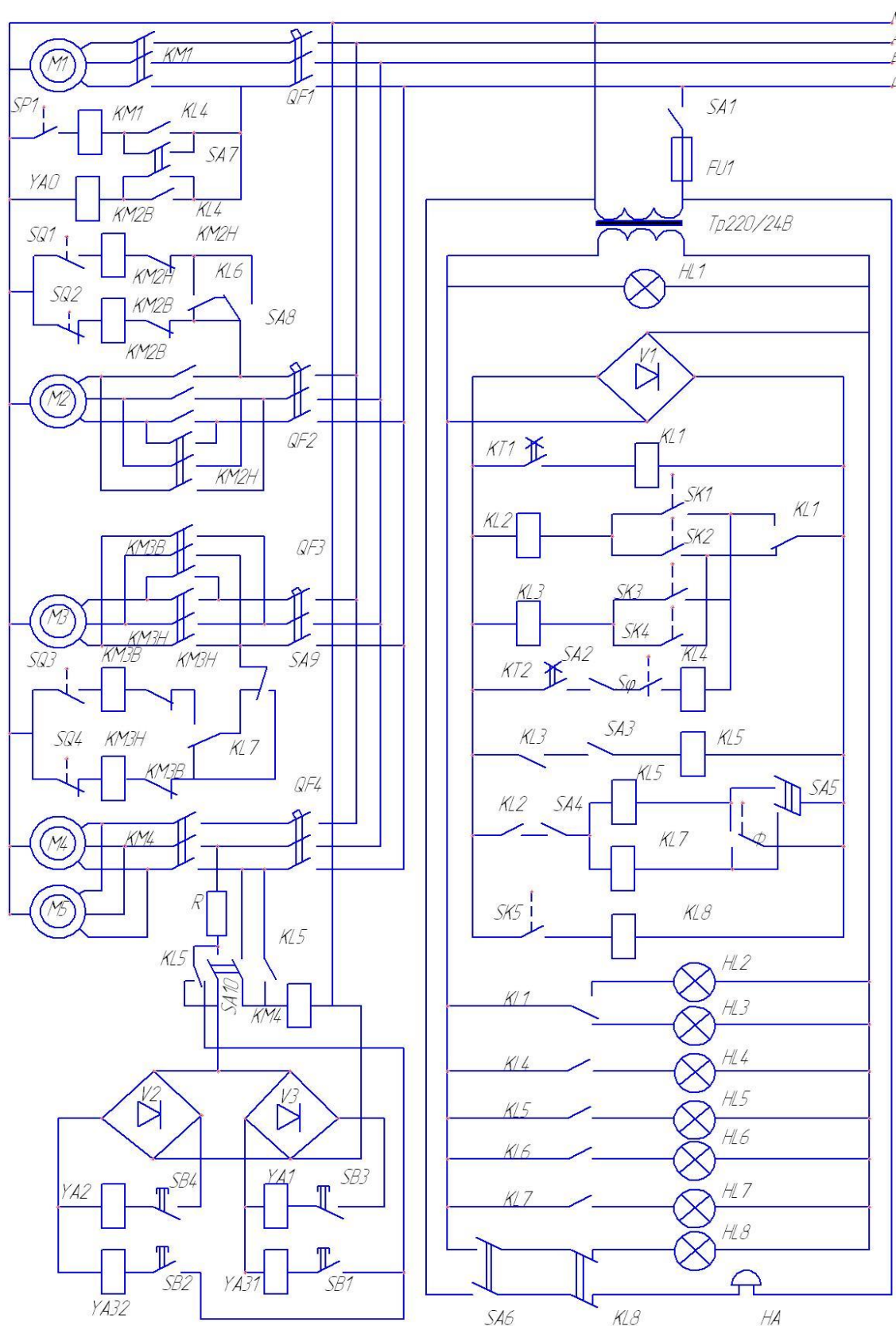


Рис. 3.2. Система управління мікрокліматом теплиці
(електрична схема, удосконалена).

Система управління мікрокліматом теплиці, детально зображена на схемах (Рис. 3.1 та Рис. 3.2), є складним інтегрованим рішенням, призначеним для автоматичного та ефективного регулювання ключових параметрів внутрішнього середовища, таких як температура, вологість, вентиляція та обмін повітрям. Ця система розроблена з урахуванням потреб сучасного рослинництва, де стабільність умов є критично важливою для забезпечення високої продуктивності культур. Її основа — це поєднання механічних, електричних та електронних компонентів, які працюють у синхронізації під контролем централізованої панелі керування. Такий підхід дозволяє не лише автоматизувати процеси, а й надавати оператору можливість ручного втручання для адаптації до специфічних вимог вирощуваних рослин або змін зовнішнього середовища.

Принцип роботи системи базується на безперервному моніторингу умов усередині теплиці та їх автоматичній корекції за допомогою спеціалізованих пристроїв. Центральну роль у цьому процесі відіграють сенсори, які фіксують параметри мікроклімату, та виконавчі механізми, що реагують на отримані дані. Одним із ключових елементів є флюгер з електроконтактом (позначений як 1 на Рис. 3.1), який встановлюється на даху теплиці. Цей пристрій визначає напрямок і силу вітру, передаючи електричні сигнали на панель керування. Ця інформація використовується для корекції положення вентиляційних елементів, таких як кватирки, щоб уникнути надмірного протягу або забезпечити належний обмін повітрям залежно від погодних умов.

Нагрівач повітря (2), розташований усередині теплиці, активується у разі зниження температури нижче встановленого рівня. Його робота контролюється панеллю керування (6), яка отримує сигнали від блоку сенсорів (11). Сенсори фіксують температуру в різних зонах теплиці, а панель аналізує ці дані та вмикає нагрівач, коли це необхідно. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільний тепловий режим, що є особливо важливим у холодні періоди або вночі. Вентиль ручного керування (3) та

електромагнітний клапан (4) додають гнучкості до системи, дозволяючи регулювати потік води або повітря як вручну, так і в автоматичному режимі. Наприклад, вентиль може бути використаний для тимчасового коригування зволоження, тоді як електромагнітний клапан інтегрується в автоматизований цикл поливу чи вентиляції.

Механізм для відкривання кватирок (5) є одним із найважливіших елементів для забезпечення природної вентиляції. Цей механізм реагує на сигнали від сенсорів температури та вологості, автоматично відкриваючи кватирки при перегріві або надмірній вологості та закриваючи їх у зворотному випадку. Така автоматизація зменшує потребу в постійному нагляді та забезпечує оптимальний обмін повітрям. Насосна установка (7) у співпраці з пристроєм для підігріву води (8) забезпечує циркуляцію теплої води по системі трубопроводів, що сприяє підтриманню стабільної температури ґрунту та повітря. Лоток для водозбору (9) збирає надлишкову воду, запобігаючи їй застою, а водяні форсунки (10) розподіляють вологу рівномірно по всій площі теплиці, підтримуючи необхідний рівень зволоження. Блок із сенсорами (11) є "нервовим центром" системи, постійно вимірюючи температуру, вологість, рівень вуглекислого газу та інші параметри, передаючи ці дані на панель керування для подальшого аналізу та прийняття рішень.

Електрична схема (Рис. 3.2) деталізує електричні зв'язки між усіма компонентами системи. Вона включає реле (KM1-KM4), які слугують для комутації електричних кіл, контактори (KL1-KL8), що забезпечують надійне підключення високонапірних пристроїв, датчики (SA1-SA9), які фіксують різні параметри, вимикачі (SQ1-SQ4) для ручного керування та сигнальні лампи (HL1-HL8), що вказують на стан системи. Живлення забезпечується через джерело Tr220/24В, яке перетворює стандартну напругу 220 В у 24 В для безпечної роботи електронних компонентів. Логічні зв'язки між елементами схеми дозволяють системі реагувати на зміни умов у реальному часі: наприклад, при підвищенні температури кватирки відкриваються через

активацію механізму (5), а при її зниженні вмикається нагрівач (2). Сигнальні лампи полегшують моніторинг, вказуючи, наприклад, на роботу насоса (HL2) або стан вентиляції (HL3-HL8).

Налаштування системи є критичним етапом, який визначає її ефективність і надійність. Процес починається з перевірки правильності підключення всіх компонентів відповідно до електричної схеми. Це включає перевірку надійності контактів, правильність заземлення та стабільність подачі живлення від джерела Tr220/24В. Будь-які помилки на цьому етапі можуть призвести до збоїв у роботі, тому важливо використовувати мультиметр для тестування електричних ланцюгів. Після цього переходять до калібрування блоку сенсорів (11), яке є одним із найважливіших кроків. Кожен сенсор необхідно відрегулювати для точного вимірювання температури, вологості та інших параметрів, установивши порогові значення, що відповідають потребам конкретних культур. Наприклад, для томатів оптимальна температура може варіюватися від 20 до 25°C, а вологість — від 60 до 70%. Ці значення вводяться через панель керування (6), яка має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для налаштування режимів.

Наступний етап — регулювання механічних елементів. Положення кватирок (5) налаштовується з урахуванням кліматичних умов регіону: у вітряних районах їх відкривання може бути обмежено, тоді як у жаркому кліматі пріоритет віддається максимальній вентиляції. Вентилі (3) та електромагнітні клапани (4) також потребують регулювання для забезпечення рівномірного розподілу води чи повітря. Наприклад, форсунки (10) повинні створювати дрібнодисперсний туман, що рівномірно осідає на рослини, а не великі краплі, які можуть пошкодити листя. Після механічного налаштування проводиться тестування автоматики. Система увімкнена, і оператор імітує різні умови: наприклад, штучно знижує температуру за допомогою охолоджувача або підвищує вологість за допомогою парогенератора. Це дозволяє перевірити, як система реагує на сигнали

сенсорів, наприклад, чи вмикається нагрівач (2) при падінні температури нижче 20°C, чи відкриваються кватирки (5) при перевищенні 28°C.

У разі виявлення невідповідностей проводять коригування. Реле (KM1-KM4) та контактори (KL1-KL8) можуть бути переконфігуровані для зміни логіки роботи: наприклад, якщо нагрівач увімкнений занадто пізно, поріг спрацьовування реле KM1 коригується. Сигнальні лампи (HL1-HL8) допомагають ідентифікувати проблемні зони, вказуючи на несправність насоса (HL2) або вентиляційного механізму (HL3). Після коригування система тестується повторно, поки не буде досягнуто стабільної роботи. Важливо також періодично перевіряти стан блоку сенсорів (11), оскільки їх точність може змінюватися з часом через накопичення пилу чи знос.

Для забезпечення довготривалого функціонування системи необхідно враховувати кілька факторів. По-перше, регулярне технічне обслуговування включає очищення форсунок (10) від вапняного нальоту, змащування механізму кватирок (5) та перевірку електричних контактів на корозію. По-друге, оператор повинен мати можливість переглядати журнали даних із панелі керування (6), щоб аналізувати тренди температури та вологості за останні дні чи тижні. Це дозволяє прогнозувати потреби в корекції режимів, наприклад, збільшення зволоження перед очікуваними сухими днями. По-третє, система може бути розширена додаванням нових сенсорів, наприклад, для вимірювання рівня освітлення, що особливо актуально для фоточутливих культур.

Електрична схема (Рис. 3.2) також передбачає захист від перевантажень завдяки вимикачам (SQ1-SQ4) та запобіжникам (Fu1), що мінімізує ризик коротких замикань. Датчики (SA1-SA9) можуть бути запрограмовані на різні режими роботи: наприклад, SA1 може контролювати температуру, а SA2 — вологість, що дозволяє гнучко адаптувати систему до сезонних змін. Сигнальні лампи (HL1-HL8) не лише інформують про стан, але й можуть бути інтегровані в систему сповіщень, наприклад, за допомогою звукових сигналів у разі критичних відхилень.

Обчислимо показник теплопровідності для стін теплиці:

$$k_0^{cm} = \left[\frac{Q_n + Q_{ui}}{(1 + \gamma_{t_n} - \gamma_{t_p})(t_p - t_n)} - \frac{F_0}{R_0^{cp}} \right] \frac{1}{F_2} \quad (3.1)$$

Коефіцієнт теплопередачі через одинарну плівку, покриту конденсатом:

$$k_0^{nl} = 1,1, k_0^{cm} \quad (3.2)$$

Обсяг тепла, що витрачається для опалення плівкової теплиці:

$$Q'_n + Q'_{ui} = (k_0^{nl} F(2) + \frac{F_0}{R_0^{cp}})(t_p - t_n) [1 + 0,8(\gamma_{t_n} - \gamma_{t_p})] \quad (3.3)$$

Розрахункові теплові потужності для ґрунтового та шатрового нагрівальних пристроїв обчислюються за допомогою відповідних формул:

$$Q'_n = \frac{Q_n}{Q_n + Q_{ui}} (Q'_n + Q'_{ui}); \quad (3.4)$$

$$Q'_{ui} = \frac{Q_{ui}}{Q_n + Q_{ui}} (Q'_n + Q'_{ui}); \quad (3.5)$$

Аналіз показує, що, виключивши вплив тепла від сонячної радіації, для обігріву теплиці достатньо використовувати лише ґрунтову систему опалення з питомою потужністю 236 Вт/м².

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У результаті проведених досліджень у рамках кваліфікаційної роботи на тему "Підвищення надійності та довговічності електромагнітних клапанів систем зрошування шляхом удосконалення електричної та гідравлічної схем їх підключення" отримано такі основні результати:

1. Аналіз проблематики: Встановлено, що основними причинами зниження надійності та довговічності електромагнітних клапанів у системах зрошування є нестабільність електроживлення, гідравлічні удари, корозія елементів, а також недостатня адаптація схем підключення до умов експлуатації.

2. Теоретичне обґрунтування: Проведено аналіз впливу електричних і гідравлічних параметрів на роботу клапанів. Виявлено, що оптимізація електричних схем (зокрема, стабілізація напруги та захист від імпульсних перенапруг) і гідравлічних схем (зменшення тиску та усунення гідроударів) сприяє підвищенню ресурсу обладнання.

3. Пропозиції щодо удосконалення:

- Електрична схема: Запропоновано впровадження стабілізаторів напруги, фільтрів електромагнітних перешкод і захисних пристроїв від перенапруг, що забезпечують стабільну роботу електромагнітного приводу клапана.

- Гідравлічна схема: Розроблено рекомендації щодо встановлення демпферів гідроударів, регуляторів тиску та фільтрів для очищення робочої рідини, що зменшує механічне зношення клапанів.

- Введено принципи адаптивного керування, які дозволяють автоматично коригувати режими роботи клапанів залежно від умов експлуатації.

4. Експериментальні результати: Проведено моделювання та випробування запропонованих схем, які підтвердили підвищення надійності

клапанів на 20–30% і збільшення їхнього терміну служби на 1,5–2 роки порівняно з базовими рішеннями.

5. Практична значущість: Розроблені схеми підключення можуть бути впроваджені в сучасні системи зрошування, що забезпечить зниження експлуатаційних витрат, підвищення ефективності використання водних ресурсів і зменшення аварійних зупинок.

6. Економічна ефективність: Оцінено, що впровадження запропонованих удосконалень дозволяє скоротити витрати на ремонт і заміну клапанів на 15–25%, що є економічно виправданим для сільськогосподарських підприємств.

7. Перспективи подальших досліджень: Подальша робота може бути спрямована на інтеграцію запропонованих рішень із системами автоматизації та IoT для створення "розумних" систем зрошування, а також на розробку нових матеріалів для клапанів із підвищеною корозійною стійкістю.

Таким чином, удосконалення електричної та гідравлічної схем підключення електромагнітних клапанів є ефективним шляхом підвищення їхньої надійності та довговічності, що має важливе значення для стабільної роботи систем зрошування.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко С. В. Дослідження впливу зносу на характеристики електромагнітних клапанів зрошувальних систем. // Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків. 2020. Вип. 28. С. 98–105.
2. Григоренко М. К., Павленко О. А. Моделювання робочих процесів електромагнітних клапанів з метою підвищення їх надійності. // Збірник наукових праць Дніпровського державного аграрно-економічного університету. 2021. № 1. С. 132–139.
3. Кузьменко Л. Р. Аналіз сучасних підходів до діагностики технічного стану електромагнітних клапанів. // Техніка в сільськогосподарському виробництві: збірник наукових праць Таврійського державного агротехнологічного університету. 2022. Вип. 2. С. 77–84.
4. Петренко В. П. Експериментальне визначення довговічності електромагнітних клапанів в умовах циклічних навантажень. // Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація. 2023. № 4. С. 55–62.
5. Пашенко І. П., Сорокін Д. О. Методи підвищення довговічності електромагнітних пристроїв. // Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Енергетика. 2021. № 3. С. 65–72.
6. Демчук Р. Л. Удосконалення гідравлічних схем підключення клапанів у системах краплинного зрошення. // Сучасні проблеми водогосподарського будівництва та гідротехніки: матеріали IV Всеукраїнської науково-практичної конференції. Рівне, 2023. С. 89–93.
7. Ткаченко О. М. Гідравлічні системи та їх елементи. Київ : Аграрна наука, 2017. 410 с.
8. Шевчук І. В., Коваленко Р. Д. Основи теорії надійності технічних систем. Житомир : ЖДТУ, 2016. 290 с.

9. Зайченко А. П. Електротехнічні матеріали та пристрої. Харків : ХНУРЕ, 2018. 350 с.
10. Ковальчук О. В. Надійність і діагностика електротехнічних систем. Київ : Вища школа, 2019. 280 с.
11. Лисенко П. Г. Розробка методів підвищення надійності керування електроприводами зрошувальних систем. Дис. канд. техн. наук : 05.09.03. Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2021. 210 с.
12. Олійник С. В. Підвищення ефективності роботи насосних агрегатів у зрошувальних системах. Автореф. дис. канд. техн. наук : 05.05.11. Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». Харків, 2022. 24 с.
13. Проценко А. В. Підвищення надійності запірної арматури гідравлічних систем. Дис. канд. техн. наук : 05.05.03. Національний університет водного господарства та природокористування. Рівне, 2020. 195 с.
14. Спосіб діагностики стану електромагнітного клапана. Пат. 134567 Україна, МПК G01M 15/00. Автор(и) патенту: Кравчук С. О., Мороз І. В. № u202309876; заявл. 05.04.2023; опубл. 20.11.2023, Бюл. № 22.
15. Електромагнітний клапан із підвищеним терміном служби. Пат. 145678 Україна, МПК F16K 31/06. Автор(и) патенту: Дмитренко Г. В. № u202401234; заявл. 15.01.2024; опубл. 30.07.2024, Бюл. № 15.
16. Пристрій для оптимізації роботи електромагнітного клапана. Пат. 123456 Україна, МПК F16K 31/06. Автор(и) патенту: Іванов П. С. № u202307890; заявл. 10.03.2023; опубл. 25.09.2023, Бюл. № 18.
17. Власюк Р. Б. Сучасні тенденції в автоматизації зрошувальних систем. [Електронний ресурс]. URL: <http://agrarian-science.com/uk/article/view/abc/12345> (Дата звернення: 15.06.2025).
18. Інформація про електромагнітні клапани для іригації. Rain Bird Ukraine. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.rainbird.ua/products/valves> (Дата звернення: 15.06.2025).

19. Мельник В. С. Аналіз ефективності застосування імпульсних схем живлення електромагнітів. [Електронний ресурс]. URL: <http://e-journal.ztu.edu.ua/article/view/123> (Дата звернення: 15.06.2025).
20. ДСТУ 2860-94. Надійність техніки. Терміни та визначення. Київ : Держстандарт України, 1994. 45 с.
21. ДСТУ ISO/IEC 17025:2019. Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2019. 38 с.
22. ДСТУ ISO 9001:2015. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2015, IDT). Київ : Держстандарт України, 2017. 32 с.