

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Сумський державний університет
Факультет електроніки та інформаційних технологій
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри КСУ

Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
на здобуття освітнього ступеня магістр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
освітньо-професійної програми
«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»
на тему: «Ресурсозбережне керування системою поливу газону»

Здобувача групи СУ.м-22

Дядечко І.В.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело.

ДЯДЕЧКО Іван

(підпис)

Керівник: Доцент кафедри КСУ к.ф.-м.н. Сергій СОКОЛОВ

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

_____ (підпис)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

_____ Леонт'єв П. В.

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра здобувачу вищої освіти
Дядечко Івану Вікторовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Ресурсозбережне керування процесом поливу газону. Затверджена наказом ректора СумДУ. №1097-VI від "09" жовтня 2023 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи: 18 грудня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові публікації, статті, технічна документація, список літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу тощо.
4. Зміст пояснювальної записки: аналіз предметної області, технологічна характеристика систем поливу газонних покриттів, вимоги до автоматизованої системи керування процесом вирощування газонів, алгоритм роботи автоматичної системи процесом вирощування рослин методом аеропоніки, автоматизована система керування процесом поливу газону, вибір засобів автоматизації, моделювання системи в середовищі Matlab, підбір та налаштування регуляторів, аналіз отриманих даних.
5. Перелік графічних матеріалів: 16 рисунків, 1 таблиця.

6. Календарний план проектування.

Номер етапу	Зміст етапу проектування	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел.	14.09.2023 – 16.10.2023
2	Аналіз предметної області. Область застосування.	16.10.2023 – 18.11.2023
3	Аналіз алгоритму роботи автоматичної системи управління системи поливу.	18.11.2023 – 02.11.2023
4	Розробка автоматизованої системи управління поливом.	02.11.2023 – 21.11.2023
5	Вибір засобів автоматизації.	21.11.2023 – 03.12.2023
6	Моделювання системи та аналіз отриманих даних	03.12.2023 – 13.12.2023
7	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра супровідної документації	13.12.2023 – 15.12.2023

7. Дата видачі завдання “14” вересня 2023р.

Керівник проекту:

Доцент кафедри КСУ к.ф.-м.н.

Соколов С.В.

До виконання прийняв:

студент групи СУ.м – 22

Дядечко І.В.

Анотація

Ця магістерська робота присвячена розробці та оптимізації ресурсозберігаючої системи поливу для газонів з використанням системи прогнозованого керування.

Основна увага зосереджена на інтеграції систем прогнозування випаровування з ґрунту. Були застосовані методи частотного перетворення для керування асинхронними двигунами, що забезпечують адаптивний контроль тиску води відповідно до різних потреб поливу. Результати дослідження демонструють підвищення ефективності використання водних ресурсів та енергетичну ефективність системи. Робота вносить важливий вклад у розвиток технологій поливу, сприяючи ресурсозбережному використанню природних ресурсів. Ключові слова: ресурсозберігаюча система поливу, асинхронний двигун, частотне перетворення, система поливу газону, водна ефективність.

Робота містить 56 сторінку, 16 рисунків, 1 таблицю, 1 додаток інформаційний.

Annotation

This master's thesis is dedicated to the development and optimization of a resource-saving irrigation system for lawns using a predictive control system.

The main focus is on integrating evapotranspiration forecasting systems. Frequency conversion methods were applied to control asynchronous motors, ensuring adaptive water pressure control according to the diverse irrigation needs. The research results demonstrate an increase in the efficiency of water resource usage and the energy efficiency of the system. This work contributes significantly to the development of irrigation technologies, promoting the resource-conserving use of natural resources. Keywords: resource-saving irrigation system, asynchronous motor, frequency conversion, lawn irrigation system, water efficiency.

The work contains 56 pages, 16 figures, 1 table, 1 informational appendix.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД).....	9
1.2 Пропозиції щодо оптимізації.....	11
1.3 Розробка сталих методів зрошення.....	14
1.4 Аналіз існуючих рішень в системах управління, та математичних моделей в агрономії...	15
РОЗДІЛ 2 ЦІЛІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.	26
2.1 Мета	26
2.2 Реагування на мінливі умови з використанням ґрунтових датчиків	29
2.3 Керування асинхронним двигуном для регулювання тиску у системі поливу	32
2.4 Висновки розділу.....	35
РОЗДІЛ 3 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА	37
3.1 Створення функціональної схеми автоматизації.....	37
3.2 Розробка алгоритма керування.....	38
3.3 Розробка математичної моделі контролю вологості в ґрунті	39
3.4 Передавальна насоса	40
3.5 Підсистема розрахунку добового випаровування	41
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА.....	43
4.1 Створення симуляції підсистеми розрахунку добового випаровування.....	43
4.2 Створення симуляції системи керування поливом	44
4.3 Симуляція системи поливу з інтегрованою системою прогнозування випаровування	46
4.4 Економічна та екологічна оцінка впровадження системи керування поливом.....	47
4.5 Створення симуляції системи керування тиском водяного насоса	49
4.6 Розробка SCADA	52
Висновки:	53
Список використаних джерел	54

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління

ОР – об'єкт регулювання

ТП – технологічний процес

АКР – аналітичне конструювання регуляторів

ПФ – передаточна функція

ПЧ – перетворювач частоти

ВСТУП

Актуальність дослідження, сучасні системи поливу газонів є легкими в експлуатації та відносно дешевими. Однак вони не спрямовані на водну ефективність, а готові рішення не враховують нерівномірність випаровування та розподілу води в ґрунті. Необхідна кількість витрачається води встановлюється дослідним шляхом та не враховує нерівномірність потреб поливу на різних ділянках одної системи протягом дня.

Це призводить до значного перевитрату води, що є проблемою для багатьох країн світу, які відчувають дефіцит водних ресурсів. Наприклад, в Україні за даними Держводагентства, в 2022 році заборотованість водних ресурсів склала 75%.

Проблема недостатньої ресурсоефективності автоматизованих систем поливу газонів. Ця проблема може бути вирішена за рахунок розробки та впровадження нових технічних рішень автоматизованого керування поливом, які враховують нерівномірність випаровування та розподілу води в ґрунті.

Мета дослідження полягає в розробці та впровадженні нових технічних рішень автоматизованого керування поливом газонів, які підвищують водну ефективність системи.

Об'єктом дослідження є автоматизовані системи поливу газонів.

Предметом дослідження є нові технічні рішення автоматизованого керування поливом газонів, які підвищують водну ефективність системи.

Наукова новизна дослідження полягає в розробці нових технічних рішень автоматизованого керування поливом газонів, які враховують нерівномірність випаровування та розподілу води в ґрунті.

Теоретична значущість дослідження полягає в тому, що воно вносить новий вклад у розвиток технологій поливу, сприяючи ресурсозбережному використанню природних ресурсів.

Практична цінність дослідження полягає в тому, що його результати можуть бути використані для розробки та впровадження нових систем поливу газонів, які підвищують водну ефективність.

РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)

1.1 Вступ до розділу

У сучасній агрономії системи управління зрошенням відіграють вирішальну роль у забезпеченні ефективного використання водних ресурсів. Такі системи повинні бути не тільки ефективними і надійними, але і гнучкими, щоб адаптуватися до різних агрокліматичних умов і потреб різних культур. Цей аналіз має на меті оцінити поточну ефективність системи управління зрошенням, виявити її слабкі місця та запропонувати шляхи оптимізації.

Ключові параметри для аналізу:

Точність контролю зрошення: Одним з найважливіших аспектів ефективної системи управління зрошенням є її здатність точно регулювати кількість та інтенсивність зрошення. Сюди входить не тільки автоматичне управління на основі заданих параметрів, але і можливість адаптації до мінливих умов в режимі реального часу. Наприклад, система повинна враховувати зміни погодних умов, таких як опади або температура повітря, а також зміни умов ґрунту, таких як вологість або щільність ґрунту.

Точність контролю поливу добрив: Необхідна для ефективного використання добрив, запобігання забрудненню навколишнього середовища, зменшення витрат і покращення врожайності, що в кінцевому підсумку сприяє сталому та продуктивному сільському господарству та ландшафтному дизайну.

Реагування на мінливі умови: Важливим аспектом є здатність системи адаптуватися до умов, що змінюються. Це може включати зміни клімату протягом сезону, відмінності в потребах різних культур, а також адаптацію до конкретної місцевості, де використовується система. Адаптивність системи до таких змін безпосередньо впливає на її здатність забезпечувати оптимальне використання води, що має вирішальне значення в умовах обмеженого водопостачання.

Ресурсоефективність: ефективність системи не тільки обмежена кількістю використаної води, але також включає економію ресурсів. Системи, які споживають менше води для досягнення тих самих результатів, не тільки

знижують експлуатаційні витрати, але й сприяють більш сталому сільському господарству.

Виклики та можливості для вдосконалення:

Аналіз існуючих систем управління зрошенням виявив кілька ключових проблем, які необхідно вирішити для підвищення їх ефективності:

Обмежена адаптивність: багато існуючих іригаційних систем обмежені у своїй здатності адаптуватися до умов, що швидко змінюються. Це може включати нездатність адекватно реагувати на несподівані зміни погоди або зміни умов ґрунту.

Неоптимальний розподіл ресурсів: деякі системи не забезпечують оптимального розподілу води, що призводить до надмірного використання в одних районах і недостатнього поливу в інших. Це не тільки збільшує загальне споживання води, але й може мати негативний вплив на здоров'я рослин і врожайність.

Складність управління та обслуговування: висока складність деяких систем може призвести до труднощів у їх налаштуванні та обслуговуванні, що вимагає додаткових ресурсів та часу.

Відсутність інтеграції з іншими сільськогосподарськими технологіями: У багатьох випадках зрошувальні системи працюють ізольовано від інших сільськогосподарських систем, що втрачає можливості для підвищення загальної ефективності за рахунок інтеграції з моніторингом погоди, управлінням добривами та іншими аспектами розумного сільського господарства.

Складність масштабування системи: багато систем управління зрошенням мають обмеження в масштабуванні, що ускладнює адаптацію до збільшення або зміни сільськогосподарських площ. Особливо це актуально для великих сільськогосподарських підприємств, де необхідно забезпечити однорідне і ефективне зрошення на великих площах.

Стійкість до екстремальних погодних умов: системи часто вразливі до екстремальних погодних умов, таких як посуха або сильні опади, що може

призвести до їх виходу з ладу або зниження ефективності. Необхідно підвищувати здатність систем пристосовуватися до таких умов, забезпечуючи надійне зрошення навіть у складних кліматичних ситуаціях.

Відсутність зворотного зв'язку та аналітики: Недостатня кількість коштів для збору та аналізу даних про зрошення обмежує можливість постійного вдосконалення та оптимізації системи. Впровадження систем збору даних та аналітики допоможе у більш точному плануванні зрошення та підвищить його ефективність.

Проблеми з інтерфейсом користувача та керуванням: багато зрошувальних систем мають складні або не інтуїтивно зрозумілі інтерфейси, що ускладнює їх налаштування та управління, особливо для фермерів без спеціальної технічної підготовки. Удосконалення призначеного для користувача інтерфейсу і спрощення процесу управління дозволяє значно підвищити доступність і зручність використання системи.[14]

Екологічні аспекти: З огляду на зростаючу увагу до екологічної стійкості та захисту навколишнього середовища, системи управління зрошенням повинні бути розроблені таким чином, щоб мінімізувати їх вплив на природу. Це не тільки економія водних ресурсів, а й зменшення впливу на ґрунт та навколишні екосистеми.

Ці аспекти аналізу визначають ключові сфери для вдосконалення існуючих систем управління зрошенням. Вирішення цих проблем та впровадження запропонованих удосконалень призведе до створення більш ефективних, адаптивних та екологічно чистих зрошувальних систем, що сприятиме сталому сільському господарству.

1.2 Пропозиції щодо оптимізації

Інноваційні технології та передові алгоритми дозволяють значно підвищити ефективність систем управління зрошенням, зробивши їх більш адаптивними, надійними та економічно вигідними.

Впровадження вдосконалених датчиків: сучасні датчики, здатні вимірювати різні параметри ґрунту та навколишнього середовища (вологість, температура, кількість опадів), можуть значно підвищити точність системи. Використання таких датчиків дозволить системі точніше адаптуватися до поточних умов і оптимально розподіляти водні ресурси.

Розробка інтелектуальних алгоритмів управління: Застосування алгоритмів штучного інтелекту та машинного навчання для аналізу зібраних даних дозволить системі прогнозувати оптимальні параметри зрошення. Це може включати аналіз погодних умов, історичні дані про ефективність зрошення та інші відповідні фактори.

Автоматизація процесів контролю: Автоматизація ключових процесів управління зрошенням може значно спростити роботу системи, зробивши її більш ефективною та зменшивши витрати на оплату праці.

Інтеграція з іншими системами розумного землеробства: Поєднання системи зрошення з іншими системами розумного землеробства, такими як моніторинг погоди, системи управління добривами та хворобами рослин, створить цілісну екосистему управління сільським господарством.

Розробка модульних і масштабованих рішень: Створення систем, які можна легко масштабувати та адаптувати до різних умов і розмірів майданчика, забезпечить їх широке застосування та гнучкість у використанні.

Покращений інтерфейс користувача та доступність: Розробка більш інтуїтивно зрозумілих та простих у використанні інтерфейсів допоможе фермерам ефективніше керувати зрошувальними системами, знижуючи бар'єри для їх застосування.

Екологічна стійкість: впровадження технологій, спрямованих на мінімізацію впливу на навколишнє середовище, таких як системи крапельного зрошення або рециркуляції води, сприяє сталому розвитку сільського господарства.

Розробка системи зворотного зв'язку та аналітики: Впровадження механізмів збору зворотного зв'язку про роботу системи та аналізу результатів її роботи допоможе в постійному вдосконаленні та оптимізації процесів управління зрошенням.

Покращена аналітика та прийняття рішень: Системи управління зрошенням повинні бути оснащені передовими аналітичними інструментами для більш ефективного збору та обробки даних. Це включає розробку алгоритмів для автоматичного аналізу даних датчиків і прийняття рішень на основі поточних умов, історичних даних і прогнозів погоди. Такий підхід дозволить системі не тільки реагувати на поточні умови, а й прогнозувати майбутні потреби в зрошенні.

Оптимізація ефективності використання ресурсів: Важливим аспектом удосконалення систем управління зрошенням є зменшення їх впливу на навколишнє середовище та підвищення ефективності використання ресурсів. Цього можна досягти за рахунок впровадження крапельного зрошення, автоматизованих систем управління водо- та енергоспоживанням, використання альтернативних джерел енергії, таких як сонячні панелі.[11]

Розробка систем дистанційного керування та моніторингу: Впровадження систем дистанційного керування та моніторингу дозволить фермерам контролювати та керувати процесами зрошення на великих площах, підвищуючи загальну ефективність та зручність використання. Такі системи також можуть надавати рекомендації щодо оптимізації зрошення на основі аналізу даних, зібраних у режимі реального часу.

Впровадження адаптивних моделей управління: Розробка адаптивних моделей управління, які можуть автоматично змінювати параметри зрошення залежно від змін у навколишньому середовищі, потребах рослин та умовах ґрунту. Такі моделі враховують безліч змінних і дозволяють створити більш гнучку та ефективну систему управління зрошенням.

Інтеграція з глобальними системами моніторингу: Зв'язок системи управління зрошенням з глобальними системами моніторингу погоди та зміни клімату дозволить більш точно прогнозувати майбутні потреби в зрошенні та адаптувати систему до мінливих кліматичних умов.

Розробка користувацьких інтерфейсів та навчальних програм: Розробка більш інтуїтивно зрозумілих інтерфейсів користувача та навчальних програм допоможе фермерам краще зрозуміти та ефективно використовувати системи

управління зрошенням. Навчання та підтримка користувачів є ключовими факторами для успішного впровадження та використання таких систем.

Підвищення стійкості систем до екстремальних умов: Підвищення стійкості систем до екстремальних погодних умов, таких як посухи або сильні опади, забезпечить надійність зрошення навіть у складних кліматичних сценаріях.

Підвищення ефективності планування ресурсів: Одним із ключових аспектів оптимізації систем управління зрошенням є покращення планування ресурсів. Сюди входить не тільки розподіл водних ресурсів, а й енергетичне планування, обслуговування обладнання, управління персоналом. Розробка інтегрованих систем планування, здатних аналізувати великі обсяги даних і оптимізувати розподіл ресурсів на основі поточних і прогнозованих умов, дозволить підвищити загальну ефективність і знизити операційні витрати. Використання таких систем забезпечить більш точне та економічно обґрунтоване управління ресурсами, що особливо важливо в умовах обмеженості водних та енергетичних ресурсів.

Ці заходи з оптимізації є комплексним підходом до вдосконалення існуючих систем управління зрошенням, щоб зробити їх більш ефективними, адаптивними та екологічно чистими. Реалізація цих пропозицій не лише покращить показники сільського господарства, але й зробить сільське господарство більш стійким та готовим до майбутніх викликів.

1.3 Розробка сталих методів зрошення

Важливим аспектом оптимізації систем управління зрошенням є розробка та впровадження сталих практик, які сприяють збереженню природних ресурсів та підвищенню екологічної ефективності.

Крапельне зрошення: крапельне зрошення є одним із найефективніших способів мінімізувати споживання води. Цей метод дозволяє доставляти воду безпосередньо до коріння рослин, мінімізуючи втрати на випаровування та поверхневий стік.[12]

Збір та використання дощової води: системи збору та зберігання дощової води можуть значно зменшити залежність від традиційних джерел води, особливо в регіонах з обмеженими водними ресурсами.

Раціональний розподіл води: Використання автоматизованих систем розподілу води відповідно до реальних потреб рослин та ґрунту допомагає уникнути заболочування та забезпечує рівномірне зрошення.

Обмеження ерозії ґрунту: застосування методів, які зменшують ерозію ґрунту, таких як крапельне зрошення або використання мульчі, допомагає підтримувати структуру та родючість ґрунту.

Зменшення хімічного впливу: інтеграція зрошувальних систем з точним внесенням добрив та технологіями захисту рослин допомагає зменшити загальну кількість використовуваних хімікатів.

Використання альтернативних джерел енергії: впровадження сонячних панелей або вітряних турбін для живлення зрошувальних систем зменшує їх залежність від традиційних енергетичних ресурсів і сприяє зниженню вуглецевого сліду.

Використання енергоефективних насосів і систем управління допомагає зменшити загальне споживання енергії. [13]

Підвищення обізнаності та навчання фермерів: Розробка програм навчання та обізнаності фермерів щодо сталих методів зрошення є ключовим елементом для успішного впровадження цих практик.

Залучення громади: Взаємодія з місцевими громадами та зацікавленими сторонами для розробки сталих практик зрошення та управління водними ресурсами сприяє цілісній та ефективній системі управління зрошенням.

1.4 Аналіз існуючих рішень в системах управління, та математичних моделей в агрономії

"Розширення існуючої моделі випаровування та перерозподілу ґрунтових вод в умовах підвищеного вмісту води"[1]

Дослідження, проведене під керівництвом Джо Річі та його колег, розширює існуючу модель для оцінки випаровування води з ґрунту та перерозподілу води в умовах високого вмісту вологи в ґрунті. Метою дослідження було покращення розуміння процесів випаровування ґрунту при різних рівнях вологості, що має важливе значення для ефективного управління водними ресурсами в сільському господарстві.

Дослідники зосередилися на розширенні моделі Річі, розробленої в 1972 році, яка послужила корисним інструментом для оцінки випаровування ґрунтової води. Однак оригінальна модель не враховувала перерозподіл вологи в ґрунті в результаті випаровування. У відповідь на це була розроблена вдосконалена модель, яка була інтегрована в модель DSSAT-CSM (Decision Support System for Agrotechnology Transfer Cropping Systems Model), яка включала нові алгоритми для більш точного моделювання цих процесів.

Модель ґрунтувалася на теорії дифузії та передбачала наявність різних стадій випаровування залежно від рівня вологості ґрунту. Дослідження включало лабораторні експерименти з ґрунтовими стовпами та аналіз даних, отриманих у полі в північно-центральної Флориді протягом кількох сезонів.

Результати дослідження показали, що вдосконалена модель більш точно оцінює випаровування та вміст води в ґрунті, особливо у верхньому шарі ґрунту глибиною 5 см.

Одним із ключових висновків дослідження є те, що модель Річі може бути успішно адаптована та застосована до різних умов вологості ґрунту, що робить її цінним інструментом для більш точного та ефективного управління зрошенням у сільськогосподарських системах.

Це дослідження має важливі наслідки для розробки та оптимізації систем управління зрошенням. Розуміння процесів випаровування та перерозподілу води в ґрунті дозволяє створити більш точні та ефективні системи зрошення, які можуть адаптуватися до різних ґрунтово-кліматичних умов. Це, в свою чергу, сприяє підвищенню врожайності та стійкості сільського господарства, а також більш раціональному використанню водних ресурсів.

Щоб оцінити цінність удосконаленої моделі Rinchie, важливо порівняти її з іншими існуючими системами управління зрошенням. Існуючі системи часто базуються на простих моделях, які не враховують динамічний перерозподіл води в ґрунті. На противагу цьому, вдосконалена модель Річі забезпечує більш точне уявлення про вміст вологи в ґрунті, що має вирішальне значення для визначення оптимального часу та об'єму поливу.

Удосконалена модель Річі дозволяє більш точно визначати, коли і скільки води потрібно для зрошення, що призводить до більш ефективного використання водних ресурсів. Це особливо важливо в регіонах з обмеженими водними ресурсами або в умовах зміни клімату. Більш точне управління зрошенням також може допомогти запобігти перезволоженню ґрунту, що важливо для запобігання хворобам рослин і зниженню врожайності.

Дослідження демонструє, що використання вдосконаленої моделі Річі може значно підвищити ефективність систем управління зрошенням. Це досягається за рахунок більш точного розуміння процесів випаровування і перерозподілу води в ґрунті. В результаті системи управління зрошенням можуть стати більш адаптивними до мінливих умов і потреб рослин.

Додаткові аспекти, які слід враховувати

- Облік зміни клімату: В умовах зміни клімату модель повинна бути в змозі адаптуватися до нових погодних умов та екстремальних умов, таких як посухи та сильні опади.
- Інтеграція з іншими технологіями: Для підвищення ефективності моделі важливо інтегрувати її з іншими сільськогосподарськими технологіями, включаючи системи точного землеробства та автоматизоване управління добривами.

"Проектування ПІД-контролера для зрошувальної системи" (Харіні М.М., К. П. Шобха)[2]

Дослідження, проведене Харіні М. та К. П. Шобха, зосереджене на розробці регулятора PID для системи зрошення. Основна мета полягала в тому, щоб контролювати температуру і вологість сільськогосподарського середовища і використовувати ці параметри для створення високоефективного зрошувального

середовища. Особливістю даного дослідження є розробка математичних моделей вхідних сигналів і двигунів постійного струму, а також методу настройки Циглера-Ніколса для ПД-контролера.

У дослідженні використовувалися датчики температури та вологості для визначення параметрів ґрунту. Розроблена система управління на базі ПД-регулятора дозволила автоматизувати процес поливу, адаптуючись до поточних умов навколишнього середовища. Використання MATLAB і Simulink дозволило створити і змодельовати модель системи поливу.

Дослідження показало, що система управління на основі ПД-регулятора може ефективно регулювати полив на основі даних з датчиків. Це забезпечує більш точне та економне використання водних ресурсів з урахуванням змін температури та вологості ґрунту.

Порівнюючи цю систему з іншими методами управління зрошенням, можна відзначити, що використання ПД-регулятора забезпечує більшу гнучкість і пристосованість до мінливих умов. На відміну від традиційних систем, які можуть бути жорстко закодовані за певними параметрами, система на основі ПД-контролера здатна динамічно реагувати на зміни в навколишньому середовищі, що важливо для зниження ризиків, пов'язаних з заболочуванням або недостатнім поливом.

Система управління на базі ПД-регулятора демонструє високу ефективність в умовах точного контролю поливу. Це підтверджують результати моделювання, які показують стійке функціонування системи в різних зовнішніх умовах.

У дослідженні використовувалися датчики для вимірювання температури та вологості ґрунту, що має вирішальне значення для точного контролю зрошення. Розроблена модель ПД-регулятора дозволила динамічно регулювати зрошення, оптимізуючи використання води відповідно до поточних потреб рослин і станом ґрунту. Ця система є важливим кроком на шляху до автоматизації сільськогосподарських процесів.

Перевагою використання ПД-регулятора є його здатність швидко і точно реагувати на зміну зовнішніх умов. Однак існують і обмеження, включаючи

складність налаштування та обслуговування системи, особливо в умовах різної вологості та температури ґрунту.

У порівнянні з традиційними системами зрошення, система на основі PID-контролера демонструє значне підвищення точності та економії води. Традиційні системи часто залежать від ручного керування або простих таймерів, що може призвести до надмірного або недостатнього поливу. З іншого боку, система PID контролера дозволяє більш точно налаштувати зрошення відповідно до фактичних потреб ґрунту та рослин.

У контексті сталого сільського господарства ефективне управління зрошенням є ключовим. Підвищення ефективності зрошення допомагає зменшити загальне споживання води, що важливо для збереження води. Крім того, більш точне управління зрошенням допомагає покращити здоров'я рослин і підвищити врожайність.

Проведене дослідження показує значний потенціал використання ПІД-регуляторів в системах зрошення. У майбутньому важливою подією стане інтеграція таких систем з іншими технологіями розумного сільського господарства, включаючи автоматичне управління добривами та системи моніторингу здоров'я рослин. Це дозволить створити цілісні та автоматизовані системи управління сільським господарством, що призведе до більш сталого та продуктивного сільського господарства.

У дослідженні детально розглядаються технічні характеристики та параметри конфігурації ПІД-регулятора, що важливо для розуміння механізмів його роботи. Автори описують, як різні налаштування (пропорційні, інтегральні та диференціальні) впливають на реакцію системи на зміни в навколишньому середовищі. Це дає уявлення про те, як можна налаштувати систему для різних типів ґрунтів та кліматичних умов.

У контексті інтегрованого сільського господарства система на основі контролера PID може взаємодіяти з іншими технологіями, такими як системи дистанційного моніторингу та управління, а також автоматизовані системи подачі

добрих. Така взаємодія дозволяє створювати більш комплексні та ефективні системи управління сільськогосподарським виробництвом.

Дослідження також торкається питання адаптації системи до різних кліматичних умов. Це особливо важливо для регіонів зі змінними погодними умовами, де вимоги до зрошення можуть значно змінюватися протягом року.

Автори дослідження також звертають увагу на соціально-економічні аспекти використання ПІД-регуляторів у сільському господарстві. Це включає аналіз вартості впровадження таких систем, їх доступності для фермерів, а також потенційного впливу на підвищення врожайності та зниження витрат.

Висновки та перспективи на майбутнє

Дослідження підбиває підсумки, вказуючи на значний потенціал систем на основі PID-контролерів у підвищенні ефективності зрошення. Далі автори пропонують додаткові дослідження для адаптації та оптимізації таких систем для різних сільськогосподарських умов та інтеграції їх з іншими технологіями в сільському господарстві.

"Моделювання та оптимізація для управління зрошенням за допомогою бездротових сенсорних мереж" (Деніел А. Вінклер, 2019)[3]

Дисертація Деніела А. Вінклера була присвячена розробці та оптимізації систем управління зрошенням з використанням бездротових сенсорних мереж. Основний акцент робиться на ефективне використання водних ресурсів та оптимізацію зрошення на великих площах, що актуально для сучасного сільського господарства.

Основні положення:

Розробка бездротової сенсорної мережі для зрошення: Автор представляє систему, що складається з датчиків вологості ґрунту, контролерів зрошення та пристроїв бездротового зв'язку, які дозволяють збирати дані про ґрунт та оптимізувати розподіл водних ресурсів.

Моделювання та прогнозування потреб у зрошенні: Вінклер розробляє математичні моделі, які допомагають прогнозувати потреби у воді на основі різних факторів, таких як погодні умови, вологість ґрунту та рослинний покрив.

Оптимізація розподілу води: Використовуючи дані, зібрані датчиками, система здатна оптимізувати розподіл води, забезпечуючи рівномірний полив і запобігаючи як заболочуванню, так і недостатньому поливу.

Дисертація Вінклера являє собою значний крок вперед у порівнянні з традиційними методами зрошення. На відміну від стандартних систем, які часто покладаються на універсальні налаштування, бездротова сенсорна мережа дозволяє динамічно адаптувати зрошення до конкретних умов кожної зони зрошення.

Результати, представлені в дисертації, свідчать про значне підвищення ефективності використання води, зниження витрат на зрошення та покращення здоров'я рослин. Вінклер підкреслює, що застосування таких технологій може мати значний вплив на стійкість сільського господарства, особливо в умовах обмежених водних ресурсів.

Дослідження Вінклера передбачає глибокий аналіз роботи бездротових сенсорних мереж в контексті управління зрошенням. Основна увага приділяється ефективності передачі даних між датчиками та контролером, а також алгоритмам обробки даних. Важливим аспектом є мінімізація затримок і помилок при передачі інформації, що критично важливо для того, щоб система реагувала на зміну умов своєчасно і точно.

Вінклер підкреслює інноваційність свого підходу, особливо в контексті використання бездротових сенсорних мереж для динамічного управління зрошенням. Це дає можливість значно підвищити масштабованість системи і її застосовність в різних сільськогосподарських умовах.

Автор також звертає увагу на технологічні виклики, пов'язані з впровадженням такої системи, включаючи забезпечення стабільної роботи датчиків у різних кліматичних умовах та підтримання надійного зв'язку між

пристроями. У відповідь на ці виклики компанія Winkler розробляє ряд технічних рішень, спрямованих на підвищення надійності та ефективності системи.

Подальший аналіз показує, що система Winkler має значні переваги перед традиційними методами зрошення та іншими автоматизованими системами. Особливо це стосується можливості більш точно враховувати місцеві умови і швидко реагувати на зміну погодних або ґрунтових умов.

Вінклер також приділяє увагу екологічному аспекту своєї системи. Він наголошує, що більш ефективне управління зрошенням не тільки зменшує споживання води, але й сприяє зменшенню ерозії ґрунту та зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

За результатами своїх досліджень Вінклер пропонує рекомендації щодо практичного застосування розробленої системи в різних сільськогосподарських умовах. Він наголошує на важливості налаштування системи з урахуванням специфіки ґрунту, клімату та культур, що може значно підвищити її ефективність.

На завершення своєї дисертації Вінклер підводить підсумки, вказуючи на значні перспективи використання бездротових сенсорних мереж в управлінні зрошенням. Він наголошує, що подальші дослідження та розробки в цій галузі можуть сприяти підвищенню врожайності, економії ресурсів та підвищенню стійкості сільського господарства до зміни клімату.

Огляд Дослідження "Оптимізація параметрів ПІД-регулятора для системи управління водою та добривами на основі алгоритму адаптивного світляка часткового притягання"[4]

Дослідження, авторами якого є Мінці Хуанг, Мін Тянь, Ян Лю, Яо Чжан і Цзе Чжоу, зосереджено на оптимізації параметрів PID-контролера для систем управління водою та добривами за допомогою алгоритму адаптивної часткової привабливості світлячків (PAAFA). Мета – підвищити точність та ефективність контролю за процесом водопостачання та внесення добрив.

Основні положення:

Розробка та застосування РААФА: Авторами запропоновано новий метод оптимізації параметрів PID-контролера за допомогою РААФА. Алгоритм призначений для поліпшення збіжності і зменшення коливань системи на пізніх стадіях.

Моделювання системи управління: У дослідженні розроблено математичну модель системи управління водою та добривами, що включає алгоритми керування потоками та параметрами ПІД-регулятора.

Тестування та аналіз результатів: Моделювання та стендові випробування були проведені для порівняння ефективності РААФА з іншими методами, такими як генетичний алгоритм (GA) та стандартний алгоритм світляка (FA).

Порівнюючи РААФА з традиційними та іншими сучасними методами оптимізації, дослідження показує, що алгоритм РААФА забезпечує кращу збіжність і точність в управлінні PID-параметрами контролера. Це робить його більш ефективним у контексті управління водними ресурсами та добривами в сільському господарстві.

Результати випробувань показують, що РААФА ефективно оптимізує параметри PID контролера, скорочує час тротлінгу та мінімізує надмірне регулювання. Це призводить до підвищення точності та стабільності систем управління водою та добривами.

Автори дослідження детально вивчають процеси налаштування PID-контролера, з особливим акцентом на важливості точності для досягнення оптимального балансу між продуктивністю та стабільністю системи. Аналізуючи різні сценарії, в яких може використовуватися контролер, вони демонструють, як алгоритм РААФА сприяє підвищенню продуктивності в кожному з цих випадків.

Інноваційним підходом, використаним у дослідженні, є застосування РААФА для оптимізації PID-контролера, що є відносно новою галуззю в галузі управління сільськогосподарськими процесами. Такий підхід дозволяє значно підвищити ефективність систем управління, зробивши їх більш адаптивними до мінливих умов і більш точними в розподілі ресурсів.

Порівнюючи РААФА з іншими алгоритмами, такими як генетичний алгоритм і стандартний алгоритм світляка, дослідження підкреслює переваги РААФА з точки зору конвергенції та стабільності. Це робить його більш придатним для складних і динамічних систем управління, таких як сільськогосподарські установки.

У дослідженні також розглядається застосування РААФА в різних сільськогосподарських умовах, включаючи великі та малі ферми, а також у різних кліматичних умовах. Автори досліджують, як зміни зовнішніх умов, таких як вологість, температура та світло, впливають на продуктивність системи та як РААФА може допомогти адаптуватися до цих змін.

Автори наголошують, що вдосконалення систем зрошення та управління добривами за допомогою РААФА має не лише економічні, а й екологічні переваги. Оптимізація використання ресурсів сприяє зменшенню відходів та зменшенню впливу на навколишнє середовище, що є важливим фактором у контексті сталого сільського господарства.

Дослідження завершується обговоренням майбутніх напрямків у сфері зрошення та управління добривами, підкреслюючи важливість подальшого розвитку та інтеграції алгоритмів оптимізації, таких як РААФА. Автори пропонують дослідити можливості поєднання РААФА з іншими технологіями, такими як штучний інтелект і машинне навчання, для створення ще більш потужних і гнучких систем управління.

(РААФА) для оптимізації параметрів ПД-контролера. Цей підхід унікальний тим, що поєднує в собі стратегію часткового включення та адаптивний інерційний оператор для більш ефективного пошуку оптимальних параметрів.

Сучасні підходи до поливу газонів передбачають використання інтелектуальних систем, заснованих на передових технологіях, таких як ПД-регулятори та адаптивні алгоритми. Ці технології дозволяють автоматично адаптувати режими зрошення з урахуванням таких факторів, як погодні умови, стан ґрунту та потреби рослин, тим самим мінімізуючи витрати ресурсів та підвищуючи ефективність зрошення.

Розвиток ресурсозберігаючих систем поливу газону сприяє значній економії води і добрив. Це особливо важливо в контексті глобальних екологічних викликів, таких як зміна клімату та дефіцит прісної води. Такі системи не тільки зменшують екологічний слід сільськогосподарської діяльності, але й сприяють збереженню біорізноманіття та покращенню здоров'я ґрунту.

Інтеграція ресурсоефективних систем зрошення з іншими інтелектуальними технологіями, такими як системи моніторингу погоди, аналіз ґрунту та навіть прогнозування росту рослин, відкриває нові можливості для оптимізації догляду за газоном. Це не тільки підвищує ефективність зрошення, але і призводить до більш гармонійної і стійкої взаємодії людини з природним середовищем.

Проблеми та виклики. Незважаючи на значний прогрес у розвитку ресурсозберігаючих зрошувальних систем, залишаються проблеми, пов'язані з їх впровадженням та адаптацією до різних умов. Сюди входить необхідність враховувати місцеві кліматичні умови, типи ґрунтів і специфічні вимоги до догляду за різними типами газонів. Крім того, важливим аспектом є доступність і вартість цих технологій для широкого кола користувачів.

Розвиток ресурсозберігаючих зрошувальних систем має істотне значення не тільки для сільського господарства, але і для ландшафтного дизайну. Ефективне управління водними ресурсами та добривами сприяє створенню здорових та мальовничих газонів, які покращують естетику та екологічний стан міських та сільських ландшафтів.

Дослідження в області ресурсозберігаючих систем поливу газонів відкривають нові горизонти в області ефективного використання водних і добривних ресурсів. Незважаючи на існуючі виклики, потенціал цих технологій величезний, особливо у світлі глобальних змін навколишнього середовища та необхідності переходу до більш стійких форм господарювання. Подальші дослідження та інновації в цій галузі сприятимуть не тільки покращенню догляду за газонами, а й загальному підвищенню екологічної стійкості та якості життя в суспільстві.

РОЗДІЛ 2 ЦІЛІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

2.1 Мета

У сучасному світі, де ресурси обмежені, а вимоги до ефективності сільськогосподарської діяльності зростають, раціональне використання водних ресурсів набуває особливої актуальності. Сфера сільськогосподарського управління вимагає не тільки збереження природних ресурсів, але й забезпечення високої продуктивності та економічної ефективності.

Точність контролю зрошення є критичним елементом у сфері сільськогосподарського управління, оскільки вона впливає на врожайність, ефективність використання ресурсів та збереження екосистем. Сучасні системи зрошення відрізняються високим рівнем автоматизації, дозволяючи агрономам і фермерам точно регулювати кількість та інтенсивність поливу.

Основною перевагою таких систем є їх здатність адаптуватися до змінних умов у реальному часі. Наприклад, за допомогою датчиків вологості ґрунту, системи можуть автоматично змінювати інтенсивність поливу, враховуючи поточний рівень вологи в ґрунті. Це запобігає перезволоженню або, навпаки, недостатньому зволоженню, що є ключовим для здоров'я рослин та ефективного використання водних ресурсів.

Також, сучасні системи можуть інтегруватися з метеорологічними станціями або використовувати прогнози погоди для прогнозування потреб у зрошенні. Це дозволяє враховувати такі фактори, як очікувані опади, температура повітря, вологість, що є важливим для оптимізації водних ресурсів.

Ще одним важливим аспектом є здатність систем зрошення адаптуватися до різних типів ґрунту. Різні типи ґрунту мають різну вологопоглинання та здатність утримувати вологу, тому система зрошення, яка може автоматично враховувати ці відмінності, значно підвищує ефективність зрошення.

З метою оптимізації процесу зрошення та підвищення його ефективності, я вирішив впровадити використання датчиків. Це рішення базується на декількох ключових

факторах, кожен з яких вносить значний вклад у ефективність та сталість аграрної діяльності.

Датчики вологи ґрунту відіграють важливу роль у забезпеченні точного контролю за вологістю у різних частинах поля. Враховуючи, що тип ґрунту, рельєф та інші екологічні фактори можуть впливати на розподіл вологи, ці датчики дозволяють визначити оптимальний графік поливу для кожної зони окремо. Це підвищує ефективність використання води, забезпечуючи рівномірне зволоження.

Інтегруючи датчики з системою управління зрошенням, можна досягти автоматизації процесу. Система може самостійно адаптуватися до потреб рослин та умов ґрунту, регулюючи інтенсивність та тривалість зрошення. Це не тільки запобігає надмірному або недостатньому поливу, але й зменшує потребу в ручному контролі та втручанні фермера. [15]

У сучасних умовах обмеженості водних ресурсів, ефективне управління водою є критично важливим. Використання датчиків дозволяє мінімізувати витрати води, забезпечуючи її використання лише за потреби. Це не тільки зменшує витрати для фермера, але й сприяє сталому використанню природних ресурсів.

Датчики здатні швидко реагувати на зміни умов, такі як зміна температури чи вологості повітря. Це особливо важливо для підтримання оптимальних умов росту рослин. Автоматичне коригування режиму зрошення згідно з зовнішніми умовами дозволяє уникнути стресу для рослин, сприяючи їх здоровому розвитку. [15]

Підвищення урожайності:

Завдяки точному забезпеченню водних потреб рослин за допомогою датчиків, можна значно підвищити урожайність. Рослини, що отримують оптимальний обсяг води в потрібний час, мають кращі умови для росту, що призводить до збільшення врожаю та покращення його якості.

Використання датчиків у системі зрошення відкриває нові можливості для розвитку інтелектуального, сталого та продуктивного сільського господарства. Ці технології не тільки покращують стан рослин, але й забезпечують більш ефективне та відповідальне використання природних ресурсів, сприяючи збереженню довкілля та підвищенню економічної ефективності аграрного сектору.

Точність контролю внесення добрив є критично важливою для ефективного використання добрив, запобігання забрудненню навколишнього середовища, зменшення витрат і покращення врожайності. Цей аспект має особливе значення в контексті сталого та продуктивного сільського господарства та ландшафтного дизайну.

Перш за все, точність контролю внесення добрив дозволяє фермерам та садівникам оптимізувати використання поживних речовин, необхідних для росту рослин. Застосування занадто малої кількості добрив може призвести до недостатнього забезпечення рослин необхідними елементами, в той час як надмірне використання може не тільки виявитися марнотратством, але й негативно вплинути на якість ґрунту та води. Тому важливо точно дозувати добрива, враховуючи потреби конкретних культур та стану ґрунту.

Наступним ключовим аспектом є запобігання забрудненню навколишнього середовища. Надлишок добрив, який не засвоюється рослинами, може вимиватися у водні джерела, що призводить до евтрофікації водойм та загибелі водних організмів. Точний контроль застосування добрив зменшує ризик такого вимивання, тим самим захищаючи екосистеми та здоров'я людей.

Зменшення витрат є ще однією важливою перевагою точного контролю внесення добрив. Коли фермери точно знають, скільки та коли застосовувати добрива, вони можуть уникнути марнотратства ресурсів. Це не тільки економить гроші, але й знижує екологічний відбиток сільськогосподарської діяльності, оскільки виробництво та транспортування добрив вимагають значних енергетичних ресурсів.

Покращення врожайності є, можливо, найбільш безпосередньою вигодою точного контролю добрив. Правильне застосування добрив забезпечує рослини необхідними поживними речовинами, що сприяє їх здоровому росту та розвитку. Це може значно збільшити кількість та якість урожаю, що є вирішальним для успішного сільсько господарського бізнесу.

Крім того, точність контролю внесення добрив має велике значення для ландшафтного дизайну. Правильне застосування добрив допомагає підтримувати

здоров'я і красу рослин в парках, садах та інших зелених просторах. Це сприяє створенню приємного та естетично привабливого середовища для людей, яке також відіграє важливу роль у підтримці біорізноманіття та екологічного балансу.

Останнім чинником, який слід враховувати, є вплив точного контролю поливу добрив на сталий розвиток. В умовах зростаючих екологічних викликів та обмежених природних ресурсів, ефективно та екологічно відповідальне використання добрив є ключовим для підтримки продуктивного та сталого сільського господарства.

Враховуючи всі ці фактори, очевидно, що точність контролю внесення добрив є не тільки важливою для сільського господарства та ландшафтного дизайну, але й має велике значення для захисту довкілля та підтримки сталого розвитку.

2.2 Реагування на мінливі умови з використанням ґрунтових датчиків

В умовах глобальних змін та викликів, пов'язаних з водопостачанням, значно зростає потреба в інноваційних технологіях. Одним з ключових елементів є використання ґрунтових датчиків для адаптації систем водопостачання до мінливих умов. Ця стаття розкриває потенціал ґрунтових датчиків у контексті ефективного водокористування, аналізуючи як вони можуть сприяти більш точному та адаптивному управлінню водними ресурсами.

Роль ґрунтових Датчиків у Моніторингу Кліматичних Змін:

ґрунтові датчики відіграють важливу роль у моніторингу кліматичних змін. Вони можуть вимірювати вологість ґрунту, температуру, а також інші важливі параметри, що впливають на водопостачання. Це дозволяє своєчасно реагувати на зміни, наприклад, регулювати зрошувальні системи в сільському господарстві, забезпечуючи оптимальне використання води в умовах змінних погодних умов.

Адаптація до Місцевих Умов:

ґрунтові датчики можуть бути використані для адаптації систем водопостачання до особливостей конкретних місцевостей. Через їх високу чутливість та точність, вони дозволяють точно визначати потреби в воді в різних регіонах, враховуючи місцеві

кліматичні та ґрунтові умови. Це особливо важливо в регіонах із непередбачуваними погодними умовами.

Технологічні Інновації та Автоматизація:

Використання ґрунтових датчиків є частиною ширшої картини технологічних інновацій в галузі водопостачання. Ці датчики можуть автоматично відправляти дані до центральних систем управління, де аналізуються та використовуються для оптимізації водопостачання. Автоматизація процесів на основі даних з датчиків забезпечує більш точне та ефективне використання водних ресурсів.

Залучення Спільноти та Освіта:

Залучення місцевих спільнот та освітні ініціативи є важливими для успішного впровадження та використання ґрунтових датчиків. Інформування населення про переваги та можливості, які вони пропонують, може сприяти більшій підтримці та активній участі у водозбереженні. **Заключні Думки**

Інтеграція ґрунтових датчиків у системи водопостачання відкриває нові горизонти для адаптації до мінливих умов. Це дає можливість точно моніторити та аналізувати стан водних ресурсів, а також ефективно управляти їх використанням. Такий підхід є ключовим для розв'язання проблем, пов'язаних з водопостачанням у сучасному світі, та забезпечує стале майбутнє для наступних поколінь.

Оптимізація водоспоживання:

Ґрунтові датчики відіграють ключову роль у точному визначенні потреби рослин у воді. Вони міряють вологість ґрунту на різних глибинах, надаючи фермерам точні дані для прийняття рішень про полив. Це особливо важливо в умовах зміни клімату та обмеженості водних ресурсів. Завдяки використанню таких датчиків, можна значно зменшити водоспоживання, забезпечуючи при цьому достатній полив культур.

Запобігання перезволоженню ґрунту:

Перезволоження ґрунту може призвести до зниження урожайності та розвитку корневих гнилей. Ґрунтові датчики допомагають фермерам уникнути цих проблем, надаючи інформацію про вологість на критичних глибинах. Завдяки

цьому можна точно налаштувати системи поливу, забезпечуючи оптимальні умови для розвитку кореневої системи рослин.

Економія добрив:

Грунтові датчики допомагають не тільки контролювати вологість, але й вимірювати концентрацію поживних речовин у ґрунті. Завдяки цьому можна ефективно планувати внесення добрив, зменшуючи їх витрати та забруднення навколишнього середовища. Це також сприяє підвищенню якості урожаю, оскільки рослини отримують необхідні поживні елементи у правильних пропорціях.

Підвищення врожайності:

Ефективне управління ресурсами, зокрема водою та добривами, призводить до підвищення врожайності. Рослини, які ростуть у оптимальних умовах, краще розвиваються та дають більший урожай. Це особливо важливо для фермерів, які прагнуть максимізувати свою продуктивність при обмежених ресурсах.

Екологічна стійкість:

Зниження споживання води та добрив має позитивний вплив на екологію. Це зменшує ризик забруднення водойм, знижує ерозію ґрунту та сприяє збереженню біологічного різноманіття. Таким чином, ґрунтові датчики сприяють створенню більш сталого та екологічно відповідального сільського господарства.

Автоматизація та звітність:

Інтеграція ґрунтових датчиків з системами автоматичного поливу та моніторингу земель дозволяє фермерам автоматизувати багато процесів. Це зменшує потребу в ручній праці та дозволяє ефективніше використовувати ресурси. Крім того, зібрані дані можна використовувати для аналізу та покращення сільськогосподарських практик.

Простота використання:

Сучасні ґрунтові датчики часто оснащені зручними інтерфейсами та можливістю підключення до мобільних додатків. Це робить їх доступними навіть для фермерів, які не мають спеціальних технічних навичок, та сприяє ширшому впровадженню цих технологій у сільському господарстві.

Гнучкість застосування:

Грунтові датчики ефективні у різних агрокліматичних умовах та можуть бути адаптовані до різних типів культур та ґрунтів. Це робить їх універсальним рішенням для підвищення ефективності використання ресурсів у сільському господарстві.

Інтеграція ґрунтових датчиків у сільськогосподарську практику відіграє ключову роль у підвищенні ресурсоефективності. Це не тільки сприяє економії води та добрив, але й підвищує врожайність, сприяє сталому розвитку та зменшує вплив на навколишнє середовище. Використання цих інноваційних технологій є важливим кроком на шляху до створення більш продуктивного та екологічно сталого сільського господарства.

2.3 Керування асинхронним двигуном для регулювання тиску у системі поливу

У сфері ресурсозберігаючих систем поливу газону актуальним є питання оптимізації роботи насосних агрегатів, особливо у контексті керування асинхронними двигунами. Це стає особливо важливим при необхідності забезпечення варіабельного тиску води для різних зон поливу, кожна з яких має свої унікальні гідравлічні характеристики і вимоги до поливу. Індивідуальний підхід до кожної зони дозволяє ефективно використовувати водні ресурси, уникаючи надмірного поливу або недостатнього зволоження.

Гідравлічні Відмінності Різних Зон Поливу:

Особливістю системи поливу є наявність декількох зон, кожна з яких може мати різні типи ґрунтів, відмінну рослинність, а також використовувати різні типи форсунок із відмінними гідравлічними характеристиками. Наприклад, деякі зони можуть вимагати дрібнодисперсного поливу з низьким тиском, тоді як інші - інтенсивного поливу з вищим тиском. Крім того, гідравлічні втрати у системі варіюються в залежності від довжини та діаметра трубопроводів, а також висотних перепадів на місцевості.

Асинхронні Двигуни у Ролі Приводу Насосів:

Асинхронні двигуни, які використовуються для приводу насосних станцій, можуть бути ефективно керовані для забезпечення необхідного тиску у кожній зоні поливу. Одним із способів керування є використання систем частотного перетворення, які дозволяють змінювати частоту подачі струму на двигун, регулюючи таким чином його швидкість обертання. Це, в свою чергу, дозволяє точно налаштувати тиск води в системі.

Адаптивність до Змінних Умов:

Сучасні системи поливу потребують високої адаптивності до змінних умов. Враховуючи погодні умови, час доби та інші фактори, такі як вологість ґрунту, система має змогу автоматично коригувати режим поливу. Це включає в себе не тільки інтенсивність поливу, але й тривалість та частоту поливу кожної зони..

Енергетична Ефективність та Економія Води [7]:

Одним із ключових аспектів у розробці ресурсозберігаючих систем поливу є питання енергетичної ефективності та економії води. Застосування принципів частотного регулювання в керуванні асинхронними двигунами сприяє зниженню енергоспоживання, зокрема, за рахунок зменшення електричного струму при старті двигуна. Це також забезпечує більш плавний режим роботи насосів, знижуючи механічне зношування обладнання. Крім того, адаптивний полив забезпечує ефективне використання водних ресурсів.

Керування Асинхронним Двигуном у Системі Регулювання Тиску для Ресурсозберігаючого Поливу

Оптимізація Роботи Насосів за Допомогою Асинхронних Двигунів [10]:

Розробка ресурсозберігаючих систем поливу газону сьогодні зосереджена на впровадженні передових методів керування асинхронними двигунами, що приводять насосні установки. Ключова задача полягає у забезпеченні потрібного тиску води для кожної зони поливу з урахуванням їх унікальних гідравлічних характеристик. Це включає адаптацію до різних типів форсунок, що використовуються в різних ділянках, а також до специфічних гідравлічних втрат в системі.

Диференційований Підхід до Гідравлічних Умов Кожної Зони [9]:

Унікальність кожної зони поливу газону вимагає індивідуального підходу до встановлення тиску води. Зони з різними гідравлічними характеристиками (наприклад, різними діаметрами трубопроводів, відмінностями у використанні форсунок) потребують точного регулювання тиску для забезпечення ефективного поливу. Втрати тиску у системі варіюються в залежності від довжини та конфігурації трубопроводу, а також від типу форсунок.

Використання Частотного Перетворення для Контролю Асинхронних Двигунів:

Центральним елементом системи є використання асинхронних двигунів з можливістю частотного регулювання. Це дозволяє точно змінювати швидкість обертання насосних станцій, а тим самим регулювати тиск води для кожної окремої зони поливу. Керування двигуном через частотний перетворювач дає можливість оптимізувати роботу насосу відповідно до поточних потреб поливу, а також забезпечує енергоефективність системи.

Ефективність та Економія Ресурсів:

Основною перевагою впровадження системи керування асинхронними двигунами є значне підвищення ефективності поливу та економія водних ресурсів. Адаптація тиску води до специфічних умов кожної зони дозволяє уникнути як недостатнього, так і надмірного поливу. Енергоефективність досягається за рахунок оптимального використання електричної енергії, необхідної для приводу насосу, що знижує загальні оперативні витрати системи.

Технічні Аспекти Керування Тиском [8]:

Ключовим аспектом управління системою є здатність до моніторингу та регулювання тиску у відповідь на зміни в гідравлічних умовах. Це вимагає інтеграції датчиків тиску та потоку води у систему, які надсилають дані на контролер. На основі цих даних система автоматично коригує параметри роботи двигуна, забезпечуючи необхідний тиск у різних частинах системи поливу.

Висновок:

Інноваційне керування асинхронними двигунами в системах поливу газону відіграє вирішальну роль у підвищенні ефективності та ресурсозбереження. Це дозволяє не тільки оптимізувати використання води та електроенергії, але й забезпечує гнучкість і адаптивність системи до різноманітних умов поливу, сприяючи сталому використанню природних ресурсів.

2.4 Висновки розділу

Завершуючи аналіз переваг використання ґрунтових датчиків у системах ресурсозберігаючого поливу для газонів та сільського господарства, можна відзначити, що використання сучасних технологій має важливе значення для ефективного використання водних ресурсів та підвищення продуктивності урожаю. Ґрунтові датчики, як ключовий елемент цих систем, відіграють критичну роль у забезпеченні точного і своєчасного поливу, що мінімізує водне марнотратство та забезпечує оптимальні умови для росту рослин.

Перш за все, використання ґрунтових датчиків дозволяє досягти значної економії води. Ці пристрої надають точну інформацію про вологість ґрунту, що дозволяє автоматизувати полив, забезпечуючи достатнє зволоження ґрунту без надмірного поливу. Це особливо важливо в умовах глобального потепління та зменшення доступних водних ресурсів.

Друге, застосування датчиків в ґрунті сприяє підвищенню урожайності та якості продукції. Постійне моніторинг вологість ґрунту дозволяє оптимізувати умови для росту рослин, запобігаючи стресу від недостатнього або надмірного зволоження. Це, у свою чергу, веде до кращого розвитку кореневої системи та загального здоров'я рослин.

Третє, інтеграція ґрунтових датчиків із іншими системами автоматизації, такими як крапельний полив, може значно підвищити ефективність поливу, зменшуючи втрати води через випаровування та стік. Це не тільки зберігає водні ресурси, але й знижує енергетичні витрати, пов'язані з поливом.

Четверте, використання датчиків покращує управління поливом на великих площах, автоматизуючи процеси та забезпечуючи рівномірне розподілення води.

Це особливо важливо для комерційного сільського господарства та утримання великих газонів.

Нарешті, інтеграція ґрунтових датчиків із системами управління поливом вносить важливий внесок у стале сільське господарство та збереження довкілля. Через точніше управління водними ресурсами, можна значно знизити вплив аграрної діяльності на екосистеми, зменшуючи ризик ерозії ґрунтів, забруднення водою та втрати біорізноманіття.

Таким чином, впровадження ґрунтових датчиків у системи поливу газонів та сільського господарства пропонує значні переваги з точки зору ресурсозбереження, ефективності вирощування та екологічної стійкості. Вони не тільки сприяють підвищенню продуктивності та якості урожаю, але й відіграють ключову роль у збереженні наших природних ресурсів для майбутніх поколінь.

РОЗДІЛ 3 ТЕОРИТИЧНА ЧАСТИНА

3.1 Створення функціональної схеми автоматизації

ФСА мого об'єкта керування виглядає наступним чином:

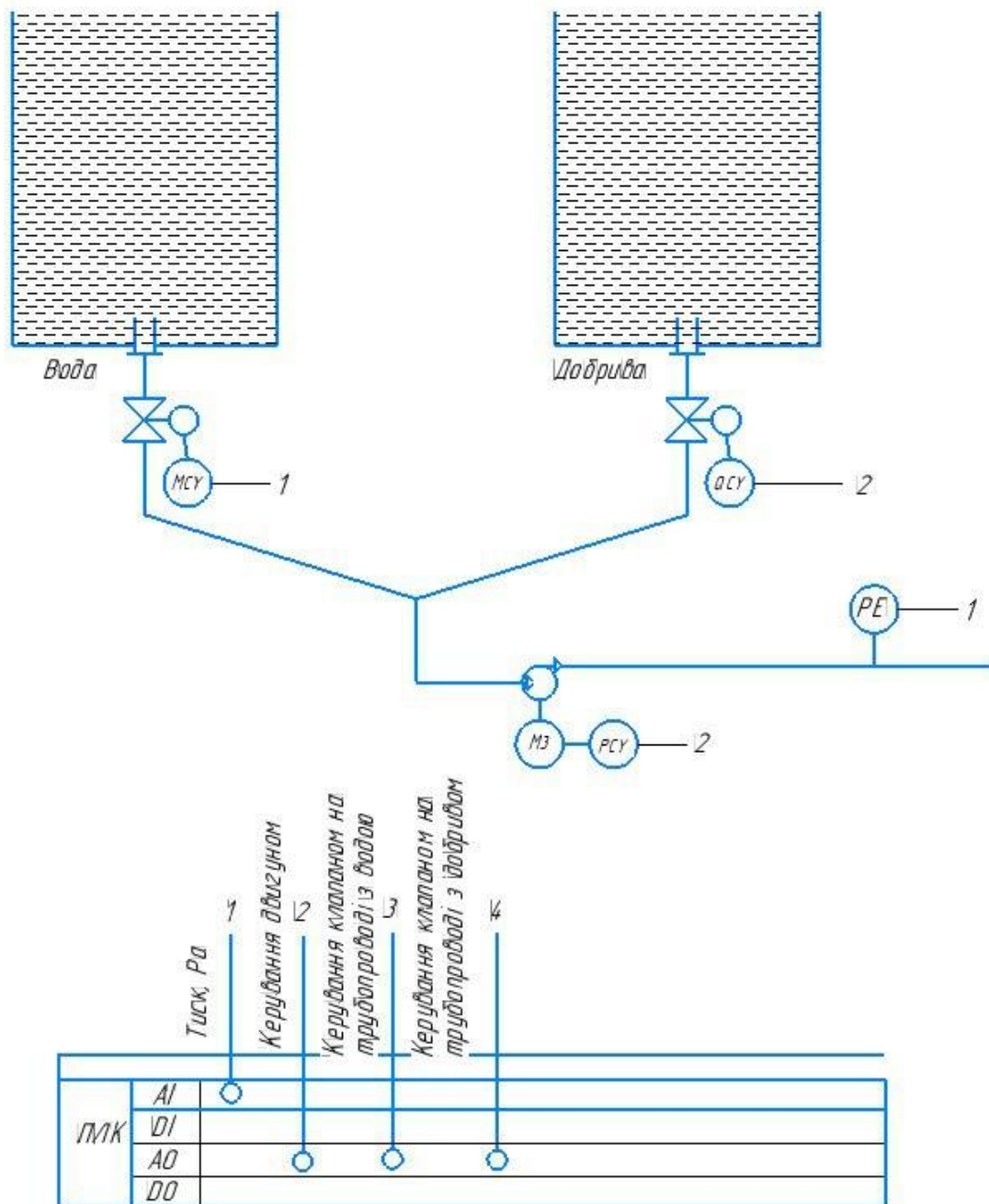


Рисунок 1 – Функціональна схема автоматизованої системи зрошення газону

Технічні данні що до монтажу давачів зовнішніх умов та зовнішніх інтерфейсів.

$V_{wind}(t)$ - швидкість вітру, $S_{solar}(t)$ - сонячне випромінювання, $H_{air}(t)$ - вологість повітря, $T_{temp}(t)$ - температура повітря

Повинні бути встановлені на висоті 2 метри над землею в місці де не падає тінь від інших об'єктів протягом дня, та габаритні будівлі або ліси знаходяться далі як на мінімум 30-50 метрів щоб уникнути помилок при зйомі показників

$H(t)$ – ґрунтовий давач вологості.

Повинен бути встановлений на кожну зону поливу в кількості 1 штука на глибину 20 сантиметрів, але далі я мінімум мати 1 метр газона навколо щоб уникнути помилок при зйомі показників.

Підсистема перетворення вихідного цифрового сигналу давачів

Представляє собою логіку перетворення бінарного значення 2^{10} з виходу ґрунтового давача вологості на значення %

3.2 Розробка алгоритма керування

Данна система прогнозованого керування контролює зрошення газонів та удобрення використовує PID регулятор для дотримання цільової вологості ґрунту, та має зворотній зв'язок з ґрунтового давача вологості який знімає покази на глибині 20 сантиметрів, він має затримку на оновлення показів але при інфільтраційній швидкості середніх та важких суглинків в 0.21 см/хв[6] та середньому коефіцієнту пористості 0.54 затримка буде менше хвилини. При вибраному типу для ротаторних форсунок для створення систем, полив на м²/хв буде 106 мл, при нормі в 15-20 літрів за добу[5], тому така похибка є допустимою. Згідно оцінок в математичній моделі Пенмана-Монтейна добове випаровування м³ може бути від приблизно 0 до 5 мм на м³, мм/м³ відповідно до дослідження буду далі позначувати як л/м².

Цільова вологість для газонів на глибині 20 см для більшості видів є 60%[5]. Також газони не можна перезволожувати при високій активності сонця, полив здійснюють зранку та ввечері, допустима вологість є 70% і декоративні газони швидко псується від недополиву, а кормові дають менше вихідної маси, тому мій алгоритм включає передбачуване випаровування та додає його до поливу, при

ручному керуванні не враховується різне випаровування в різний день, а вибирається значення по більше для захисту газону.

Маємо наступний алгоритм



Рисунок 2 – Алгоритм роботи системи прогнозованого керування поливом газону

3.3 Розробка математичної моделі контролю вологості в ґрунті

За основу було взято рівняння водного балансу ґрунту.

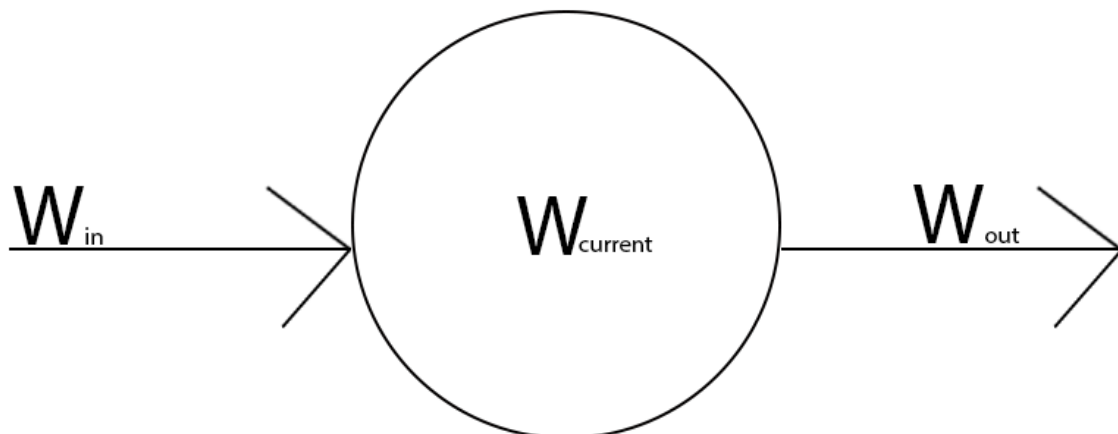


Рисунок 3 – Водний баланс ґрунту

Можна записати як $W_{current} = W_{in} - W_{out}$, де $W_{current}$ – поточна вологість ґрунту, W_{in} – усе надходження води, W_{out} – весь вивід води.

За умови рівномірного розподілення води форсунками, була вибрана одиниця об'єму як $1 \text{ м}^2 * \text{h}20 \text{ см}$, та одиниця виміру води як 1 м^3 .

Знехтувавши випаровуванням, бо воно описано модифікованою математичною моделлю Пенмана-Монтейна[1], та інтегровано в систему управління.

Взявши ввід води, як полив, та вивід як сукупний дренаж ґрунті, та продеференціювавши в часі, отримав рівняння наступного вигляду:

$$KQdt = (M_t - M_{dr})dt$$

Де K – коефіцієнт стану системи.

Q – витрата води в $1 \text{ м}^3/\text{сек}$.

M_{dr} – сукупний дренаж в часі $0,0001333 \text{ м}^3/\text{сек}$

M_t – поточна вологість

Параметри Системи:

$K=1$ - стала коефіцієнта.

$Q=0.04675 \text{ м}^3/\text{сек}$ - швидкість виводу води.

M_t - поточна кількість води (вхід системи).

$M_{dr}=0.008 \text{ м}^3/\text{годину}$ - швидкість дренажу води.

Затримка давача вологості - 1 хвилина (60 секунд).

Провівши перетворення Лапласа отримаємо перехідну вологості

$$G(s) = \frac{Y(s)}{U(s)} + e^{-60s}$$

$$G(s) = \frac{0.04675}{s + 0.008} + e^{-60s}$$

3.4 Передавальна насоса

Передавальна функція перетворювача частоти

$$W(s)_f = \frac{K_f}{T_f s + 1}$$

Підставивши данні отримаємо:

$$W(s)_f = \frac{5}{0.006s + 1}$$

де R_f - коефіцієнт перетворення, T_f - стала часу.[8][9]

Передавальна функція магнітної взаємодії асинхронного двигуна.

$$W(s)_p = \frac{K_p}{T_{pr} s + 1} e^{-p}$$

Підставивши паспортні данні отримаємо:

$$W(s)_p = \frac{1.1}{0.054s + 1} e^{-0.03}$$

Де K_p – коефіцієнт перетворення механічного впливу, T_{pr} – стала часу, p - коефіцієнт гідравлічних втрат. [8][9]

Передавальна функція механічної частини двигуна.

$$W(s)_p = \frac{1}{\beta * T_d * s}$$

Підставивши паспортні данні отримаємо:

$$W(s)_p = \frac{1}{0.14s}$$

Передавальна функція керуючого впливу тоді, має наступний вигляд:

$$W(s)_{pf} = \frac{1.1}{(0.054s + 1)0.14s}$$

, можна виразити в наступному вигляді[8][9]

$$W(s)_{pf} = \frac{1 * K_p}{(T_{pr} s + 1) * (\beta * T_d * s)}$$

Підставляємо значення

$$W(s)_{pf} = \frac{1.1}{(0.054s + 1)0.14s}$$

3.5 Підсистема розрахунку добового випаровування

Датчики зовнішніх умов:

V wind(t) - швидкість вітру.

S solar(t) - сонячне випромінювання.

H air(t) - вологість повітря.

T temp(t) - температура повітря

H(t) – ґрунтовий давач вологості.

I(t) – (19мм/хв для середніх і важких суглинків[5])

E evap(t) -Модель Ріші-Пенмана-Монтейна – для розрахунку добового випаровування води, з метеорологічних давачів.

Має наступні сталі

psychrometricConstant = 0.067; % Психрометрична константа [kPa/°C]

latentHeatVaporization = 2.45; % Латентна теплота випаровування [MJ/kg]

densityAir = 1.2; % Густина повітря [kg/m³]

specificHeat = 1.013 * 10⁻³; % Теплоємність повітря [MJ/kg°C]

Розраховується математичній моделі [1]

Вихідне значення E_p – в мм/м². Перераховується по формулі

Для важких та середніх суглинків в середньому приймають приблизно 30% вологості ґрунту. Вологість ґрунту (%) = (Кількість опадів (мм) / кумулятивну інфільтрацію ґрунту) * 100

РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

4.1 Створення симуляції підсистеми розрахунку добового випаровування

Вибір середовища тестування:

Створення моделі в середовищі MatLab Simulink виступає як важливий аспект досліджень і розробки. Спеціально розроблене для аналізу та моделювання систем, Simulink надає можливість легко створювати графічні представлення фізичних компонентів і математичних виразів, а потім інтегрувати їх в єдину модель системи. Використовуючи цей інструмент, дослідники можуть налаштовувати параметри, визначати початкові умови та впроваджувати вхідні сигнали для проведення детальної симуляції, сприяючи подальшому аналізу та розумінню роботи системи. MatLab Simulink відкриває широкі можливості для наукових досліджень та інженерних застосувань, сприяючи розвитку та оптимізації різних систем.

Симуляція підсистеми розрахунку добового випаровування

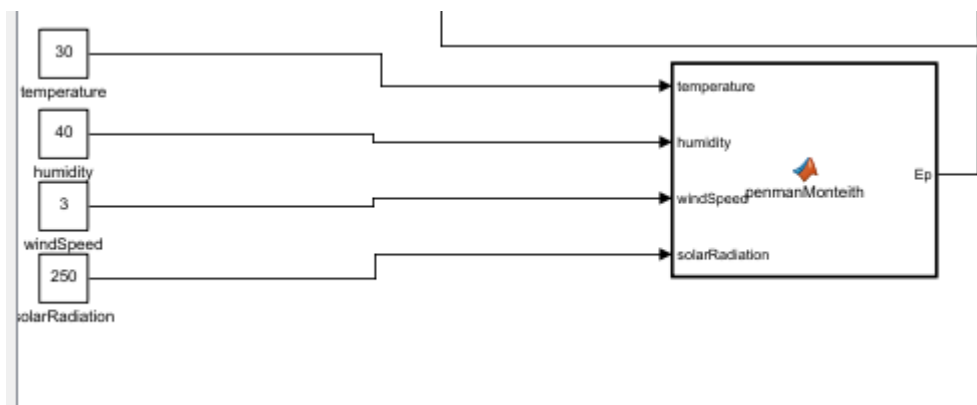


Рисунок 4 - Підсистеми розрахунку добового випаровування

Данна система використовує математичну модель Пенмана-Монтейна, Для симуляції константи були вибрані відповідно до умов Сумської області, та тупу ґрунту як середній суглинок, що є оптимально для Декоративних та кормових газонів.

Розробка програмного забезпечення для підсистеми розрахунку добового випаровування

```

function Ep = penmanMonteith(temperature, humidity, windSpeed, solarRadiation)
    % Функція Пенмана-Монтейта для розрахунку потенційного випаровування

    % Константи
    psychrometricConstant = 0.067; % Психрометрична константа [kPa/°C]
    latentHeatVaporization = 2.45; % Латентна теплота випаровування [MJ/kg]
    densityAir = 1.2; % Густина повітря [kg/m^3]
    specificHeat = 1.013 * 10^-3; % Теплоємність повітря [MJ/kg°C]

    % Перерахунок сонячної радіації у MJ/m^2*day
    Rn = solarRadiation * 0.0864;

    % Визначення сатураційного та фактичного дефіциту водяної пари
    saturationVapourPressure = 0.6108 * exp((17.27 * temperature) / (temperature + 237.3));
    actualVapourPressure = humidity / 100 * saturationVapourPressure;
    vapourPressureDeficit = saturationVapourPressure - actualVapourPressure;

    % Обчислення випаровування
    slopeVapourPressureCurve = 4098 * (0.6108 * exp((17.27 * temperature) / (temperature + 237.3))) / ((temperature + 237.3)^2);
    Ep = (slopeVapourPressureCurve * Rn + densityAir * specificHeat * vapourPressureDeficit * windSpeed) / ...
        (slopeVapourPressureCurve + psychrometricConstant * (1 + 0.34 * windSpeed)) / latentHeatVaporization;

end

```

Зображення 5 – приклад коду для підсистеми розрахунку добового випаровування

Блоки констант симулюють вхідні данні з гідрологічних давачів. Вихідне значення E_p в мм/м². Приблизні значення для отримання різних значень E_p представлена в Таблиці 1– Розрахункові данні давачів для симуляції.

Температура (°C)	Відносна Вологість (%)	Швидкість Вітру (м/с)	Сонячна Радіація (W/m ²)	Очікуване Випаровування (мм/день)
25	50	2	200	~1.0 - 2.0
30	40	3	250	~2.0 - 3.0
20	60	1	150	~0.5 - 1.5
35	30	4	300	~3.0 - 4.5
15	70	2	100	~0.0 - 1.0
40	20	5	350	~4.0 - 5.0

Таблиця 1

4.2 Створення симуляції системи керування поливом

Створення підсистеми перетворення вихідного цифрового сигналу давачів.

Створення даної підсистеми несе на собі мету перетворення бінарних значень виходів давачів, за для легшої обробки даних мовами високого програмування і людиною, та має наступний вигляд.

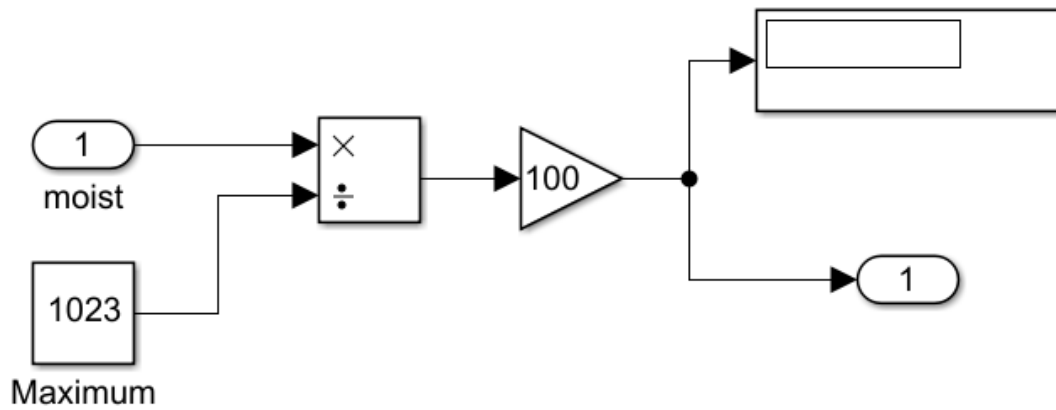


Рисунок 6 - Підсистема перетворення вихідного цифрового сигналу датчика вологості на %

Симуляція системи керування поливом.

Відповідно до розробленої математичної та алгоритмів керування було створено систему керування поливом з PID регулятором, та від'ємним зворотнім зв'язком.

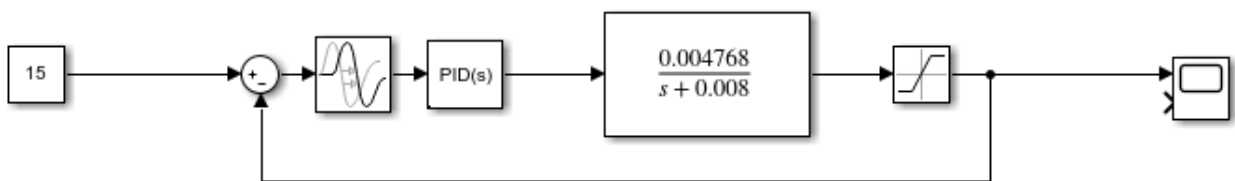


Рисунок 7– Система керування поливом газону

Було отримано графік який показує регулювання вологістю в часі за допомогою PID регулятора, та з врахування передбачуваного випаровування.

Оптимальні коефіцієнти PID регулятора було підібрано дослідним шляхом, при дослідженні реакції системи на керуючий вплив.

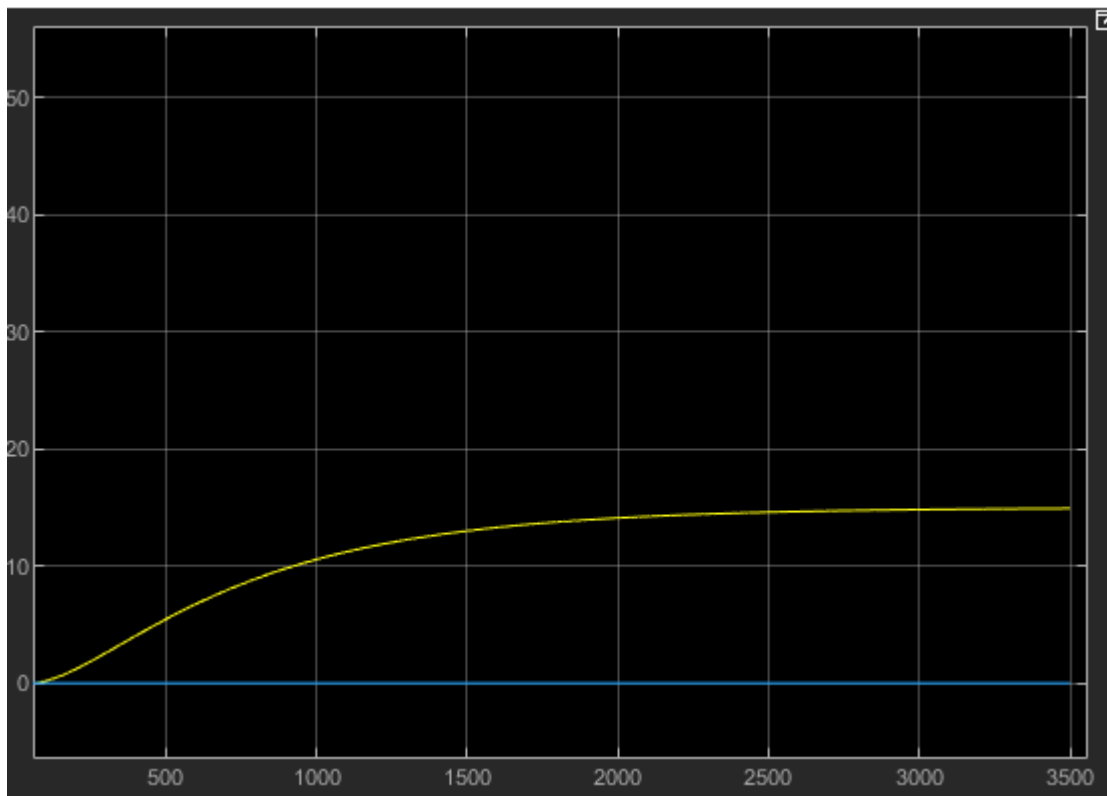


Рисунок 8 - Графік зміни вологості в часі

4.3 Симуляція системи поливу з інтегрованою системою прогнозування випаровування

Симуляція системи поливу з інтегрованою системою прогнозування випаровування є ключовим елементом в розробці ефективних та екологічно сталих методів зрошення. Використання симуляційної платформи, як-от Simulink, дозволяє точно моделювати динаміку водоспоживання та випаровування в різних умовах. Це включає аналіз різних сценаріїв поливу з урахуванням погодних умов, типу ґрунту, та інших зовнішніх факторів. Інтеграція системи прогнозування випаровування дозволяє оптимізувати використання водних ресурсів, зменшуючи водоспоживання без шкоди для рослин.

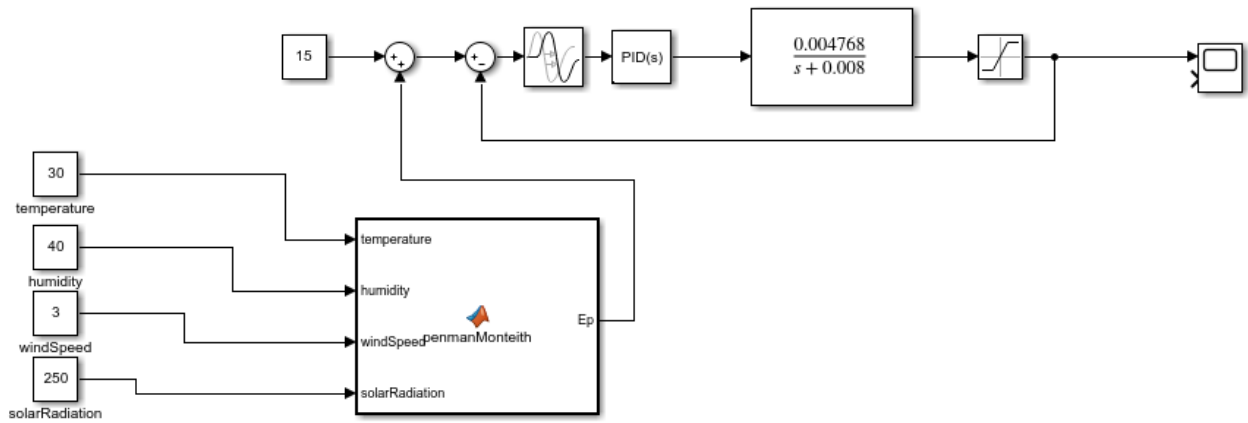


Рисунок 9 – Система прогнозованого керування поливом

Отримані результати:

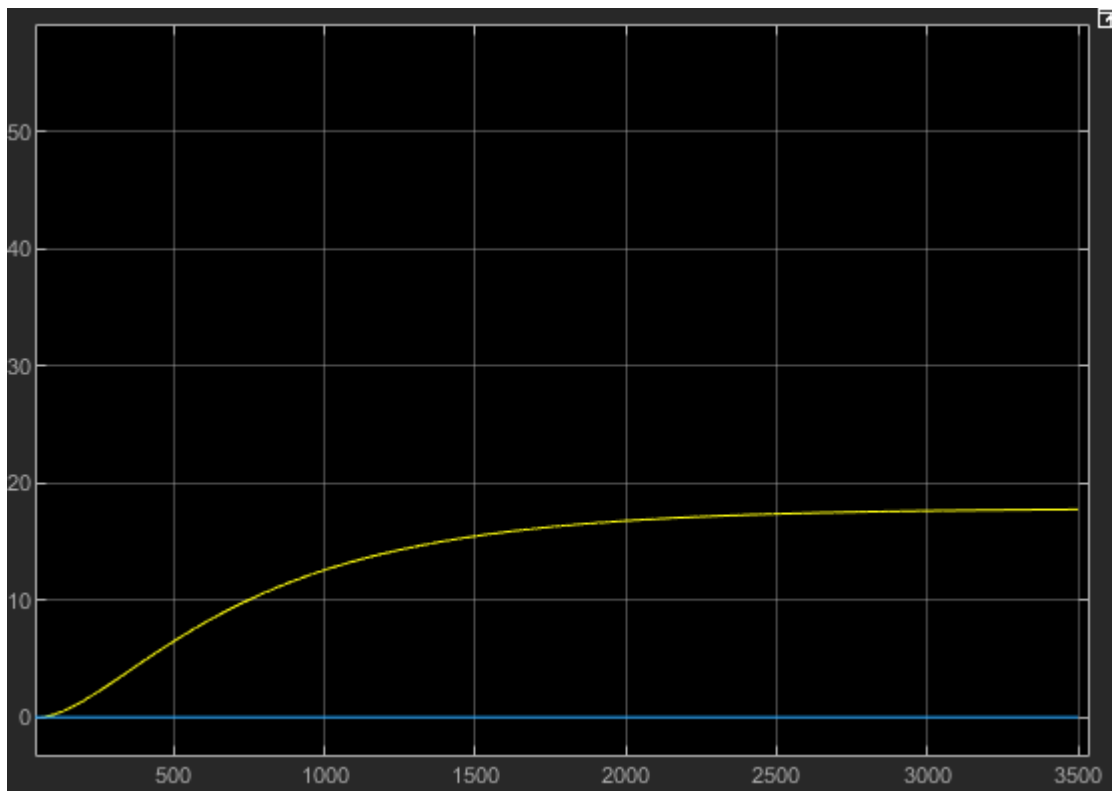


Рисунок 10 – Графік зміни вологості в системі прогнозованого керування

4.4 Економічна та екологічна оцінка впровадження системи керування поливом

Тут проведена економічна та екологічна доцільність впровадження прогнозування випаровування в систему керування поливом газону. Порівняно систему поливу без, та з прогнозування випаровування. Були взяті данні фактичного випаровування[1], та норми[5] для вирощування газону. Оцінювання

доцільності було здійснено, за розрахунками технологічних особливостей вирощування газону(норм поливу, та мінімального допустимого рівня вологості в ґрунті).

Порівняння витрати води на день

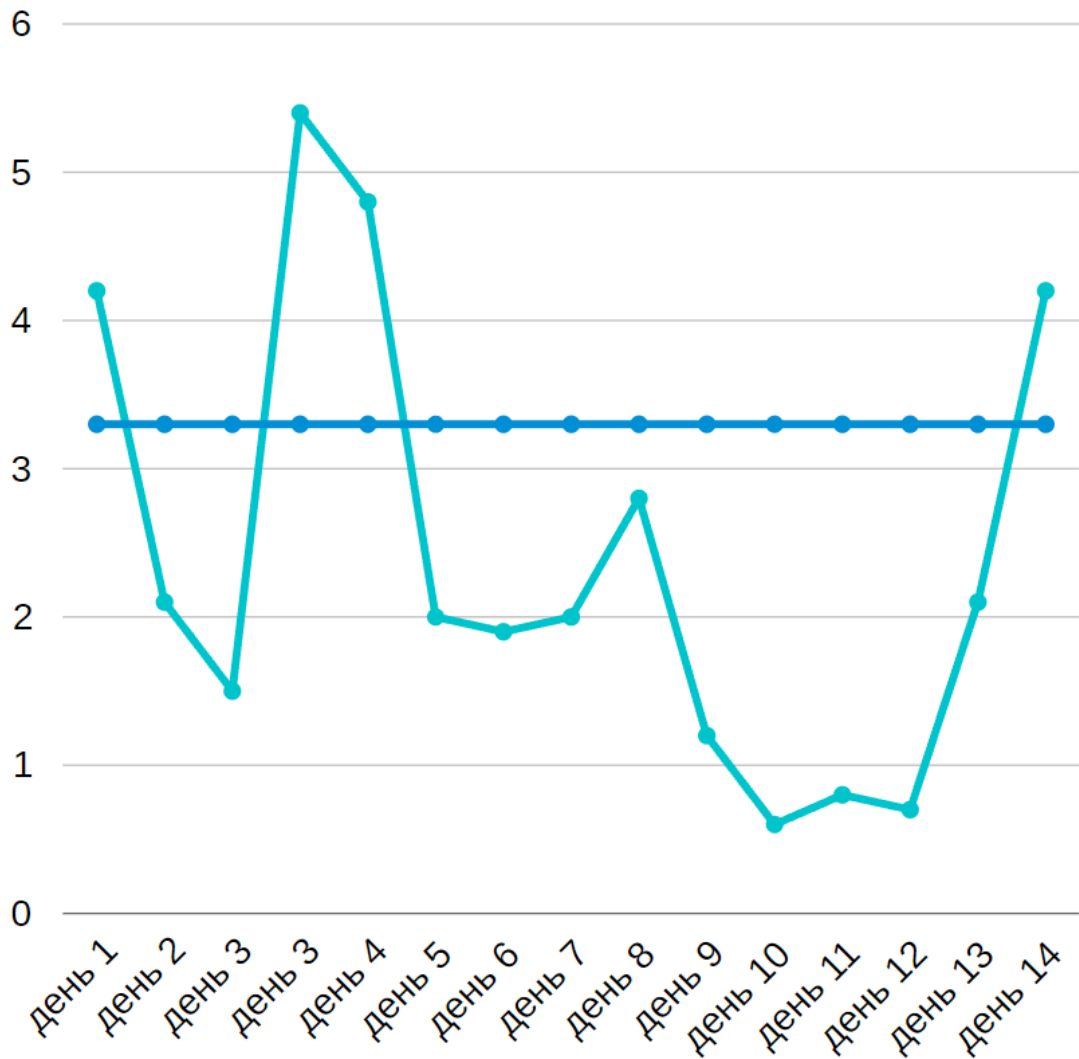


Рисунок 11 – Графік порівняння розрахункових витрат на м² газону води в день, протягом 14 днів.

Світло зеленим на графіку показано фактичне випаровування в мм/м² в день(літрах), синім розрахункове додавання вологості, згідно технологічними нормами.

В дослідженні[1] оцінено точність математичної моделі прогнозування випаровування в 91%, тобто при підрахунку сталої компенсації поливу – 46.2 л/14

днів, та прогнозованого випаровування $36.3 \pm 8\%$ л/14 днів, отримаємо економію в $0.7 \pm 8\%$ л/день з м2 газону.

Висновки

Хоча ми можемо бачити економічну доцільність, оцінюючи, результати відповідних досліджень, зробити висновок про економічну доцільність не можна, через велику кількість факторів, які не були враховані. Такі як конкретний склад ґрунту, та кліматичні особливості ділянки на якій може бути впроваджено дану систему.

Екологічна доцільність доведена, через те що ця система є ресурсозбережною, та економніше витрачає прісну воду.

Данна система прогнозованого керування поливом, може бути об'єктом дослідження для створення системи прогнозованого поливу в сільському господарстві.

4.5 Створення симуляції системи керування тиском водяного насоса

Дослідження реакції системи керування тиском насосу при постійному керуючому впливі.

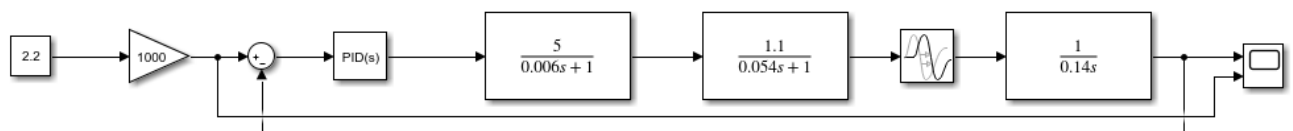


Рисунок 12 – Simulink система керування насосом при постійному сигналі.

Було досліджено реакцію системи на керуючий вплив, та налаштовано PID регулятор.

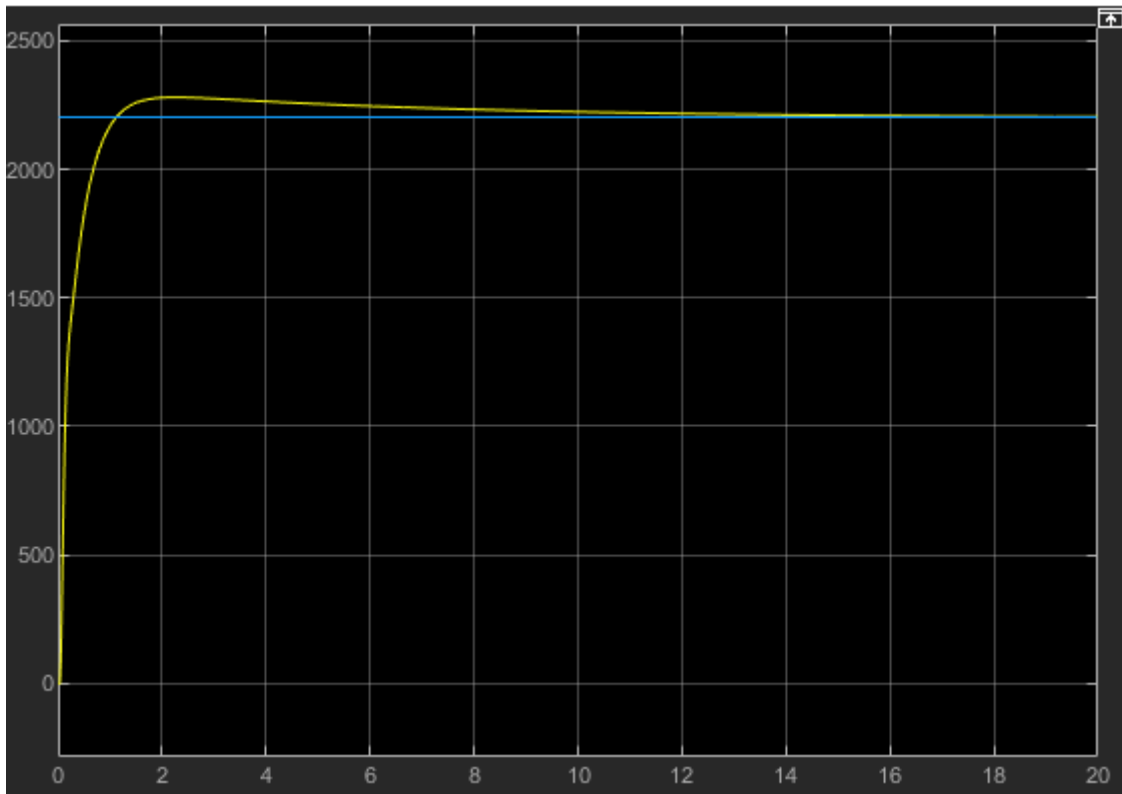


Рисунок 13 – Симуляції реакції системи керування насоса при постійному керуючому сигналі сигналі.

Данна система має незначне перерегулювання, але воно швидко згасає.

Проведена оцінка якості керування при змінному вхідному сигналі.

Створена система для тестування в середовищі Matlab Simulink.

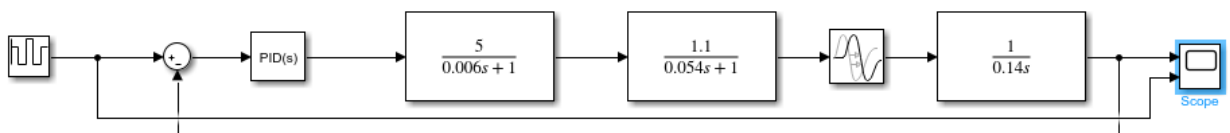


Рисунок 14 – Simulink система керування насосом при змінному вхідному сигналі.

Проведено дослідження залежності параметрів PID регулятора на якість регулювання. Налаштований під регулятор.

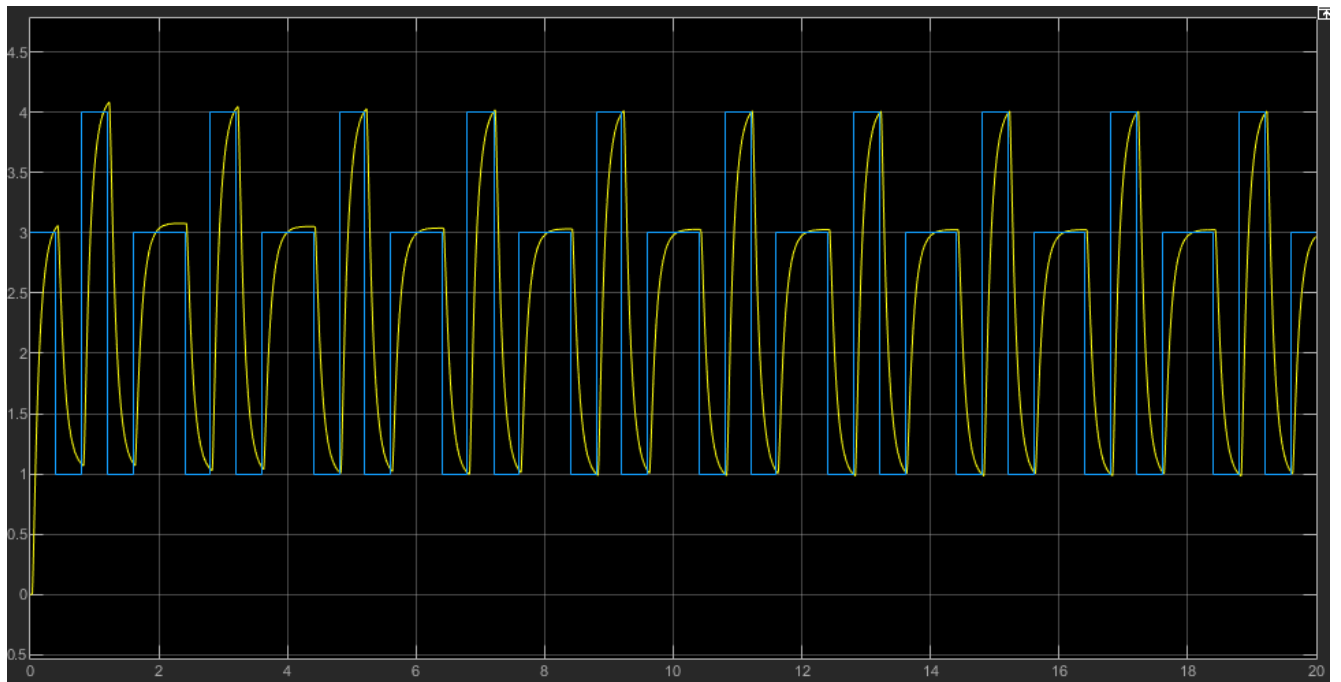


Рисунок 15 – Симуляції реакції системи керування насоса при змінному вхідному сигналі.

Регулятор показує достатню якість керування. Даний регулятор задовольняє потреби моєї системи поливу.

4.6 Розробка SCADA



Рисунок 16 – SCADA система прогнозованого керування поливом
На даній SCADA системі зображено наступні контури керування:

Контур керування тиском насоса, необхідний для можливість масштабування системи.

Контур керування вологістю ґрунту, інтегрований з підсистемою прогнозування добового випарування.

Клапани контролю входу рідини в систему, води або водно добривної суміші.

Висновки:

В ході дослідження було проведено комплексний аналіз та розробка системи автоматизованого поливу та зрошення газону, що розкриває нові можливості для ефективного використання водних ресурсів у сфері сільського господарства та сільського господарства.

На основі математичних моделей, розглянутих у роботі, та інноваційних рішень системи керування, було розроблено ефективні алгоритми, що спрямовані на ресурсозбереження та підвищення водної ефективності. Дослідження враховувало нерівномірність виводу води через вплив погодних факторів та особливості ґрунтів, що дозволило покращити якість поливу та оптимізувати витрати води.

Симуляції, проведені в середовищі Matlab Simulink, підтвердили ефективність запропонованих алгоритмів і дали змогу оцінити динаміку роботи системи в різних умовах.

Економічна та екологічна оцінка системи прогнозованого поливу підтвердили її позитивний вплив на ресурсозбереження та сприяння більш ефективному використанню водних ресурсів.

Результати цього дослідження можуть мати значущий вплив на розвиток технологій поливу та агрономії, сприяючи ресурсозбереженню та створенню більш стійких та ефективних систем зрошення. Ця робота може бути важливим внеском у сферу інженерії систем керування та сільського господарства, а також відігравати роль у вирішенні актуальних екологічних проблем.

Список використаних джерел

1. Measured and Simulated Surface Soil Drying. Abdu A. Durar,* Jean L. Steiner, Steven R. Evctt, and Edward L. Skidmore.
<https://www.ars.usda.gov/ARUserFiles/30200525/93-157-J%20Measured%20and%20simulated%20surface%20soil%20drying.pdf>
2. Harini Mi K P Shobha. Design of PID Controller for Irrigation System. Zenodo, Лютий 2022, doi:10.5281/zenodo.6058399.
3. Winkler, D. A. (2019). Modeling and Optimization for Irrigation Control Using Wireless Sensor Networks. *UC Merced*. ProQuest ID: Winkler_ucmerced_1660D_10461. Merritt ID: ark:/13030/m56m86ng. Retrieved from <https://escholarship.org/uc/item/5135t5k4>
4. Huang, M., Tian, M., Liu, Y. *et al.* Parameter optimization of PID controller for water and fertilizer control system based on partial attraction adaptive firefly algorithm. *Sci Rep* **12**, 12182 (2022). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16425-7>
5. І.М. Дідур, В.М. Прокопчук, О.І. Циганська, В.І. Циганський ГАЗОНИ технологічні особливості створення та експлуатації. Навчальний посібник. Вінниця – 2019 .УДК 712.42 (075.8)
6. Minnesota Stormwater Manual. Soils with low infiltration capacity. url https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Soils_with_low_infiltration_capacity
7. Попова І.О., Чаусов С.В.. Матеріали конференції. TECHNICAL SCIENCES MODERN DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF SCIENCE AND TECHNOLOGY. сторінка 262. ВПЛИВ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА ЯКІСТЬ НАПРУГИ ЖИВЛЕННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ.
http://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/16720/1/IV_%D1%81onference_2023_Liverpool_Great%20Britain-.pdf
8. Rakib, Md. Abdullah Al & Rahman, Md & Hossain, Md & Rahman, Md Ashiqur & Samad, Mousume & Abbas, Fysol. (2022). Induction Motor Based Speed and Direction Controller. *European Journal of Engineering and Technology Research*. 7. 82-86. 10.24018/ejeng.2022.7.6.2868.

9. Duhancik, M & Gaspar, S & Coranič, Tomáš. (2021). Sensorless Control of Asynchronous Motor at Low speed. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 1199. 012090. 10.1088/1757-899X/1199/1/012090.
10. Klyuyev, O. & Sadovoi, O. & Sokhina, Y.. (2022). ROTOR SPEED OBSERVER OF ASYNCHRONOUS GATE CASCADE. Collection of scholarly papers of Dniprovsk State Technical University (Technical Sciences). 1. 89-99. 10.31319/2519-2884.40.2022.11.
11. Vishwadeep, Gowlikar & Madhusudhan, Bangaru. (2023). Solar Based Automatic Irrigation System. INTERANTIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH IN ENGINEERING AND MANAGEMENT. 07. 10.55041/IJSREM17990.
12. Zhao, Jinpeng & Yu, Yingduo & Li, Zhao. (2023). Design and verification of wireless automatic drip irrigation system in corn field. International Journal of Information Technology. 15. 10.1007/s41870-023-01442-0.
13. Iskandar, Muhammad & Hasanah, Huswatun & Prasetyowati, Rini & Anwar, Muhammad. (2023). Efficiency of Solar Power Generation System Application on Agricultural Automatic Drip Irrigation in Indonesia. Jurnal Ilmiah Membangun Desa dan Pertanian. 8. 146-154. 10.37149/jimdp.v8i4.589.
14. Singh, Satnam & Soni, Dr & Malhi, Simarjeet & Tiwari, Vipin & Goyal, Ankur. (2022). Automatic irrigation control system using Internet of Things(IoT). Journal of Discrete Mathematical Sciences and Cryptography. 25. 1-11. 10.1080/09720529.2022.2068597.
15. Shemul, Kowser & Saha, Prianka & Bala, Diponkor. (2022). Design and Implementation of Low Cost Automatic Irrigation System using Microcontroller. Journal of Applied Information Science. 10. 01-05.

Додаток А
(інформативний)

Використані технічні засоби автоматизації, та їхні характеристики

1. Насос - довільний візьемо потужністю 1,1 Кв

Потужність - 1,1 кВт.

Максимальний напір - 50м

Максимальна продуктивність – 60л/хв (3,6 куб/година)

2. Форсунки поливні Hunter MP Rotator 1000-360

Регулювання кута полива Не регулюємий - 360°

Мах. діаметр полива 9 м

Min. діаметр полива 5 м

Min. тиск 1.7 Bar

Мах. тиск 3.8 Bar

Рекомендований робочий тиск 2.8 Bar

Норма полива 12 мм/год

Продуктивність 2,81 л/хв.

також для кутків P Rotator 1000-90

Min. радіус полива 2,5 м

Мах. радіус полива 4,5 м

Регулювати кут полива можливо. От 90° до 210°

Min. тиск 2.0 Bar

Мах. тиск 3.8 Bar

Швидкість потоку 1,63 л/хв.

Норма полива 12 мм/год

Рекомендуємий робочий тиск 2.8 Bar

3. Клапан - Pgv-100-Gb Hunter

Матеріал: Пластик

Розмір зєднуючей різби 1 дюйм (25 мм)

Тип зєднуючей різби Внутрішня

Диапазон рабочего давления 1,3 - 10.4 Bar

Потеря давления на клапане 0,2 Bar

Максимальна температура 65-67 °С

Поток от 50 л/ч до 9 м³/ч

Размеры устройства Высота - 130мм., ширина - 60мм., довжина - 110мм.

Напряга соленоїда ~24V

Частота тока 50-60 Гц

Ток соленоїда при спрацюванні 350 мА (50 Гц.), 370мА (60 Гц.)

Ток утримання соленоїда 190 мА (50 Гц.), 210мА (60 Гц.)

4. Грунтовий датчик вологості - SWCSM-075
Живлення 24 VDC, (живлення через Modbus)
I_{max} 10 мА

Зона зондування: 103,35 x 18,75 мм

Ступінь захисту IP67

Довкілля

Температура -30—70 °С

Відносна

вологість 0—100 % rH

5. Перетворювач частоти VFD-E 1.5кВт 3-ф/380 (VFD015E43T)

Бренд Delta Electronics

Серія VFD-E

sku VFD015E43T

Основна потужність 1.5 кВт

Кількість фаз/напруга на вході 3-ф/380 В

Кількість фаз/напруга на виході 3-ф/380 В

M_{max} (1 min) % 150

Номинальний Струм 4.20 А