

Найменування закладу вищої освіти, де здійснювалася підготовка
здобувача, органу, до сфери управління якого належить заклад
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

Самсонов Олег Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

УДК 543.316

(індекс)

МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

Розроблення приладу для визначення вологості ґрунтів

(назва роботи)

Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(назва освітньої програми)

152 – Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва спеціальності)

Робота містить результати власних досліджень, використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело:

Здобувач освітнього ступеня _____ О.В. Самсонов _____

(підпис, ініціали та прізвище здобувача)

Науковий керівник _____ Чуйко Мирослава Михайлівна, к.т.н, доцент _____

(підпис, прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання керівника)

Допущено до захисту

Завідувач кафедри

Професор _____ О.Є. Середюк _____

(посада) (підпис) (дата) (ініціали та прізвище)

Івано-Франківськ 2024р.

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут інформаційних технологій

Кафедра метрології та інформаційно-вимірювальної техніки

Освітній рівень перший (магістерський)

Спеціальність 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2024 року

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ**

Самсонов Олег Васильович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення приладу для визначення вологості ґрунтів

керівник роботи Чуйко Мирослава Михайлівна, к.т.н, доцент,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від "03" грудня 2024 року №787/7

2. Строк подання студентом роботи 31.12.2024р.

3. Вихідні дані до роботи Сухий ґрунт (0%) – 850,840,855,845,860; Вологий ґрунт (50%) – 520,530,515,525,510; Насичений ґрунт (100%) – 300,310,295,305,295.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Аналіз показників вологості ґрунтів та їх вимірювання, 2. Розроблення пристрою контролю вологості ґрунту 3. Метрологічний аналіз пристрою вологості ґрунту

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Електрична принципова схема пристрою, 2. Електрична структурна схема пристрою, 3. Плата друкована, 4.Складальний кресленик

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 02.12.2024р.**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз показників вологості ґрунтів та їх вимірювання	11.12.2024р.	
2	Розроблення пристрою контролю вологості ґрунту	20.12.2024р.	
3	Метрологічний аналіз пристрою вологості ґрунту	23.12.2024р.	
	Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу		

Студент

_____ (підпис)

Самсонов О.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Чуйко М.М.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота на тему «Розроблення приладу для визначення вологості ґрунтів»: 54 с., 5 рис., 19 джерел, 4 аркушів графічного матеріалу.

Об'єкт дослідження – процеси контролю вологості ґрунту для оптимізації зрошувальних заходів та підвищення ефективності агротехнічних робіт.

Предмет дослідження – методи та засоби вимірювання вологості ґрунту, зокрема ємнісні методи та технології, що використовуються для розроблення пристроїв контролю вологості ґрунту.

Мета роботи – розробити прилад для контролю вологості ґрунту, який дозволить підвищити точність, оперативність та ефективність вимірювань з метою оптимізації поливу та ефективного використання водних ресурсів у сільському господарстві.

Наукова новизна полягає у застосуванні ємнісного методу вимірювання вологості ґрунтів з використанням давача типу FC-28 та інтеграцією пристрою із мікроконтролером для забезпечення автоматизованого збору та обробки даних про вологість ґрунту. Використано методи метрологічного аналізу для підвищення точності вимірювань та зменшення похибок.

Ключові слова: вологість ґрунту, ємнісний метод, контроль вологості, автоматизація, метрологічний аналіз, розумне сільське господарство, полив, зрошення, ефективність використання водних ресурсів.

ABSTRACT

Master's thesis on “Development of a device for determining soil moisture content”: 54 p., 5 figures, 19 sources, 4 sheets of graphic material.

Object of research - processes of soil moisture control to optimize irrigation measures and increase the efficiency of agrotechnical work.

The subject of research - is methods and means of measuring soil moisture, in particular capacitive methods and technologies used to develop soil moisture control devices.

The aim of the work - is to develop a device for monitoring soil moisture, which will increase the accuracy, efficiency and effectiveness of measurements in order to optimize irrigation and efficient use of water resources in agriculture.

The scientific novelty is the use of a capacitive method for measuring soil moisture using an FC-28 sensor and the integration of the device with a microcontroller to ensure automated collection and processing of soil moisture data. Metrological analysis methods were used to improve the accuracy of measurements and reduce errors.

Keywords: soil moisture, capacitive method, moisture control, automation, metrological analysis, smart agriculture, irrigation, irrigation, water use efficiency.

ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	8
1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ ТА ЇХ ВИМІРЮВАННЯ.....	9
1.1. Одиниці вимірювання якісних характеристик ґрунтів	9
1.2. Методи і засоби вимірювання вологості ґрунтів.....	10
1.3. Кількісне визначення вологи у ґрунтів.....	17
1.4. Властивість ґрунту родючість.....	20
1.5. Вологоємність ґрунту.....	22
1.6. Твердість ґрунту.....	23
1.7. Постановка завдання на магістерську роботу.....	24
2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ.	25
2.1 Фізичні основи визначення вологості ґрунтів.....	25
2.2 Фізичні характеристики ґрунтів.....	26
2.3 Обґрунтування вибору давача для розроблення приладу визна- чення вологості ґрунту.....	32
2.4 Опис роботи давача FC-28.....	32
2.5 Технічна характеристика давача вологості ґрунту.....	34
2.6 Розроблення електрично принципової схеми пристрою.....	34
2.7 Розроблення електрично структурної схеми пристрою.....	35
3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ...	37
3.1 Опис повірки.....	38
3.2 Повірка ємнісного давача.....	38
3.3 Відтворюваність ємнісних методів аналізу.....	39
3.4 Розрахунок вологості ґрунту за допомогою датчика FC-28.....	41
Висновки.....	46
Список використаних джерел.....	47
Додаток А	51

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку аграрного сектору, ефективне управління водними ресурсами та забезпечення оптимальних умов для росту рослин є одним із ключових чинників підвищення продуктивності сільськогосподарських угідь. З огляду на глобальні виклики зміни клімату, що супроводжуються зростанням частоти посух і нерівномірністю опадів, вимірювання вологості ґрунту набуває особливої актуальності.

Контроль вологості ґрунту дозволяє оптимізувати поливні заходи, зменшити втрати водних ресурсів та підвищити ефективність використання добрив. Це, своєю чергою, сприятиме захисту навколишнього середовища шляхом зменшення негативного впливу на довкілля сталості сільськогосподарського виробництва. Відсутність своєчасної інформації про рівень вологості ґрунту може призвести до надмірного чи недостатнього поливу, що негативно позначається на врожайності та економічній ефективності господарств.

Застосування сучасних технологій для моніторингу вологості ґрунту дозволяє підвищити оперативність та точність вимірювань. Зокрема, використання електронних пристроїв для визначення вологості сприяє автоматизації та цифровізації процесів управління водними ресурсами. Це є невід'ємною частиною концепції "розумного сільського господарства" (Smart Farming), що передбачає інтеграцію інформаційних технологій та автоматизованих систем у виробничі процеси.

Метою даної магістерської роботи є розробка пристрою для контролю вологості ґрунту, який дозволить підвищити ефективність моніторингу вологісного режиму ґрунтів. У роботі буде досліджено методи вимірювання вологості, проведено аналіз існуючих технічних рішень та розроблено прототип пристрою, здатного забезпечити високий рівень точності та оперативності вимірювань. Реалізація цієї розробки сприятиме оптимізації поливного процесу та підвищенню ефективності використання води в сільському господарстві.

1 АНАЛІЗ ПОКАЗНИКІВ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТІВ ТА ЇХ ВИМІРЮВАННЯ

1.1 Одиниці вимірювання якісних характеристик ґрунтів

Ґрунти - це мінеральні тіла, що утворилися на поверхні тривалий вплив абіотичних, біотичних та абіотичних факторів навколишнього середовища спричиняє зміни в літосфері Землі. антропогенних чинників, які є самостійними природними та історичними органічними тілами з певними генетичними й морфологічними характеристиками та властивостями, що створюють сприятливі умови для росту й розвитку рослин (табл. 1.1).

Вологість - це міра вмісту насиченої вологи в речовині. Поняття вологості не включає хімічно зв'язану структурну вологу або гідратованих кристалів.

Вміст вологи в речовині залежить від природи речовини, вологості довкілля, а в разі твердих речовин - також від пористості та розміру частинок.

Вологість ґрунту є мірою вмісту води і визначається відношенням об'єму ґрунту до вмісту води.

Цей показник формується на основі кліматичних умов, кількості опадів, температури, типу родючої поверхні та вирощуваних рослин. Вимірювання цього показника дуже важливе для врожайності, оскільки від нього залежить ефективність зрошення, поливу та вибору мінеральних добрив. Як правило, вологовміст - це кількість води в речовині, виражена у відсотках (масових або об'ємних) від її первісної маси.

Абсолютна вологість - це вологість, яка визначається густиною водяної пари (відношення маси водяної пари в газі до об'єму цього газу).

Відносна вологість - це відношення абсолютної вологості до максимального значення за даної температури.

За відносної вологості 100 % водяна пара конденсується в повітрі, утворюючи туман, і падають краплі води.

Таблиця 1.1 - Ґрунти їх види характеристики

Вид піщаних ґрун- тів	ступінь щільності		
	щільні	середньої щільно- сті	пухкі
Піски гравелисті, великі, середньої крупності, піски дрібні, піски пило- ві	$E < 0,55$	$0,55 \leq e \leq 0,70$	$e > 0,70$
	$E < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,75$	$e > 0,75$
	$E < 0,60$	$0,60 \leq e \leq 0,80$	$e > 0,80$

1.2 Методи і засоби вимірювання вологості ґрунтів

Існує безліч методів вимірювання, кожен з яких має свої переваги, застосування та вимоги до обладнання. Летючість може бути виміряна:

1. методами без обладнання;
2. методами з обладнанням;
3. методами, за яких зразки ґрунту надаються в лабораторію.

Всі методи вимірювання можна класифікувати на прямі, непрямі та дистанційні в залежності від типу використовуваного обладнання.

Основні методи описані тут:

1. гравіметричний метод;
2. електромагнітний метод;
3. тензометричний метод;
4. окомірний метод;
5. мікрохвильовий метод.

Гравіметричний метод: Це найбільш прямий, простий і доступний метод.

Він передбачає зважування зразків ґрунту до і після висушування внаслідок осушення, сушіння в спеціальних шафах і термічна обробка.

Для розділення та визначення вмісту твердих частинок і води.

Необхідне спеціальне обладнання:

1. сушильна шафа;
2. деззасіб для охолодження зразка;

3. ваги для контролю зважування.

Гравіметричні методи прості, але ненадійні, оскільки займають багато часу, не дають точних результатів і схильні до помилок. Методи вимірювання вологості ґрунту включають прямі, непрямі та дистанційні методи.

При прямих методах вода видалається зі зразка ґрунту шляхом випаровування, вилуговування або хімічної реакції. Вологість ґрунту розраховується на основі маси видаленої води і сухого ґрунту.

Більшість фізичних і хімічних властивостей ґрунту змінюються при зміні його вологості. Вимірювання вологості ґрунту є невід'ємною частиною аналізу ґрунту.

Вологість ґрунту зазвичай виражається як безрозмірне відношення між двома масовими або об'ємними величинами. Також можна розрахувати відсотковий вміст води за масою або об'ємом.

Якщо критерії для вологості ґрунту не вказані, за замовчуванням зазвичай використовується значення, засноване на масі.

Після визначення масових даних об'ємне значення розраховується шляхом множення на насипну щільність.

З огляду на різноманітність ґрунтів, майже завжди існує помилка у визначенні насипної щільності.

Вміст вологості в ґрунті може бути виражений як товщина зниженого шару в міліметрах. У цьому разі зазвичай вказується зона.

Наприклад, це товщина відновленого шару води в кореневій зоні.

1.2.1 Електромагнітні методи

Сюди відносяться Методи, засновані на впливі води на електричні властивості ґрунтів.

Ці методи дозволяють аналізувати вологість ґрунту як контактним, так і дистанційним способом. Було розроблено низку імплантованих датчиків, які реагують на опір, поляризацію або на обидва фактори.

Ці датчики виявилися дуже перспективними для вимірювання вологості на поверхні ґрунту.

На жаль, вимірювання електричних властивостей ґрунтів глибше поверхневого шару не показали чіткої кореляції з вологістю ґрунту вологи.

Однак в останні роки було досягнуто значного прогресу в розробці датчиків, що розміщуються безпосередньо в ґрунті за допомогою цих методів, хоча деякі проблеми залишаються.

Однак, незважаючи на простоту відбору проб, електроніка, що використовується для отримання даних, залишається дорогою.

1.2.2 Мікрохвильові методи

Вода має дуже низьку електронну і теплову провідність. Отже, електричні і теплові властивості ґрунту, такі як випромінювальна здатність і відбивна здатність, залежать від вмісту води.

Теплове випромінювання від поверхні ґрунту в мікрохвильовому діапазоні можна виявити дистанційно за допомогою відповідного вимірювального обладнання, використовуючи пасивні радіометричні або активні радіолокаційні методи.

Роздільна здатність пасивних систем практично обмежена розміром антени. Активні системи працюють на основі того, що здатність голої землі розсіювати мікрохвильове випромінювання залежить від її вологості, нерівностей поверхні та електропровідності.

Рослинність зменшує потужність відбитого випромінювання до 40% порівняно з голою землею. Обмежуючим фактором є те, що активні та пасивні методи можуть вимірювати поверхневу вологість ґрунту лише до 5-10 см і декількох см відповідно.

Тому точність методу знижується, якщо поверхня нерівна або вкрита рослинністю. Він поступається методу прямого вимірювання за точністю і обмежується лише верхнім шаром ґрунту. Цей метод є дуже дорогим, оскільки зазвичай вимагає використання супутників або принаймні літаків.

1.2.3 Оптичні методи

Поляризаційний метод ґрунтується на тому, що наявність вологи на поверхні поляризує світло, відбите від поверхні. Близькій інфрачервоний метод заснований на поглинанні інфрачервоного випромінювання певної частоти молекулами води в поверхневому шарі.

Він не підходить, якщо волога розподілена дуже нерівномірно. Цей метод дозволяє проводити швидкі вимірювання, але залежить від нерівностей поверхні і показує лише поверхневий вміст вологи.

1.2.4 Також за допомогою приладу ВНП-1 (водний накопичувальний показник)

Принцип роботи приладу Він заснований на здатності атомів водню сповільнювати рух швидких нейтронів і перетворювати їх на повільні нейтрони.

Прилад поєднує в собі електронний цифровий вимірювальний блок з РК-дисплеєм, детектор швидких нейтронів і джерело в одному корпусі.

Для повторних вимірювань в одній і тій же точці поля необхідно пробурити свердловину на глибину 1-1,5 м і встановити фіксований металевий або пластиковий корпус трубу для стабілізації стінок і запобігання витоку ґрунту.

Внутрішній діаметр труби повинен бути таким, щоб могла легко переміщати при багаторазових переміщення ВЗК-1 (ємності для зберігання води) на різні рівні глибини.

Моніторинг вологості ґрунту є важливим фактором при визначенні потреб у зрошенні.

Для того, щоб вибрати найкращий контрольний пристрій для використання в конкретних умовах господарства, бажано розуміти його принципи роботи та особливості застосування.

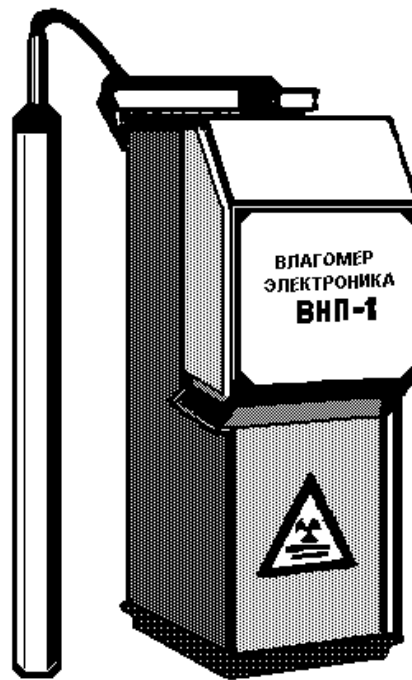


Рисунок 1.1 – ВНП-1 (водний накопичувальний показник)

Слід зазначити, що регуляція вологості рослин залежить не тільки від вологості ґрунту, але й від інших факторів, таких як властивості ґрунту, температура, сонячна радіація та фізіологічний стан рослини.

Одним з найпростіших і в той же час одним з найточніших методів є гравіметричний метод, де вологість зразка ґрунту визначається за різницею у вазі між початковим зразком і тим же зразком після того, як вода була видалена з нього шляхом нагрівання.

Класичний гравіметричний метод передбачає висушування зразка ґрунту до постійної ваги в інкубаторі при 105°C протягом восьми годин. Прискорений метод гравіметричного сушіння використовує спиртову обробку ґрунту.

У цьому випадку зразок ґрунту змочують спиртом і спалюють у спеціальному шарі в умовах нестачі кисню. Органічна речовина в ґрунті практично не згорає під час спалювання спирту, різниця може становити до 1,5 відсотка.

Основними недоліками гравіметричних методів є неможливість проведення аналізу на місці, необхідність окремого відбору зразків і, найголовніше, досить тривалий час, необхідний для отримання результатів.

1.2.5 Тензіометричні методи

Тензіометричні методи вимірювання вологості ґрунту засновані на здатності ґрунту поглинати вологу до повного її насичення.

Сам прилад, який називається «тензіометр», являє собою закритий трубчастий контейнер з фіксованим об'ємом води, з'єднаний з контейнером, що містить зразок ґрунту, або розміщений у ґрунті.

Одна зі стінок приладу виконана у вигляді мембрани, яка може відхилитися під дією розрядження, що виникає в результаті поглинання ґрунту.

Ступінь відхилення мембрани від нульової позначки є показником вологості зразка ґрунту.

Недоліками таких приладів є необхідність своєчасного заповнення рідиною і невисока міцність самої конструкції, що вимагає ретельного і складного монтажу.

Крім того, вимірювання не можна проводити одразу після встановлення, а лише через оскільки цей прилад використовується тільки для моніторингу вологості в конкретній точці поля, на полі може знадобитися більше одного приладу цього типу.

Вартість одного тензіометра коливається в межах 45-80 доларів США залежно від довжини. Нещодавно з'явилися «сухі» тензіометри, які не потребують заповнення рідини, але вони дорожчі.



Рисунок 1.2 - Тензіометр

Прилад під назвою «рефлектометр» використовує метод вимірювання вологості за ступенем відбиття електромагнітних хвиль від вологих поверхонь.

Оскільки молекули води можуть поглинати частину високотемпературної енергії електромагнітних хвиль, ступінь відбиття змінюється залежно від вологості матеріалу вимірюється датчиками.

Прилади можна використовувати для моніторингу вологості в декількох точках поля, і дані зчитуються з невеликою затримкою, але вартість таких приладів досить висока, від 550-4530 доларів США і вище.

Відносно недорогим, але менш чутливим є прилад, який вимірює зміну постійної ЕРС, коли ґрунт поміщається між двома металевими електродами. Як відомо, вода проводить електричний струм, тому електропровідність змінюється залежно від вологості ґрунту.

Найдешевшими пристроями є ті, що використовують гіпсові блоки, які коштують від 1 долара США і мають термін служби близько одного року, та гранульовані матриці, які коштують від 1 долара США за одиницю і мають термін слу-

жби від п'яти до семи років. Однак такі пристрої керуються реєстраторами даних з кількома датчиками, підключеними до одного реєстратора даних.

1.3 Вимірювання води в ґрунті

Вода відіграє важливу роль у ґрунтоутворенні та родючості ґрунту.

Водне середовище бере участь у вивітрюванні та мінералоутворенні, хімічних реакціях, утворенні гумусу та перерозподілі речовин у ґрунті, а вода в ґрунті суттєво впливає на тепловий баланс ґрунту та температурний режим, забезпечуючи необхідні умови для росту рослин.

Вода в ґрунті існує у вигляді ґрунтового розчину, який є рідкою фазою. Ґрунтовий розчин містить воду з розчиненими солями, органічними і мінеральними сполуками, газами і дрібнодисперсною колоїдною золюю.

Ґрунтовий розчин є безпосереднім джерелом поживних речовин для рослин. Запаси ґрунтової вологи вимірюються в міліметрах, тоннах і Кубічні метри/га. Це динамічний показник, оскільки вологість ґрунту постійно змінюється.

Тому її вимірюють кілька разів протягом періоду спостереження.

Час проведення вимірювань вологості ґрунту пов'язаний зі стадією розвитку рослин і термінами проведення певних сільськогосподарських операцій. Залежно від мети, вологість вимірюють у похилому вона визначається глибиною проникнення в ґрунтовий шар і підґрунтовий шар ґрунту або кореневу систему рослин.

Основний метод вимірювання вологості ґрунту є метод зважування за допомогою термостата, який використовується як основа для оцінки інших методів. У цьому методі зразки ґрунту відбираються через кожні 10 см на глибину 1,0-1,5 м за допомогою ґрунтового бура.

Принцип роботи заснований на ручному обертанні бурової чашки за допомогою штанги і дверної ручки. Ґрунт з нижньої третини контейнера переноситься в алюмінієву ємність (колбу) і закривається кришкою.

Ці зразки переносяться в лабораторію і зважуються на вагах (механічних або електричних) з точністю до 0,1 г. Після зважування колби з кришками вису-

шують до постійної маси в термостаті при температурі 100-105°C. Цей процес повністю видаляє воду з ґрунту.

Різниця у вазі між зразками до і після висушування використовується для розрахунку вмісту вологи в ґрунті (у відсотках від сухої ваги):

$$W = \frac{m(\text{наб}) - m(\text{сух})}{m(\text{сух})} \cdot 100\%, \quad (1.1)$$

Методом зважування на термостаті було відібрано три зразки ґрунту: чорнозем, пісок та дерново-підзолистий. Всі ґрунти були висушені, а результати всіх розрахунків представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Експериментальні результати для вологості ґрунту

Тип	Вміст води, г	Вологість ґрунту, %
Пісок	5,125г	7,8%
Чорнозем	1,960г	28,5%
Дерново-підзолистий	4,335г	6,7%

Дослідження показують, що чорноземи містять найбільше (28,5%), а дерново-підзолисті ґрунти - найменше (6,7%) вологи.

Чорноземи є більш вологими через більш грубий гранулометричний склад і вищий вміст гумусу.

Вологість ґрунту - це вода, доступна для рослин, і залежить від факторів, що визначають властивості ґрунту, стану поверхні, кількості опадів та інтенсивності випаровування води.

Основними функціями ґрунтової вологи є забезпечення рослин вологою; рівень вологості ґрунту впливає на вміст повітря, засоленість та токсичні речовини; підтримка структури, пластичності та щільності ґрунту; вплив на температуру та

теплоємність; запобігання розкладанню ґрунту та визначення готовності землі до сільського господарства та сільськогосподарської діяльності.

Метод ємнісного вимірювання вологості ґрунту

Ємнісний метод ґрунтується на принципі вимірювання діелектричної проникності ґрунту, яка залежить від його вологості. Вода має значно вищу діелектричну проникність (приблизно 80) у порівнянні з іншими складовими ґрунту, такими як мінеральні частинки (4–7) або повітря (1). Зміна вмісту води в ґрунті впливає на його загальну діелектричну проникність, що дозволяє оцінити вологість за допомогою спеціальних датчиків.

Основний принцип роботи: у ґрунт вставляють ємнісний датчик, що складається з двох електродів, між якими утворюється електричне поле. Датчик створює високочастотний електричний сигнал, що взаємодіє з ґрунтом навколо електродів. Залежно від діелектричної проникності, сигнал змінює свою ємність, яку реєструє вимірювальний пристрій.

Складові вимірювальної системи:

Ємнісний датчик. Електроди, виготовлені з корозійностійких матеріалів, для тривалої роботи в агресивному середовищі;

Електронний блок. Забезпечує генерацію сигналу, реєстрацію ємності та перетворення її у цифровий або аналоговий сигнал;

Калібрувальна шкала. Перетворює ємність у відсоткове значення вологості ґрунту.

Переваги методу:

Швидкість вимірювання: датчики можуть миттєво передавати результати у режимі реального часу;

Висока чутливість: здатність виявляти навіть незначні зміни у вологості;

Невелике енергоспоживання, що дозволяє застосовувати метод у польових умовах.

Недоліки методу:

Чутливість до зовнішніх чинників, таких як температура або сольовий склад ґрунту, що може потребувати додаткового калібрування;

Необхідність точного налаштування для кожного типу ґрунту.

Застосування:

Ємнісний метод широко використовується у сільському господарстві для моніторингу вологості ґрунту, у системах автоматизованого зрошення, а також у дослідженнях, пов'язаних із ґрунтознавством та екологією.

1.4 Властивість ґрунту родючість

Ґрунти як природно-історичні об'єкти мають родючість, яка визначається комплексом взаємопов'язаних механічних, фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей, що зумовлюють життєдіяльність рослинного світу.

Родючість ґрунту - це біологічна і якісна властивість, яка відрізняє ґрунт від гірської породи, робить це природне утворення основним засобом сільськогосподарського виробництва і предметом праці.

Родючість - це здатність ґрунту задовольняти потреби рослин у поживних речовинах, волозі та повітрі, забезпечувати умови для нормальної життєдіяльності рослин і давати достатню біомасу (врожайність).

Однак за однакових умов рівень родючості ґрунту відрізняється між природними та культурними рослинами. Продуктивність є відносним явищем і залежить не лише від структури ґрунту, але й від рослин, які на ньому вирощуються.

Термін «родючість ґрунту» не є тотожним терміну «продуктивність» і повинен використовуватися лише в агрономічному сенсі. Усі біосистеми, наприклад, морська вода, мають біологічну продуктивність.

Продуктивні рослинні угруповання, такі як субарктичні хвойні ліси та очеретяні зарості, часто виникають на бідних ґрунтах.

Метод визначення родючості ґрунту за допомогою агрохімічного аналізу:

Агрохімічний аналіз ґрунту є одним із найпоширеніших методів оцінки його родючості, що базується на визначенні вмісту основних елементів живлення рослин, таких як азот, фосфор, калій, кальцій, магній, а також мікроелементів і кислотності ґрунту (рН). Методика передбачає кілька основних етапів.

Спочатку здійснюється відбір проб ґрунту. Важливо дотримуватися певних правил: зразки повинні бути репрезентативними для всієї ділянки дослідження. Проби беруться із кількох точок ділянки, змішуються та утворюють середній зразок. Глибина відбору залежить від типу культури, яка вирощується, та горизонту, що аналізується (пахотний, підпахотний).

Після відбору зразки ґрунту висушуються в природних умовах та подрібнюються до однорідного стану. Потім проводиться хімічний аналіз, який включає екстракцію елементів живлення за допомогою спеціальних розчинників. Наприклад, для визначення доступного фосфору та калію часто використовується метод ацетатно-аміачного буфера.

Отримані екстракти аналізуються за допомогою сучасного обладнання, такого як спектрофотометри, іонметри або атомно-абсорбційні спектрометри. Наприклад, вміст азоту визначається методом К'ельдаля, який включає розкладання органічних речовин із виділенням аміаку, що далі фіксується титруванням.

Після отримання результатів проводиться інтерпретація даних. Визначаються рівні забезпеченості ґрунту макро та мікроелементами, їх доступність для рослин. Оцінка супроводжується розрахунком коефіцієнтів поглинання та фіксації елементів, що дозволяє зробити висновки про потенційну родючість ґрунту.

Результати агрохімічного аналізу використовуються для розробки рекомендацій щодо внесення добрив, коригування кислотності ґрунту та інших заходів, спрямованих на підвищення його родючості.

1.5 Водоутримуюча здатність ґрунту

Водоутримуюча здатність ґрунту - це його здатність пористих просторів ґрунту приймати і утримувати певну кількість рідкої води без стікання. Відношення маси ґрунту до маси ґрунту або, відповідно, відношення об'єму ґрунту до об'єму ґрунту, виражене у відсотках, називається водоутримуючою здатністю ґрунту.

Водоутримуюча здатність ґрунту - це міра водоутримуючої здатності ґрунту і є здатністю ґрунту поглинати певну кількість води за рахунок капілярної дії або сорбції і не давати їй стікати. Залежно від умов, за яких вода утримується в ґрунті, розрізняють різні типи водоемності ґрунту: максимальна адсорбційна ємність, капілярна ємність, мінімальна адсорбційна ємність і потенційна ємність.

Максимальна адсорбційна, зв'язана, сорбційна та приблизна вологостійкість ґрунту - це максимальна кількість міцно зв'язаної вологи, що утримується силами сорбції.

Чим важчий гранулометричний склад ґрунту і вищий вміст гумусу, тим більша частка зв'язаної і практично недоступної води в ґрунті. Капілярна вологостійкість ґрунту - це максимальна кількість води, що утримується в ґрунті вище рівня ґрунтових вод силами капілярного меніска і залежить від товщини шару та відстані від рівня ґрунтових вод. Чим більша товщина шару і менша відстань від рівня ґрунтових вод, тим вищий ступінь водоемності ґрунту.

Для рівних відстаней від дзеркальної поверхні значення визначається загальною пористістю і капілярною пористістю, а також щільністю ґрунту.

Капілярна водоемність ґрунту пов'язана з капілярною межею сфери інфільтраційних вод між рівнем ґрунтових вод і верхньою межею фронту зволоження ґрунту. Капілярна водоемність ґрунту характеризує культурний стан ґрунту.

Чим слабша структура ґрунту, тим більша капілярна ємність води, яка фізично випаровується і накопичується у верхній частині ґрунту, де є більша ймовірність її розчинення, часто разом із шкідливими для рослин солями.

Загальна вологоємність ґрунту, вологоємність ґрунту Вміст води в ґрунті, коли всі пори повністю заповнені водою.

У загальній водоеємності ґрунту вода у великих проміжках між ґрунтовими частинками безпосередньо утримується дзеркалом води або водонепроникним шаром.

Водоеємність ґрунту розраховується за його загальною пористістю, а значення загальної водоеємності ґрунту є важливим для розрахунку його здатності поглинати воду без утворення поверхневого стоку, що визначає дренажну здатність ґрунту і висоту рівня ґрунтових вод під час сильних дощів і зрошення.

1.6 Твердість ґрунту

Твердість ґрунту - це опір ґрунту зовнішній силі, прикладеній вертикально для розділення ґрунтових частинок.

Кількісно її можна виміряти за допомогою сили, необхідної для того, щоб вставити в ґрунт поршень (кульку, циліндр, конус тощо).

Твердість вимірюється в кг/см² або кПа. Твердість ґрунту залежить від гранулометричного складу, стану агломерації, вмісту гумусу, обмінних катіонів, щільності та вмісту води.

Високодисперсні, безструктурні, ущільнені ґрунти з високим вмістом обмінного натрію і особливо низьким вмістом вологи є твердими, тоді як ґрунти з високим вміст гумусу, структуровані і насичені обмінними катіонами кальцію і магнію демонструють різке зниження твердості.

Ґрунти з високою твердістю вказують на те, що вони є фізично, агрофізично і технічно несприятливими.

Занадто тверді ґрунти при обробці мають погані водно-повітряні властивості, що негативно впливає на ріст коренів рослин і життя ґрунтової фауни.

Чим вища твердість, тим більший опір ґрунту робочому органу мотики і тим більші витрати енергії під час механічного обробітку, але такі ґрунти також зменшують зчеплення мотики з ґрунтом при перекочуванні по полю.

Твердість ґрунту вимірюється спеціальним приладом - твердоміром.

Існують різні конструкції

В даний час широко використовується твердомір Ю.Ю. Ревякіна. Цей сконструйований прилад здатний швидко вимірювати твердість ґрунту в шарах від 0 до 30 см.

1.7 Постановка завдання на магістерську роботу

У магістерській роботі пропонується розробити пристрій контролю вологості ґрунтів на основі ємнісного методу між двома електродами, які занурюються в ґрунт. Основний принцип цього методу ґрунтується на відмінності в діелектричній проникності води, повітря та сухого ґрунту.

У роботі слід виконати наступні задачі:

- Здійснити дослідження ємнісного метода;
- Обґрунтувати вибір давача для визначення вологості ґрунтів;
- Розробити код давача вологості ґрунту, також схеми електричну структурну, принципову пристрою.

2 РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ КОНТРОЛЮ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ

2.1 Фізичні основи визначення вологості ґрунтів

Вода в ґрунті може перебувати в кількох формах: гравітаційна (вільна) вода, капілярна вода та гігроскопічна вода. Гравітаційна вода заповнює великі пори й легко стікає вниз під дією сили тяжіння. Капілярна вода утримується в дрібних порах завдяки капілярним силам і доступна для рослин. Гігроскопічна вода утворює тонкі плівки на поверхні часток ґрунту і практично недоступна для рослин.

Одним із найважливіх фізичних принципів визначення вологості ґрунту є рівновага між водою, що утримується у ґрунті, та зовнішнім середовищем. Методи визначення вологості ґрунту поділяються на гравіметричні, електричні, радіоізотопні та діелектричні.

Гравіметричний метод базується на висушуванні зразка ґрунту в сушильній шафі за температури 105 °С до постійної маси. Зниження маси після висушування відповідає кількості випареної води. Цей метод вважається еталонним через високу точність.

Електричні методи використовують принципи вимірювання електропровідності або діелектричної проникності ґрунту. Залежність між вмістом води та електричними властивостями пояснюється тим, що вода добре проводить струм.

Сухий ґрунт - ізолятором. Вимірювання проводять за допомогою вологодавачів або сенсорів, які реєструють зміну опору або ємності ґрунту.

Діелектричні методи базуються на взаємодії електромагнітних хвиль із ґрунтом. Вода має високу діелектричну проникність (близько 80), тоді як сухий ґрунт - значно меншу (2-4). Це створює різницю в швидкості поширення електромагнітних хвиль у вологому та сухому ґрунті. Вимірюючи цю швидкість або зміну фази хвиль, можна визначити вологість ґрунту. Цей принцип реалізується в методах відбиття або пропускання радіохвиль (TDR - метод відбиття у часовій області та FDR - метод відбиття у частотній області).

Радіоізотопні методи базуються на взаємодії нейтронного випромінювання з молекулами води. Джерело нейтронів випускає швидкі нейтрони, які при зіткненні з атомами водню (яких багато у воді) сповільнюються. Кількість уповільнених нейтронів пропорційна кількості води в ґрунті. Цей метод дозволяє зробити наступне, швидкі й безконтактні вимірювання вологості в польових умовах.

Серед фізичних процес визначення дистрибуції вологи в ґрунті, ключову роль відіграють капілярні сили та сили когезії та адгезії. Капілярний підйом води пояснюється дією сил поверхневого натягу, які змушують воду рухатися вгору по вузьких порах ґрунту. Цей процес особливо важливий для зволоження рослинних коренів у посушливих умовах.

Таким чином, визначення вологості ґрунту базується на фундаментальних фізичних принципах — випаровуванні, електричній провідності, діелектричній проникності та розсіюванні нейтронів. Кожен метод має свої переваги та обмеження, а вибір методу залежить від необхідної точності, умов проведення вимірювань та доступного обладнання.

2.2 Фізичні характеристики ґрунтів

Фізико-механічні властивості ґрунтів вимірюють властивості, необхідні для розрахунку і прогнозування поведінки ґрунтів під навантаженням за певних умов. У той час як фізичні властивості дають інформацію про стан ґрунту в природі, механічні властивості дають інформацію про його поведінку під навантаженням.

Фізичні властивості ґрунтів розділити на дві групи: - основні: визначаються експериментально на основі лабораторних або польових дослідів [7] - розрахункові: визначаються розрахунковим шляхом на основі перших.

Експериментально визначаються такі властивості: питома вага ґрунтових частинок, питома вага ґрунту, вологість, межа пластичності, коефіцієнт фільтрації. Всі інші властивості визначаються розрахунковим шляхом.

Основні відомості про фізичні властивості ґрунтів наведено в таблиці 2.1, де для позначення основних властивостей використовуються такі символи G - маса

грунту, G_s - маса твердих частинок, G_w - маса води, V - об'єм ґрунту, V_s - об'єм твердих частинок, I - градієнт тиску, Q - водоспоживання, A - площа поперечного перерізу ґрунту.

Таблиця 2.1 – Основна інформація про фізичні властивості ґрунтів.

Назва	Визначення	Умовні позначки	Формула рахунку	Одиниця виміру	Межі варіації
1	2	3	4	5	6
Питома вага	Маса одиниці об'єму ґрунту в його природному стані.	γ	$\gamma = \frac{G}{V}$	кН/м ³	15-21
Відсоток ґрунтової крихти	Маса одиниці об'єму ґрунту в повністю ущільненому стані.	γ_s	$\gamma_s = \frac{G_s}{V_s}$	кН/м ³	24-26
Вологість	Відсоток вмісту води в ґрунті від маси мінеральної складової.	w	$w = \frac{G_w}{V_s}$	Долі одиниць	0-3,0
Гранична вологість пластику	Вологість, за якої ґрунт змінює свій стан із твердого на пластичний.	w_p		Долі одиниці	0,08-0,95
Вологість на межі текучості	Вологість, за якої ґрунт змінює свій стан із пластичного на текучий.	w_L		Долі одиниці	0,14-4,0
Коефіцієнт пропускання води через фільтр	Швидкість руху води через ґрунт	k_f	$k_f = \frac{Q}{LA}$	м/добу	0-2000

Продовження таблиці 2.1

Число пластично-сті	Діапазон вологості, за якого ґрунт перебуває у пластичному стані.	I_p	$I_p = w_L - w_p$	Долі одиниці	0-3,0
Показник текучості	Оцінка природного стану ґрунтів за їхніми пластичними властивостями.	I_L	$I_L = \frac{w - w_p}{I_p}$	Долі одиниці	-
Питома вага сухого ґрунту	Маса одиниці об'єму ґрунту в сухому стані.	γ_d	$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w}$	кН/м ³	12,23
Полярність	Частка об'єму пор у загальному об'ємі ґрунту.	n	$n = 1 - \frac{\gamma_d}{\gamma_s}$	Долі одиниці	0-0,88
коефіцієнт полярності	Частка об'єму пор від об'єму мінеральної частини ґрунту.	e	$e = \frac{\gamma_s}{\gamma} (1 + w) - 1$	Долі одиниці	0-1,6
Рівень вологості	Відсоток природної вологості відносно максимальної вологості	S_r	$S_r = \frac{w \gamma_s}{e \gamma_w}$	Долі одиниці	0-2
Показники неоднорідності гранулометричного складу.	Розмір частинок повинен бути меншим за 60 і 10 відсотків від ваги ґрунту відповідно.	C_u	$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$	Долі одиниці	1-17

Питома вага ґрунту вимірюється для непорушених структурних зразків з природною вологістю.

У лабораторних умовах питому вагу визначають двома методами: методом ріжучого кільця та парафіновим методом.

В обох випадках вага зразка ґрунту визначається зважуванням і виникають труднощі з визначенням його об'єму через його природну структуру і стан.

Метод ріжучого кільця полягає у вдавлюванні в ґрунт кільця заданого об'єму за допомогою ріжучої кромки. Застосування цього методу обмежене ґрунтами, які можна відібрати без порушення їхньої структури, наприклад, вологими пісками і пластичними глинистими ґрунтами. У методі парафінування натертий воском ґрунт занурюють у воду для визначення об'єму зразка.

Парафінування запобігає намоканню ґрунту у воді і перешкоджає проникненню води в пори. Ґрунт повинен зберігати певну форму під час відбору зразків.

Ґрунти - це переважно глинисті ґрунти, за винятком тих, що близькі до рідкого стану. Якщо неможливо відібрати зразки непорушених структур (наприклад, текучі ґрунти, сипучі піски з низькою вологістю), питому вагу слід визначати за допомогою польових методів, таких як статичне або динамічне зондування або радіоізотопні методи.

Питома вага частинок ґрунту вимірюється за допомогою пікнометра. Вага частинок вимірюється як вага сухого зразка, а об'єм - як сума ваги пікнометра, наповненого водою до позначки горловини, і ваги зразка ґрунту, з одного боку, і ваги того ж пікнометра, наповненого водою до тієї ж позначки, але зі зразком ґрунту в центрі пікнометра, з іншого боку.

Видалення повітря зі зразка, необхідне для запобігання зменшенню питомої ваги, досягається шляхом тривалого кип'ятіння ґрунту в пікнометрі. Вологість визначається як відношення ваги води в ґрунті до ваги сухого ґрунту. Тому вологість зазвичай визначають гравіметричним методом.

У цьому методі зразок ґрунту сушать у сушильній шафі при постійній температурі близько 105 °С протягом тривалого часу (до досягнення постійної ваги після багаторазового зважування).

Більш низькі температури не дозволяють повністю витягти воду зі зразка, тоді як більш високі температури несуть ризик помилок, пов'язаних з можливим спалюванням частин породи, особливо органічної речовини.

У лабораторії для визначення вологості використовують гравіметричні методи, а також пікнометричні та бензометричні (для водорозчинних ґрунтів). У польових умовах застосовують спирто-бензольний, радіометричний та електрометричний методи.

Пластичність притаманна лише глинистим ґрунтам завдяки здатності глинистих частинок утримувати воду біля своєї поверхні.

Пластичність (консистенція) має три стани: твердий, пластичний і текучий, і може бути досягнута штучно шляхом зміни вологості ґрунтової пасти.

Ваговий вміст води, що відповідає переходу з одного стану в інший, називається межею пластичності.

Вміст води на межі пластичності також називають нижньою межею пластичності, а вміст води на межі текучості - верхньою межею пластичності.

Вологість на межі пластичності (розкочування) визначається в лабораторії як вологість, при якій пачка товщиною 3 мм, підготовлена шляхом стандартного розкочування ґрунту, починає ламатися до довжини 3-10 мм. Межа текучості визначається як вологість, при якій стандартний рівноважний конус (76 г, кут при вершині 300) занурюється під власною вагою на 10 мм у грудку ґрунту протягом 5 с.

Пластичні властивості можна використовувати для визначення ступеня глинистості (відсоток глинистих частинок) і природного стану ґрунту за коефіцієнтом пластичності.

У таблиці 2.2 наведена класифікація глинистих ґрунтів.

Ґрунту	Вміст глинистих частинок (0,005 мм або менше), ваговий відсоток
Глина важка (жирна)	більше 63
Глина	50-40
Суглинок важкий	40-30
Суглинок середній	30-20

Продовження таблиці 2.2.

Назва ґрунту	Вміст глинистих частинок (тонкість менше 0,005 мм), % за масою.
Суглинок легкий	16-11
Супісок важкий	11-7
Супісок легкий	7-4
Пісок	менше 2

Як видно з рисунка, зі збільшенням відсоткового вмісту глинистих частинок збільшується і кількість інтервалів, в яких ґрунт перебуває в пластичному стані.

У зв'язку з цим число пластичності використовується для класифікації ґрунтів за вмістом глини:

Супіски	$0,01 \leq I_p \leq 0,07$
Суглинки	$0,07 < I_p \leq 0,17$
Глини	$I_p > 0,17$

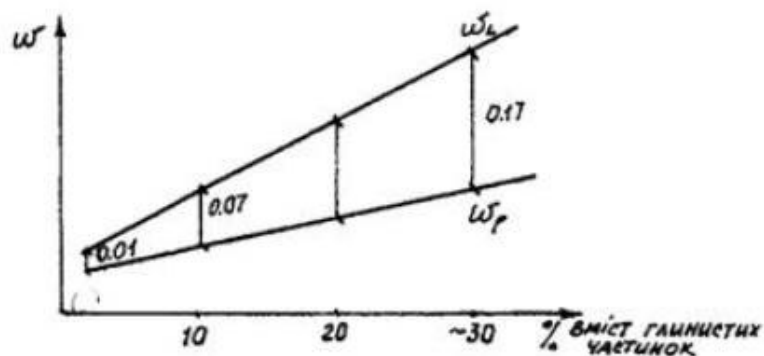


Рисунок 2.1 - Залежність меж пластичності від вмісту глинистих частинок

Згідно з визначенням меж пластичності ґрунтів є жорстким, якщо $w < w_P$, у текучому стані, якщо $w > w_L$ і в пластичному стані, якщо $w < w_P < w_L$. Такі властивості оцінки природного стану ґрунту за пластичністю застосовується така характеристика, як показник текучості I_L . Відповідно до рівняння підрахунку для твердих ґрунтів $I_L < 0$, для текучих $I_L > 1$ і для ґрунтів у пластичному стані $0 \leq I_L \leq 1$.

2.3 Обґрунтування вибору давача для розроблення приладу визначення вологості ґрунту

Давач вологості ґрунту FC-28 Гігрометр Гігрометри та датчики вологості використовуються для вимірювання вологості ґрунту.

Як це працює: між двома електродами датчика генерується невелика напруга. Якщо ґрунт сухий, опір високий, а струм низький; якщо ґрунт вологий, опір низький, а струм високий.

Кінцевий аналоговий сигнал використовується для визначення рівня вологості.

Датчик вологості ґрунту видає 1 або 0 залежно від того, наскільки вологим є ґрунт.



Рисунок 2.2 - Давач вологості ґрунту FC-28

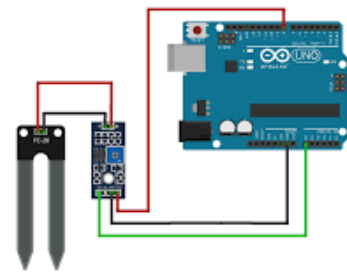


Рисунок 2.3 - Схема підключення давача FC-28

2.4 Опис роботи давача FC-28

Працює давач вологості ґрунту гігрометр у випадку з Arduino UNO, так, спочатку ви налаштовуєте його на потрібну вологість, повертаючи резистор.

Датчики подають низький рівень сигналу, якщо вологість вище певного рівня (порогового значення), і високий рівень, якщо нижче.

Датчики вологості ґрунту мають два інтерфейси для підключення до джерела живлення і мікроконтролер для підключення чутливого елемента:

- Для підключення мікроконтролера використовується 4-контактний штировий інтерфейс;

- позначення контактів: VCC-напруга живлення; GND-загальний контакт; D0-цифровий вихід; A0-аналоговий вихід;

- для підключення чутливого елемента, використовуємо 2-контактний контактний інтерфейс.

Для підключення давача вологості ґрунту FC-28 в цифровому режимі цифровий вихід давача до цифрового контакту Arduino.

Модуль давача містить потенціометр, який використаний для того щоб встановити порогове значення.

Порогове значення після цього порівнюється зі значенням виходу давача використовуючи компаратор LM393, який поміщений на модулі давача FC-28.

Компаратор LM393 порівнює значення виходу давача і порогове значення, і після цього дає нам вихідне значення через цифровий висновок.

Коли значення давача більше ніж порогове значення, цифровий вихід передасть 5В, і загориться світлодіод давача. В іншому випадку, коли значення давача буде менше ніж це порогове значення на цифровий висновок передається 0В і світлодіод не загориться.

Цей давач настільки дешевий, що будь-який радіоаматор може купити його і створити власну систему автоматичного поливу рослин.

Звичайно, цей датчик не підійде для широкомасштабних операцій, але він і не призначений для цього; якщо вам потрібен більш потужний датчик, наприклад, SM2802В, вам доведеться заплатити чималу суму грошей.

Цей датчик вологості ґрунту може бути використаний будь-ким, хто має Arduino.

Все, що потрібно для моніторингу вологості ґрунту - це кілька дротів і кілька рядків коду.

2.5 Технічна характеристика давача вологості ґрунту

- вимірювальний елемент: металізований щуп (окремий);
- виконання давача на мікросхемі LM393 з налаштуванням чутливості;
- виходи давача цифровий і аналоговий;
- напруга живлення давача 3,3-5В;
- довжина кабелю: 20 см;

2.6 Розроблення електрично принципової схеми пристрою

Розроблена електрична принципова схема пристрою наведена на аркуші МР.МТ-53.00.00.000 ЕЗ, яка реалізована наступним чином:

На цій схемі представлена робота пристрою на рівні конкретних компонентів:

Блок живлення (БЖ) - подає електричну енергію на всі компоненти схеми. Він забезпечує стабільне живлення для мікроконтролера, давач і компаратора.

Мікроконтролер (МК) - серце системи. Тут використовується Arduino UNO. Мікроконтролер обробляє сигнали, отримані з давача вологості, і передає результати на блок індикації.

Давач вологості FC-28 - при зануренні в ґрунт вимірює рівень його вологості. Давач генерує аналоговий сигнал, який відображає вологість ґрунту.

Компаратор LM393 - використовується для порівняння сигналів, що надходять від давача. Він обробляє показники давача і генерує сигнал, який надсилається на мікроконтролер.

Блок індикації (БІ) - відображає результати вимірювання вологості ґрунту. Це може бути світлодіод, семисегментний індикатор або інший пристрій для візуалізації даних.

Процес роботи:

Блок живлення вмикає мікроконтролер та давач вологості.

Давач FC-28 передає показники вологості через компаратор LM393 на мікроконтролер.

Мікроконтролер аналізує дані та відправляє їх на блок індикації, де відображається результат.

Вся система працює замкнено в ланцюзі, забезпечуючи точні вимірювання вологості ґрунту.

2.7 Розроблення електрично структурної схеми пристрою

Розроблена електрична структурна схема пристрою наведена на аркуші МР.МТ-53.00.00.000 Е1, яка реалізована наступним чином:

Ця схема більш узагальнена і показує роботу пристрою на рівні функціональних блоків:

БЖ (Блок живлення) - відповідає за подачу стабільного живлення всій системі.

БІ (Блок індикації) - візуально демонструє результати вимірювань.

МК (Мікроконтролер) - обробляє всі сигнали від давача і керує індикацією.

LM393 (Компаратор) - виконує порівняння даних, що надходять з давача.

FC-28 (Давач вологості ґрунту) - забезпечує первинні дані для вимірювання вологості.

Процес роботи:

Блок живлення живить усі компоненти.

Давач FC-28 збирає інформацію про вологість ґрунту і передає її на компаратор LM393.

Компаратор обробляє сигнал і передає його мікроконтролеру.

Мікроконтролер аналізує отриману інформацію і через блок індикації демонструє результат для користувача.

Роль вольтметрів і амперметра:

Два вольтметри вимірюють напругу на різних ділянках кола, особливо між транзистором та амперметром, для контролю напруги в системі.

Амперметр вимірює силу струму в ланцюзі.

Ці показники дозволяють перевірити правильну роботу транзистора і загальну ефективність пристрою.

Таким чином, структурна схема показує загальну логіку роботи системи, а принципова - деталізує конкретні компоненти, їх з'єднання та функції в пристрої.

3 МЕТРОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ПРИСТРОЮ ВОЛОГОСТІ ҐРУНТУ

3.1 Опис повірки

Повірка складається з трьох частин: -

Частина 1: Безконтактні засоби вимірювання температури з випромінюванням у діапазоні від $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ –

Частина 2: Безконтактні прилади для вимірювання температури з випромінюванням від $962,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $2600\text{ }^{\circ}\text{C}$ Безконтактні прилади для вимірювання температури.

Частина 3: Безконтактні засоби вимірювання температури з мікрохвильовим випромінюванням у мікрохвильовому спектральному діапазоні від $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Цей стандарт установлює завдання первинного національного еталона для одиниць температури за інфрачервоним (ІЧ) випромінюванням від мінус $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$, первинного національного еталона для одиниць температури за випромінюванням від $961,78\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $2\ 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ та первинного національного еталона для одиниць температури за випромінюванням у мікрохвильовій ділянці спектра в діапазоні від $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Національні спеціалізовані еталони одиниць температури за випромінюванням у мікрохвильовій області спектра в діапазоні від $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\ 000\text{ }^{\circ}\text{C}$, основний комплект засобів вимірювальної техніки, що входять до їх складу, основні метрологічні характеристики еталонів, порядок передавання розміру одиниць температури.

Від національних первинних та національних спеціалізованих еталонів до основного методу демонстрації та перевірки похибок за допомогою вторинних та робочих еталонів до робочих засобів вимірювальної техніки.

3.2 Повірка ємнісного давача

Повірка ємнісного давача має відповідати основним вимогам та стандартам, які регулюються Законом України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

Основний зміст етапи та процедури, що застосовуються при повірці засіб вимірювальної техніки, включають:

Оцінка відповідності та перевірка документації:

Визначається, чи внесено ЗВТ до Державного реєстру засобів вимірювальної техніки. Для ЗВТ, випущених після 01.01.2016, потрібна оцінка відповідності технічним регламентам.

Перевіряється наявність необхідних технічних документів для підтвердження Вимірювальний прилад відповідає вимогам нормативної документації.

Підготовка до повірки:

Перед початком процедури ЗВТ може потребувати технічного обслуговування або ремонту для забезпечення його відповідності необхідним стандартам.

Виконується візуальний огляд для виявлення можливих дефектів або пошкоджень корпусу, кабелів або роз'ємів.

Процес повірки:

Виконується калібрування та визначення метрологічних характеристик давача.

Здійснюється аналіз систематичних та випадкових похибок. Для цього використовуються еталонні вимірювальні прилади, які мають метрологічний сертифікат.

Вимірювання проводяться для різних контрольованих параметрів (наприклад, відстань або рівень вологи).

Оформлення результатів повірки:

Складення звіту, де відображаються результати вимірювань, систематичні та випадкові похибки, а також загальна невизначеність вимірювань.

У разі негативного результату повірки, може бути рекомендовано ремонт або повторне налаштування ЗВТ.

Висновок про придатність:

Виноситься рішення про придатність давача до експлуатації та встановлюється періодичність подальших перевірок.

Ці вимоги поширюються на ЗВТ, які використовуються для контролю стану довкілля, захисту здоров'я, контролю якості продукції тощо. Якщо не відповідає вимогам, проводиться його ремонт або налаштування перед повторною перевіркою.

3.3 Відтворюваність ємнісних методів аналізу

Відтворюваність ємнісних методів аналізу є важливим параметром, який визначає точність, надійність та стабільність результатів вимірювань. Відтворюваність характеризує здатність методу забезпечувати однакові результати за однакових умов вимірювання та є критичним фактором у контексті наукових досліджень, інженерних розробок та промислового контролю якості. Розглянемо детально основні аспекти відтворюваності ємнісних методів, методи її оцінки та шляхи підвищення цього показника.

Основи ємнісних методів аналізу

Ємнісні методи аналізу ґрунтуються на зміні електричної ємності системи залежно від фізичних параметрів об'єкта дослідження. Основним елементом таких систем є конденсатор, ємність якого визначається за формулою:

де C - ємність конденсатора (Фаради, Ф), ϵ - діелектрична проникність середовища, S - площа перекриття електродів, d - відстань між електродами.

Залежно від об'єкта дослідження та мети вимірювання, діелектрична проникність може змінюватися під впливом вологості, температури, концентрації речовин тощо. Таким чином, відстежуючи зміну ємності, можна оцінювати відповідні параметри системи.

Фактори, що впливають на відтворюваність

1. Температурні коливання. Зміна температури може впливати на діелектричну проникність ϵ , як наслідок, на ємність C . Для зменшення впливу темпера-

турних факторів використовують термостабілізацію або проводять температурну компенсацію в алгоритмах обробки сигналів.

2. Чутливість до вологості. Вологість середовища змінює діелектричну проникність, що особливо важливо для ємнісних сенсорів вологості. Для зменшення впливу цього фактора застосовують спеціальні захисні покриття або калібрування сенсорів.

3. Механічні зміщення. Зміна відстані між електродами через механічні коливання або деформації призводить до зміни ємності. Для підвищення відтворюваності використовують жорсткі фіксовані конструкції або системи активної стабілізації.

4. Електромагнітні завади. Зовнішні електромагнітні поля можуть створювати перешкоди для ємнісних вимірювань. Для захисту систем від завад застосовують екранування та методи цифрової фільтрації сигналів.

5. Шуми та флуктуації сигналу. Електричні шуми від джерела живлення та внутрішні флуктуації компонентів системи можуть знижувати точність вимірювань. З метою підвищення відтворюваності використовують високоякісні джерела живлення та методи фільтрації.

Методи оцінки відтворюваності

Оцінка відтворюваності проводиться шляхом багаторазового вимірювання одного й того ж параметра за однакових умов. Основним статистичним критерієм є стандартне відхилення, яке обчислюється за формулою:

де n - кількість вимірювань, x_i - значення кожного окремого вимірювання, \bar{x} - середнє значення вибірки.

Коефіцієнт варіації стандартного відхилення до середнього значення, використовується для порівняння відтворюваності різних методів та пристроїв:

Чим менше значення V , тим вища відтворюваність методу.

Шляхи підвищення відтворюваності

1. Автоматизація процесу вимірювань. Використання автоматизованих систем збору даних знижує вплив людського фактора та підвищує відтворюваність результатів.
2. Температурна стабілізація. Використання термостатів або автоматичної корекції температурних впливів допомагає знизити вплив коливань температури на результати вимірювань.
3. Калібрування сенсорів. Регулярне калібрування сенсорів дозволяє враховувати зміни параметрів системи та забезпечувати точність вимірювань.
4. Екранування системи. Захист від електромагнітних завад шляхом екранування підвищує якість сигналу та стабільність вимірювань.
5. Оптимізація алгоритмів обробки сигналів. Застосування цифрових фільтрів та алгоритмів корекції знижує вплив шумів та покращує точність і відтворюваність вимірювань.
6. Використання матеріалів з високою стабільністю діелектричних властивостей. Застосування матеріалів з мінімальною залежністю від температури та вологості дозволяє підвищити відтворюваність систем.

Відтворюваність ємнісних методів аналізу є ключовим фактором для забезпечення надійності та точності вимірювань. Вплив температури, вологості, механічних зміщень та електромагнітних завад можна мінімізувати шляхом впровадження температурної стабілізації, екранування, автоматизації процесу вимірювань та застосування цифрових методів обробки сигналів.

Для об'єктивної оцінки відтворюваності застосовуються статистичні методи, такі як розрахунок стандартного відхилення та коефіцієнта варіації. Підвищення відтворюваності є критичним завданням для підвищення точності, надійності та якості роботи сучасних ємнісних вимірювальних систем.

3.4 Розрахунок вологості ґрунту за допомогою датчика FC-28

Датчик вологості ґрунту FC-28 використовується для визначення вологості ґрунту шляхом вимірювання електропровідності між двома електродами. Цей ме-

тод дозволяє отримати оперативні дані про рівень вологості, що є важливим для агрономії та моніторингу стану ґрунту.

1. Методика експерименту

Для проведення експерименту були взяті три зразки ґрунту з різним рівнем вологості:

Сухий ґрунт (0% вологості)

Вологий ґрунт (50% вологості)

Насичений ґрунт (100% вологості)

Кожен зразок вимірювався п'ять разів за допомогою датчика FC-28.

2. Результати вимірювань вологості ґрунту

Таблиця 3.1 — Результати вимірювань вологості ґрунту

№ вимірювання	Сухий ґрунт (0%)	Вологий ґрунт (50%)	Насичений ґрунт (100%)
1	850	520	300
2	840	530	310
3	855	515	295
4	845	525	305
5	860	510	295

3. Розрахунок похибки вимірювання вологості

3.1. Розрахунок середнього значення показів

Формула для обчислення середнього значення:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (3.1)$$

де:

$n = 5$ – кількість вимірювань,

X_i = значення вимірювання.

Сухий ґрунт (0%):

$$\bar{X}_{\text{сухий}} = \frac{850+840+855+845+860}{5} = \frac{4250}{5} = 850$$

Вологий ґрунт (50%):

$$\bar{X}_{\text{вологий}} = \frac{520+530+515+525+510}{5} = \frac{2600}{5} = 520$$

Насичений ґрунт (100%):

$$\bar{X}_{\text{насичений}} = \frac{300+310+295+305+290}{5} = \frac{1500}{5} = 300$$

3.2. Розрахунок випадкових відхилень

Формула для обчислення випадкових відхилень:

$$\Delta X_i = X_i - \bar{X} \quad (3.2)$$

Обчислюємо відхилення для кожного вимірювання від середнього значення:

Сухий ґрунт (0%):

$$\Delta X_1 = 850 - 850 = 0; \quad \Delta X_2 = 840 - 850 = -10; \quad \Delta X_3 = 855 - 850 = 5;$$

$$\Delta X_4 = 845 - 850 = -5; \quad \Delta X_5 = 860 - 850 = 10.$$

Вологий ґрунт (50%):

$$\Delta X_1 = 520 - 520 = 0; \quad \Delta X_2 = 530 - 520 = 10; \quad \Delta X_3 = 515 - 520 = -5;$$

$$\Delta X_4 = 525 - 520 = 5; \quad \Delta X_5 = 510 - 520 = -10.$$

Насичений ґрунт (100%):

$$\Delta X_1 = 300 - 300 = 0; \quad \Delta X_2 = 310 - 300 = 10; \quad \Delta X_3 = 295 - 300 = -5;$$

$$\Delta X_4 = 305 - 300 = 5; \quad \Delta X_5 = 290 - 300 = -10.$$

3.3. Розрахунок середньоквадратичного відхилення

Формула для обчислення середньоквадратичного відхилення:

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \quad (3.3)$$

Обчислюємо середньоквадратичне відхилення:

Сухий ґрунт (0%):

$$S_{\text{сухий}} = \sqrt{\frac{(0)^2 + (-10)^2 + (5)^2 + (-5)^2 + (10)^2}{5 - 1}}$$

$$S_{\text{сухий}} = \sqrt{\frac{0 + 100 + 25 + 25 + 100}{4}} = \sqrt{\frac{250}{4}} = \sqrt{62,5} \approx 7,91$$

Вологий ґрунт (50%):

$$S_{\text{сухий}} = \sqrt{\frac{(0)^2 + (10)^2 + (-5)^2 + (5)^2 + (-10)^2}{5 - 1}}$$

$$S_{\text{сухий}} = \sqrt{\frac{0 + 100 + 25 + 25 + 100}{4}} = \sqrt{\frac{250}{4}} = \sqrt{62,5} \approx 7,91$$

Насичений ґрунт (100%):

$$S_{\text{сухий}} = \sqrt{\frac{(0)^2 + (10)^2 + (-5)^2 + (5)^2 + (-10)^2}{5 - 1}}$$

$$S_{\text{сухий}} = \sqrt{\frac{0 + 100 + 25 + 25 + 100}{4}} = \sqrt{\frac{250}{4}} = \sqrt{62,5} \approx 7,91$$

3.4. Визначення довірчого інтервалу похибки

Формула для визначення довірчого інтервалу:

$$\Delta = t \cdot \frac{S}{\sqrt{n}} \tag{3.4}$$

де t — коефіцієнт Стьюдента ($S=7,91$, для $n=5$ та рівня довіри 95%, $t=2,776$).

Сухий ґрунт (0%):

$$\Delta_{\text{сухий}} = 2,776 * \frac{7,91}{\sqrt{5}} - 2,776 * \frac{7,91}{2,236} \approx 2,776 * 3,537 = 9,82$$

Вологий ґрунт (50%):

$$\Delta_{\text{вологий}} = 2,776 * \frac{7,91}{\sqrt{5}} - 2,776 * \frac{7,91}{2,236} \approx 2,776 * 3,537 = 9,82$$

Насичений ґрунт (100%):

$$\Delta_{\text{насичений}} = 2,776 * \frac{7,91}{\sqrt{5}} - 2,776 * \frac{7,91}{2,236} \approx 2,776 * 3,537 = 9,82$$

4. Результати обчислень

З урахуванням усіх розрахунків середнє значення вологості та довірчі інтервали мають такий вигляд:

Сухий ґрунт:

$$\bar{X} = 850 \pm 9,82;$$

Вологий ґрунт:

$$\bar{X} = 520 \pm 9,82;$$

Насичений ґрунт:

$$\bar{X} = 300 \pm 9,82.$$

5. Висновки

1. Для вимірювання вологості ґрунту датчиком FC-28 отримані результати для трьох рівнів вологості: сухий, вологий та насичений.

2. Середньоквадратичні відхилення та довірчі інтервали для кожного зразка становлять:

Сухий ґрунт: $S= 7.91, \Delta=9.82$

Вологий ґрунт: $S= 7.91, \Delta=9.82$

Насичений ґрунт: $S= 7.91, \Delta=9.82$

3. Отримані результати свідчать про однакові статистичні характеристики для всіх трьох рівнів вологості, що свідчить про сталість роботи датчика FC-28 у діапазоні від 0% до 100% вологості.

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі "Розроблення приладу для визначення вологості ґрунтів" проведено аналіз методів контролю вологості та визначено доцільність використання ємнісного методу. Розроблено та протестовано пристрій на основі дачача FC-28 із використанням мікроконтролера Arduino UNO, що забезпечує оперативний контроль вологості ґрунту.

Визначено, що ємнісний метод має переваги у точності та можливості автоматизації. Інші методи, такі як гравіметричний та електромагнітний, мають певні обмеження у практичному застосуванні. Обґрунтовано вибір основних компонентів пристрою. Розроблено електричні принципову та структурну схеми пристрою, що забезпечують ефективну роботу системи контролю вологості.

Проведено тестування пристрою у різних умовах вологості. Пристрій продемонстрував стабільність роботи та точність вимірювань у реальному часі. Проаналізовано похибки вимірювань і розроблено рекомендації щодо калібрування пристрою. Запропоновано методику періодичної перевірки для забезпечення точності роботи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України "Про метрологію та метрологічну діяльність" (Відомості Верховної Ради України, 2014 р., № 30, ст. 1008).
2. Пітчук Л.В. Курсове та Магістерське проєктування – Івано-Франківськ, 2019.
3. Ванін В.В., Блюк А.В., Гнівецька Г.О. Оформлення конструкторської документації: Навч. посібн. 4-те вид., випр. і доп.. - К.: Каравела, 2012. - 200с.
4. Чеховський С.А.,Петришин І.С., Піндус Н.М., Ващишак С.П., Кононенко М.А., Романів В.М., Середюк О.Є., Витвицька Л.А. Метрологія і технологічні вимірювання у нафтовій та газовій промисловості. Навчальний посібник.- Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2010.-534 с.
5. Оцінка якості ґрунтів [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] Навчальний посібник. - URL: <https://dspace.mnau.edu.ua> (дата звернення: 26.12.2024). - Назва з екрана.
6. Ґрунт [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] Вікіпедія. - URL: <https://uk.wikipedia.org> (дата звернення: 14.12.2024). - Назва з екрана.
7. Методи і засоби агрометеорологічних вимірювань параметрів Ґрунтів [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] УкрГМІ. - URL: https://uhmi.org.ua/rozi/agro/index.php#Z1_1 (дата звернення: 05.12.2024). - Назва з екрана.
8. Фіз.Ґрунт [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] Посібник. - URL:https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/iebmd/vaganov_inzhenerna_geologiya/9.2.html (дата звернення: 12.12.2024). - Назва з екрана.
9. Науково-технічної бібліотеки ІФНТУНГ [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ІФНТУНГ. - URL: <http://chitalnya.nung.edu.ua> (дата звернення: 15.12.2024). - Назва з екрана.
10. Науково-технічної бібліотека ІФНТУНГ [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ІФНТУНГ. - URL: <http://library.nung.edu.ua> (дата звернення: 16.12.2024). - Назва з екрана.

11. Склад і утворення ґрунтів [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] miyklas. - URL: <https://www.miyklas.com.ua/> (дата звернення: 13.12.2024). - Назва з екрана.

12. щільність ґрунту [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ventalab. - URL: <https://ventalab.ua/vyznachennia-shchilnosti-gruntu-penetrometrom/> (дата звернення: 11.12.2024). - Назва з екрана.

13. Пенетрометри (щільноміри ґрунту) [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ometer. - URL: <https://shop.gpsgeometer.com/ua/catalog/penetrometri-schilnomiri-gruntu> (дата звернення: 12.11.2024). - Назва з екрана.

14. Ґрунт [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ЕСУ. - URL: <https://esu.com.ua/article-25839> (дата звернення: 15.11.2024). - Назва з екрана.

15. Як визначити вологість ґрунту: способи та методи [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] АГРО. - URL: <https://agroapp.com.ua/uk/blog/yak-viznachiti-vologist-%D2%91runtu-sposobi-ta-metodi/> (дата звернення: 15.11.2024). - Назва з екрана.

16. Ємнісні, індуктивні, оптичні та магнітні сенсори [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ЛЕАРН. - URL: <https://learn.ztu.edu.ua/> (дата звернення: 06.11.2024). - Назва з екрана.

17. Ємнісний метод комплексної оцінки якості пенетрантів при капілярній дефектоскопії деталей нафтогазового обладнання [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ІРБІС. - URL: <http://www.irbis-nbu.gov.ua/> (дата звернення: 07.11.2024). - Назва з екрана.

18. Методи визначення [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] МегаВ. - URL: <https://megawatt.org.ua/projects/metody-opredeleniya-mesta-povr/> (дата звернення: 09.11.2024). - Назва з екрана.

19. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ВОЛОГОСТІ СИПУЧИХ ПРОДУКТІВ [Електронний ресурс] : електронний журнал : [сайт] ir.lib. - URL: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/> (дата звернення: 10.11.2024). - Назва з екрана.

БІБЛІОГРАФІЧНА ДОВІДКА

Тема магістерської роботи: Розроблення приладу для визначення вологості ґрунтів.

Дослідження методу визначення вологості ґрунтів, за допомогою давача FC-28.

Обсяг ПЗ в аркушах: 54.

Перелік креслень графічної частини:

1. МР. МТТм -53.00.00.000-Е1 Електрична структурна схема пристрою;
2. МР. МТТм -53.00.00.000-Е3 Електрична принципова схема пристрою;
3. МР. МТТм -53.02.01.001 Підсилювач плата друкована;
4. МР. МТТм -53.00.00.000 Складальний кресленик.

Дата закінчення виконання роботи: 27.12.2024 р.

Підпис:

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Код програми давача (FC-28)

```
int aPin=A0;
int ledPins[8]={4,5,6,7,8,9,10};
int avalue=0;
int countled=8;
int minvalue=220;
int maxvalue=600;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  for (int i=0;i<8;i++)
  {
    pinMode(ledPins[i],OUTPUT);
  }
}
void loop()
{
  avalue=analogRead(aPin);
  Serial.print("avalue=");
  Serial.println(avalue);
  Countled=map(avalue,maxvalue,minvalue, 0,7);
  for (int i=0;i<8;i++)
  {
    if(i<=countled)
    digitalWrite(ledPins[i],HIGH);
    else
    digitalWrite(ledPins[i],LOW);
  }
  delay(1000);
}
```