

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО МАШИНОБУДУВАННЯ**

ПРОЕКТУВАННЯ МЕХАТРОННИХ СИСТЕМ АПВ

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
до виконання лабораторних робіт**

для здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня спеціальності
Н7 «Агроінженерія» за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»

УХВАЛЕНО
на засіданні кафедри
сільськогосподарського
машинобудування
Протокол № 1
від «27» серпня 2025 р.

Кропивницький, 2025

Проектування мехатронних систем АПВ : методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт для здобувачів другого (магістерського) освітнього рівня вищої освіти спец. Н7 "Агроінженерія" за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» / [уклад.: Д. І. Петренко, С. М. Лещенко, О. М. Васильковський, В. В. Амосов, Ю. В. Мачок] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. с.-г. машинобуд. – Кропивницький : ЦНТУ, 2025. – 112 с.

Укладачі: Петренко Д.І., кандидат технічних наук, доцент (ЦНТУ);

Лещенко С.М., кандидат технічних наук, доцент (ЦНТУ);

Васильковський О.М., кандидат технічних наук, професор (ЦНТУ);

Амосов В.В., кандидат технічних наук, доцент (ЦНТУ);

Мачок Ю.В., кандидат технічних наук, доцент (ЦНТУ).

Рецензенти: Кириченко А.М., доктор технічних наук, професор (ЦНТУ);

Сало В.М., доктор технічних наук, професор (ЦНТУ).

Зміст

Тема лабораторної роботи	Стор.
Лабораторна робота № 1 Використання сенсорів в мехатронних модулях і системах машин та обладнанні агропромислового виробництва	4
Лабораторна робота № 2 Використання мехатронних систем контролю та керування роботою висівних апаратів сівалок	16
Лабораторна робота № 3 Використання мехатронних систем контролю та керування роботою трактора	28
Лабораторна робота № 4 Використання мехатронних систем контролю та керування зернозбирального комбайна	38
Лабораторна робота № 5 Програмування систем керування технологічними процесами агропромислового виробництва при проектуванні мехатронних систем в середовищі ARDUINO	52
Лабораторна робота № 6 Використання датчиків і сенсорів в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва при проектуванні мехатронних систем на базі середовища Arduino	68
Лабораторна робота № 7 Проектування системи управління електроприводами мехатронних систем машин та обладнання АПВ на базі середовища Arduino	87
Лабораторна робота № 8 Мехатронна установка для вивчення кінематики ротаційних робочих органів сільськогосподарських машин	103

Лабораторна робота № 1

Використання сенсорів в мехатронних модулях і системах машин та обладнанні агропромислового виробництва

Мета роботи – ознайомлення з особливостями використання датчиків у мехатронних системах машин та обладнанні агропромислового виробництва.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: наочні стенди, мультимедійне обладнання.

Загальні відомості

Сьогодні важко уявити сільське господарство без використання технологій, які забезпечують реалізацію систем розумного агропромислового виробництва. В умовах сучасного виробництва фермери мають змогу використовувати технологічне оснащення, яке дозволяє більш ефективно контролювати процеси як в тваринництві, так і при вирощуванні сільськогосподарських культур. При цьому одним з найважливіших є накопичення великих масивів даних, зібраних інтелектуальними сільськогосподарськими датчиками.

Використання датчиків у агропромисловому виробництві найбільше поширене в таких сферах як:

- моніторинг кліматичних умов, який реалізується метеостанціями, які поєднують у собі комплекс датчиків (температури, вологості, тиску, напрямку і швидкості вітру, CO₂, якості повітря та ін.);
- моніторинг закритих приміщень, зокрема теплиць, який реалізується з допомогою датчиків мікроклімату, що надають точну інформацію в режимі реального часу, зокрема про рівень освітленості, температуру, стан ґрунту та вологості, загазованість тощо;
- контроль і керування процесами в рослинництві, який реалізується як датчиками моніторингу стану ґрунту (температура, вологість, хімічний склад та ін.) і посівів (дистанційне зондування), так і датчиками виконавчих механізмів сільськогосподарської техніки (глибини, тензометричні, телеметричні тощо);
- контроль і керування процесами в тваринництві – від моніторингу мікроклімату до керування виконавчими механізмами машин і обладнання.

Розглянемо найбільш розповсюджені датчики в агропромисловому виробництві.

Види температурних датчиків, які використовуються в кліматичних системах

В основі процесу вимірювання температури лежить використання залежності фізичних властивостей певного матеріалу (об'єму, електричного опору, рівня випромінювання тощо) від величини температури. Для автоматизації системи моніторингу і керування технологічними процесами найбільш доцільно температурні дані передавати як електричний сигнал, який може бути постійним або дискретним. Відповідно до цього розрізняють аналогові та цифрові види датчиків температури (рис. 1.1). Обидва види знаходять своє застосування в кліматичних системах.



Рис. 1.1 – Види кліматичних термодатчиків [1]

Аналогові термодатчики.

Серед усіх видів аналогових термодатчиків найбільше застосування в кліматичних системах знайшли терморезистори і термопари.

Терморезистор, або термістор, являє собою напівпровідниковий резистор, який при нагріванні чи охолодженні змінює свій активний електричний опір. Терморегулятор живить терморезистор опорною напругою (наприклад, 3,3 В), яку той зменшує до певної величини, у залежності від температури середовища (наприклад, при 25 °С – до 2,15...2,16 В). Надалі терморегулятор перетворює цю зміну опорної напруги в температуру, після чого приймає рішення про вмикання чи вимикання кліматичного обладнання [1]. Терморезистори випускаються у вигляді стрижнів, трубок, дисків, шайб і намистинок (рис. 1.2).

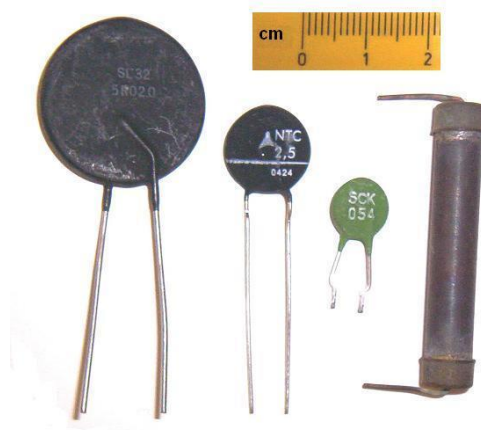


Рис. 1.2 – Терморезистори

Розрізняють два види терморезисторів:

- позистори, або РТС-термістори (Positive Temperature Coefficient);
- NTC-термістори (Negative Temperature Coefficient).

У позисторах зі зростанням температурних значень збільшується активний електричний опір, а в NTC-термісторі – навпаки зменшується. NTC-термістори частіше застосовуються для роботи разом з терморегуляторами.

Іншим видом аналогових датчиків є термопара. Цей термодатчик являє собою пару з двох ізольованих провідників різнорідних металів, що з'єднані між собою на одному кінці та утворюють два контакти на іншому (рис. 1.3). Якщо ці кінці знаходяться в різних температурних умовах, то в замкнутому колі з таких різнорідних провідників виникає невелика напруга. Терморегулятор вимірює цю напругу і за допомогою відповідних алгоритмів дізнається значення температури. Діапазон вимірювання становить $-270\dots+1820$ °С, залежно від того, з якого металу виготовлено кожен із провідників.

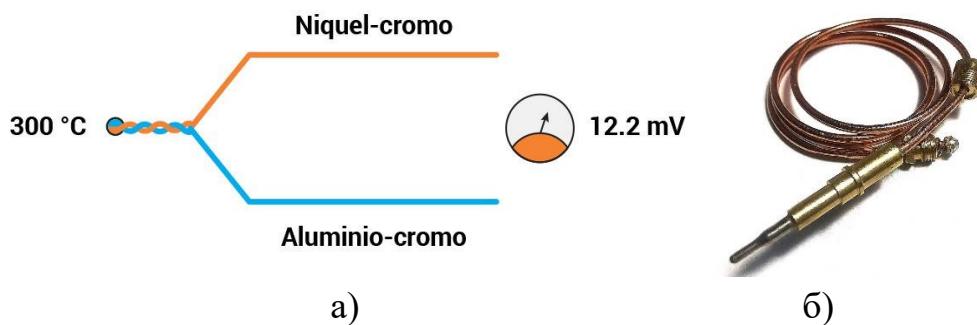


Рис. 1.3 – Принципова схема (а) та загальний вигляд термопари Honeywell М 10, 900 мм

Аналоговий сигнал дозволяє отримати достатньо точні дані вимірювання. Однак, за своєю природою він є досить слабким і потребує підсилення. Тому використання аналогових термодатчиків на великих відстанях (сотні метрів) є проблематичним, а інколи й узагалі неможливим.

Цифрові датчики температури.

Сигнал цифрових термодатчиків представлений у вигляді бінарного коду. Такі пристрої відрізняються від аналогових значно складнішою схемотехнікою. До їх конструкції входять температурний сенсор (наприклад, температурно-залежний генератор), аналогово-цифровий перетворювач, оперативна пам'ять тощо.

Перевагою таких пристроїв є більш висока точність вимірювання (від 0,5 і навіть до 0,0625 °С), що дуже важливо, наприклад для інкубаторів. Також вони характеризуються достатньо широким температурним діапазоном (наприклад, модель DS18B20 може вимірювати від -55 до $+125$ °С) (рис. 1.4). Широкий температурний діапазон є доречним для роботи з електричними котлами.

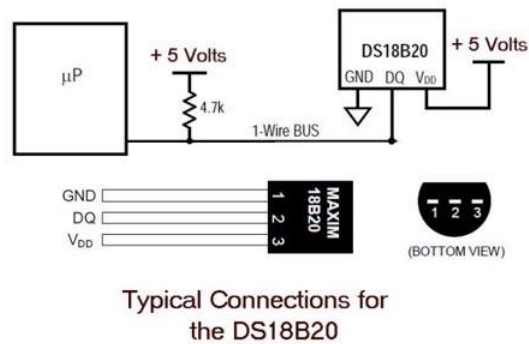
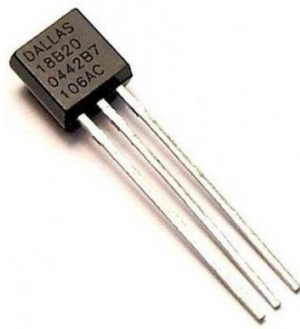


Рис. 1.4 – Загальний вигляд і схема підключення цифрового датчика температури 18B20 (DS18B20) від компанії Dallas

Деякі терморегулятори можуть працювати тільки з аналоговими NTC-терморезисторами, інші – тільки з цифровими термодатчиками, а окремі термостати сумісні з обома їх видами.

Датчики визначення параметрів ґрунтового середовища

Датчик вологості і температури ґрунту (рис. 1.5) призначений для вимірювання температури та відсотку об'ємного вмісту води в зразку ґрунту – обсягу ґрунтової води, що міститься в одиниці загального обсягу [2].

Наявність вологи в ґрунті дуже сильно впливає на її діелектричну проникність, так як показники діелектричної проникності води значно більші (не менше ніж в 20 разів), ніж інших компонентів ґрунту. Датчик об'ємної вологості використовує електричну ємність для вимірювання діелектричної проникності навколишнього ґрунту. Електронна схема всередині зонда вимірює температуру, а також перетворює вимірювану ємність в пропорційну їй напругу. Інформація про поточну температуру і напругу може бути зчитана з допомогою стандартного однопровідного цифрового інтерфейсу 1-Wire [2].



Рис. 1.5 – Датчик вологості і температури ґрунту Arleos [2]

Датчик працює на частоті 70 МГц, що дозволяє звести до мінімуму вплив солоності і структури ґрунту і використовувати його для вимірювання об'ємної вологості від 0 до 100% практично в будь-якому середовищі – мінеральному ґрунті, торфі, теплоізоляції, тирсі та ін. При виборі місця установки важливо пам'ятати, що датчик обчислює середній об'ємний вміст води по всій довжині активної частини зонда, беручи до уваги простір радіусом близько 2 см навколо

його електродів. Таким чином, будь-які повітряні зазори, сторонні предмети (камені, частини рослин і т.п.), або надмірне ущільнення ґрунту навколо зонда може сильно вплинути на показання.

Не допускається установка датчика поблизу великих металевих об'єктів (наприклад, стовпів, або кілків), або підземних комунікацій. Такі об'єкти можуть вплинути на електромагнітне поле зонда і змінити вихідні дані. Горизонтальна орієнтація електродів зонда гарантує, що вимір вологості ґрунту проводиться на певній глибині.

Тензіометр – застосовують для контролю вологозапасів на зрошуваних землях із різним ґрунтовим покривом: від субстрату, піщаного і супіщаного, до суглинкового і глинистого незалежно від глибини залягання ґрунтових вод, способу і техніки поливу, а також виду агрокультур, у вегетаційний період вирощування.

Професійний іригаційний електронний тензіометр AQUAMETER PRO TMA (рис. 1.6) – сучасний комбінований вологомір ґрунту з двома вимірювачами тиску – високочутливим електронним датчиком вакууму (основний) і гліцеринним вакуумметром (додатковий) для надточного вимірювання вологості ґрунту і рівня її доступності для рослин [3].



Рис. 1.6 – Тензіометр AQUATEC іригаційний, серія AQUAMETER PRO, модель T GL [3]: 1 – труба з керамічним зондом; 2 – корпус; 3 – механічний вакуумметр; 4 – вентиляційний клапан; 5 – оглядова ділянка; 6 – кран-засувка з кришкою

Тензіометри AQUATEC мають спеціальну конструкцію керамічного зонду з відповідним розміром пор, який виготовлений з високоякісних інертних матеріалів, надійність якого забезпечується системою контролю якості компанії «AQUATEC». Мікропористий керамічний зонд характеризується тиском барботування та водопроникністю. Барботування – проникнення повітря через пори зонда, визначає діапазон вимірювання тензіометричного тиску – інтервал, в якому може працювати тензіометр, а водопроникність – швидкість встановлення рівноваги між тиском всередині тензіометра і тиском вологи в ґрунті.

Тензіометри AQUATEC мають спеціальну конструкцію керамічного зонда з відповідним розміром пор, який виготовлений з високоякісних інертних матеріалів, надійність якого забезпечується системою контролю якості компанії «AQUATEC». Мікропористий керамічний зонд характеризується тиском барботування та водопроникністю. Барботування – проникнення повітря через пори зонда, визначає діапазон вимірювання тензіометричного тиску – інтервал, в якому може працювати тензіометр, а водопроникність – швидкість встановлення рівноваги між тиском всередині тензіометра і тиском вологи в ґрунті.

Тензіометр AQUAMETER PRO моделі T GL містить два основні компоненти:

1 – керамічний зонд, вбудований у жорстку полівінілхлоридну (ПВХ) трубу з гумовою прокладкою і різьбовою муфтою на її кінці. Таке виготовлення керамічного зонда з трубою, що викручується, передбачає можливість його знімання для швидкої заміни у разі пошкодження або для зміни робочої глибини встановлення тензіометра;

2 – корпус (ПВХ), який містить вимірювач тиску – гліцериновий вакуумметр із кольоровою шкалою і вентиляційним клапаном, оглядову ділянку, яка виготовлена з прозорої ПВХ труби для візуального контролювання руху вакууму і необхідності дозаправлення приладу чистою водою, і кульовий кран-засувку із кришкою для дозаправлення приладу (рис. 1.6). Кольорова інтуїтивно зрозуміла шкала вакуумметра відображає інтервали потенціалу ґрунтової вологи для різних типів ґрунту. У зібраному стані компоненти тензіометра герметично з'єднані у вакуумну систему.

Керамічний зонд довжиною робочої частини 10 см, діаметром 18 мм, товщиною стінки 2 мм. Труба ПВХ довжиною до 100 см, діаметром 20 мм, товщиною стінки 1,5 мм.

Водна камера приладу – внутрішній простір тензіометра – починається з керамічного зонда і закінчується кульовим краном.

Принцип дії тензіометра заснований на властивості керамічного зонда пропускати ґрунтову воду і не пропускати повітря до тиску барботування. В умовах взаємодії ненасиченого вологою ґрунту із стінками керамічного зонда, пори якого насичені водою, вода з водної камери приладу під дією капілярно-сорбційних сил переміщується до ґрунту, що призводить до збільшення розрідження (вакууму) в тензіометрі. Під час збільшення вмісту вологи в ґрунті (атмосферні опади, іригаційні поливи) волога з ґрунту навпаки надходить до водної камери приладу. Водночас стрілка вакуумметра пересувається у напрямку «0».



Рис. 1.7 – Принцип дії тензіометра [3]

Максимальний вміст вологи у ґрунті за повної вологомісткості (ПВ) відповідає величині тензіометричного тиску $P_s=0$. Зі зменшенням вмісту вологи від'ємний тиск (розрідження) збільшується – $P_s<0$.

У стані рівноваги потенціал води всередині тензіометра (показання вакуумметра) дорівнює сумі матричного потенціалу – тензіометричного тиску ґрунту і висоти водяного стовпа приладу. У практичних вимірюваннях висоту водяного стовпа не враховують через його незначний вплив.

Ще одним досить розповсюдженим приладом є аналізатор рівня рН та вологості ґрунту (рис. 1.8), який має металевий електрод і працює за принципом гальванометра. Аналізатор ґрунту виконує швидкі вимірювання

параметрів різних видів ґрунту. Знайшов широке використання у різних галузях сільського господарства (виноградарство, садівництво, землеробство, квітникарство, овочівництво, тощо), відрізняється простотою конструкції та легкістю в застосуванні, проте має незначний діапазон вимірів показників вологості і кислотності ґрунту та доволі значну похибку вимірювань.



Рис. 1.8 – Аналізатор ґрунту (рН-метр/вологомір) WALCOM ZD-06 [4]

Ультразвукові датчики рівня в сільському господарстві

Ультразвукові датчики рівня зробили революцію в сільськогосподарській промисловості завдяки своїм точним і ефективним вимірювальним можливостям. Ці датчики використовують ультразвукові хвилі для вимірювання рівня рідин в контейнерах або баках, що робить їх ідеальними для широкого спектра застосування у агропромисловому виробництві.

Одним із найпоширеніших застосувань ультразвукових датчиків рівня в сільському господарстві є вимірювання об'єму рідини в зрошувальних системах. Окрім зрошення, ультразвукові датчики рівня також широко використовуються для вимірювання рівня рідкого корму в системах годівлі худоби, в системах обробки зерна для вимірювання рівня зерна в силосах для зберігання. Це дозволяє фермерам контролювати свої запаси зерна та гарантувати, що вони мають достатньо кормів для задоволення своїх потреб протягом року.

В основі ультразвукових датчиків і детекторів швидкості лежить принцип передачі ультразвукових імпульсів і визначенні часу їх відбивання при надходженні назад до датчика.

Ультразвукові хвилі є механічними акустичними хвилями, частота яких лежить за межами чутності людського вуха (більше 20 кГц). При зіткненні будь-яких хвиль з об'єктом частина їх енергії відбивається. У разі

ультразвукових хвиль відбита енергія розсіюється в просторі. Незалежно від напрямку падаючого променя, відбиті промені майже рівномірно розподіляються всередині широкого просторового кута, який може досягати значення 180°. У якості чутливого елемента датчика виступає п'єзоелектричний кристал (рис. 1.9). Він же генерує ультразвук. Повний контроль за процесом виміру здійснюється мікропроцесором.

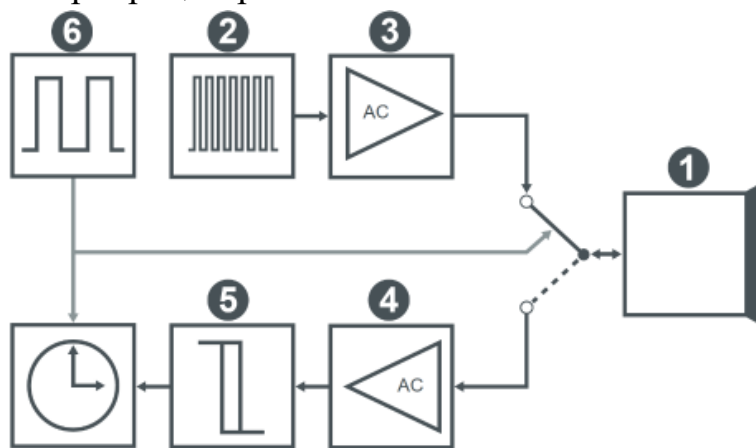


Рис. 1.9 – Функціональна схема ультразвукового датчика [5]:

- 1 – трансдуктор; 2 – осцилятор (стимулює трансдуктор); 3 – підсилювач;
4 – підсилювач; 5 – компаратор (оцифровує сигнал); 6 – генератор тактових імпульсів.

У робочому стані на перетворювачі звуку є напруга. Через п'єзоелектричний ефект перетворювач збуджується і генерує звуковий сплеск. У цей момент генератор тактових імпульсів перемикає датчик у режим прийому і починається вимір часу. Коли звукова хвиля потрапляє в ціль, відлуння відбивається назад на датчик. Відлуння звукової хвилі змушує перетворювач вібрувати через п'єзоелектричний ефект, і вимір часу припиняється. На підставі виміряного часу та швидкості звуку можна визначити відстань до цілі.

Розглянемо приклади застосування датчика від української компанії RCS (рис. 1.10), наприклад, для вимірювання відстані від елементів навісного, причіпного сільськогосподарського обладнання до поверхні ґрунту для контролю заглиблення робочого органа (рис. 1.11,1), вимірювання рівня зерна в бункері комбайна (рис. 1.11,2), рівня добрив в бункері розкидача тощо [6].



Рис. 1.10 – Загальний вигляд ультразвукового датчика відстані компанії RCS [6]

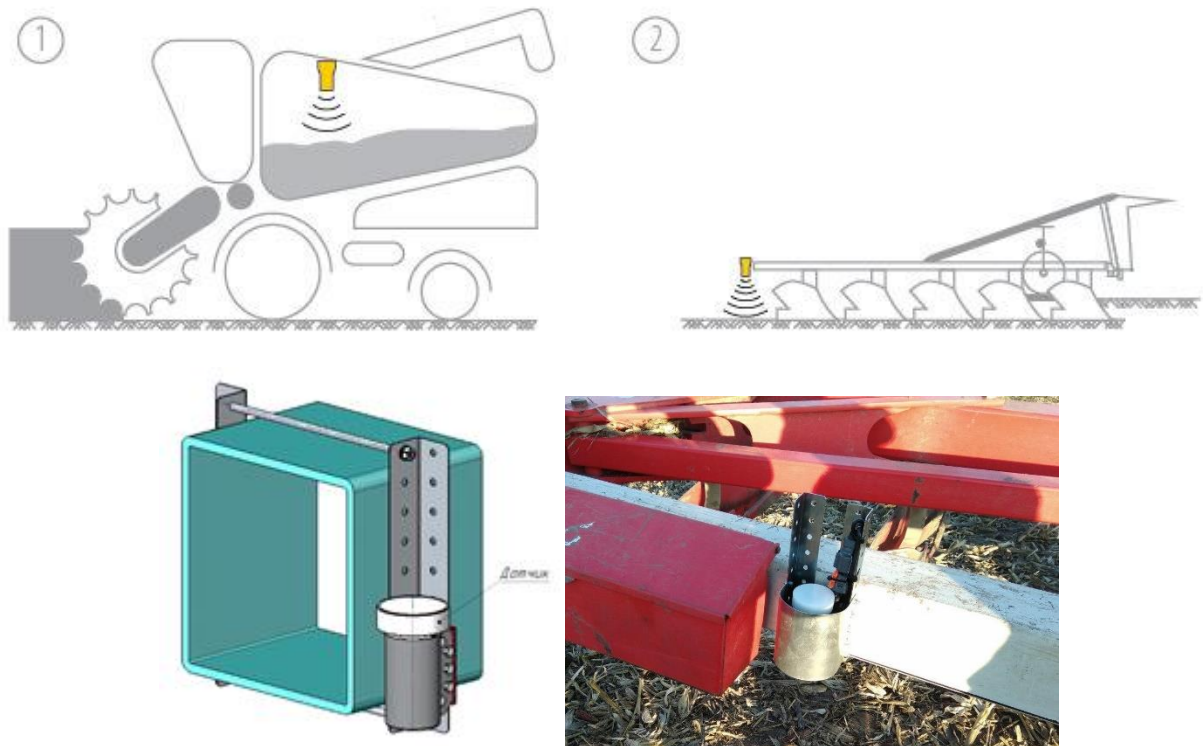


Рис. 1.11 – Приклади застосування ультразвукового датчика відстані компанії RCS [6]

Датчики для тваринництва

Одним з важливих показників мікроклімату тваринницьких приміщень, який потребує постійного контролю, є рівень аміаку (NH_3) в повітрі. Для моніторингу його концентрації використовують датчики, наприклад, датчик DOL 53 (рис. 1.12) від компанії SKOV [7].



Рис. 1.12 – Датчик DOL 53 від компанії SKOV [7]

DOL 53 – це електрохімічний датчик, призначений для вимірювання рівня аміаку в тваринницьких приміщеннях. Датчик складається з сенсорного елемента, корпусу і пилового фільтра. Сенсорний елемент (сенсорна головка) і

фільтр можна замінити за необхідності. Одиниця вимірювання (часток/млн) об'ємною концентрацією. DOL 53 постійно контролює концентрацію аміаку в повітрі приміщення, у такий спосіб клімат у приміщенні керується на основі даних вимірювання датчика. Для обробки даних, отриманих датчиком і регулювання мікроклімату відповідно до вимірних значень використовується кліматичний комп'ютер ViperTouch і 307 PRO. Крім того, Блок сигналізації АС дотику може записувати дані та використовувати BigFarmNet для їхнього аналізу.

Крім цього, технологічні процеси в тваринництві пов'язані з контролем рівня кормів. Для цих задач використовують і ємнісні датчики рівня, які працюють за принципом ідеального пластинчастого конденсатора. Одна пластина – це сам датчик, інша – це об'єкт вимірювання, який лежить навпроти нього. Між двома пластинами створюється електричне поле. Захисне кільце навколо конструкції пристрою гарантує, що електричне поле є максимально однорідним. Якщо об'єкт потрапляє в поле, відстань між двома пластинами змінюється. Ця зміна ємності фіксується і обробляється електронікою датчика, і в залежності від налаштування чутливості, призводить до активації вихідного сигналу.

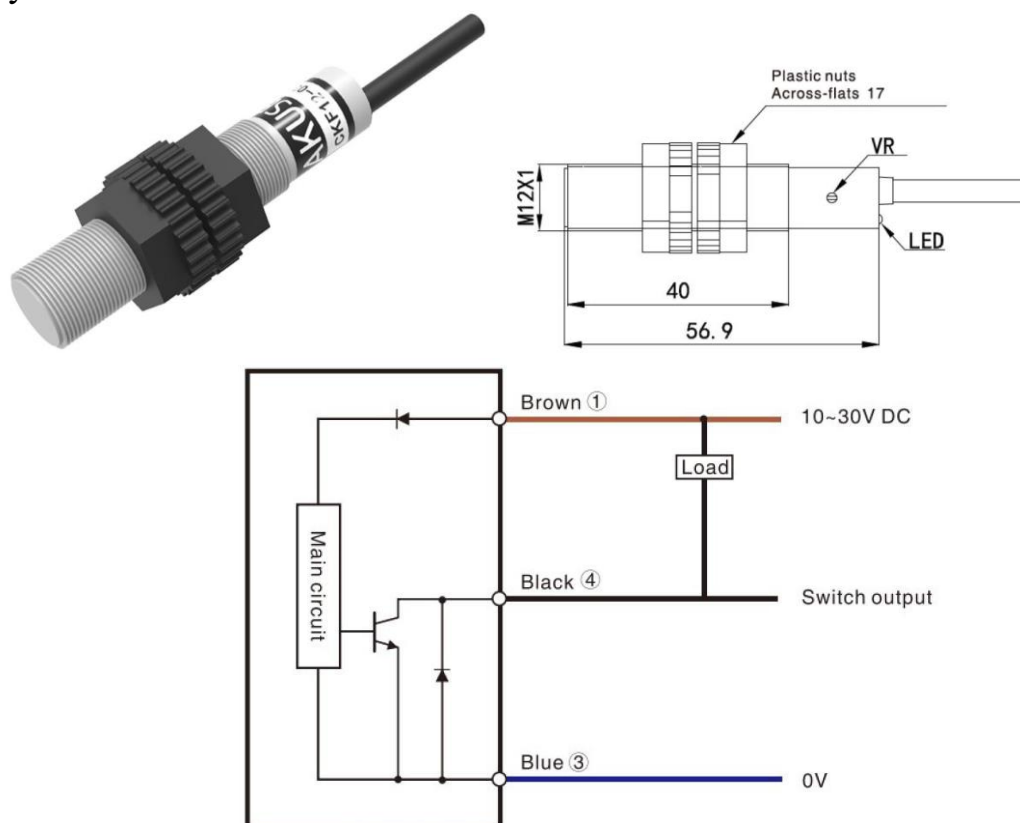


Рис. 1.13 – Загальний вигляд, монтажна і електронна схема ємнісного датчика Akusense SKF12-03NC [8]

Ємнісні датчики іноді ще називають ємнісними безконтактними вимикачами і відносять до класу датчиків положення. Ці датчики реагують на зміни електричного поля, яке знаходиться в активній зоні виявлення, поблизу так званого електрода датчика. Завдяки цьому ємнісні датчики можуть виявляти різні середовища через неметалеві стінки контейнерів або на обвідних трубах. Тому їх часто використовують для виявлення граничних рівнів. Середовище, яке потрібно виявити, викликає збільшення ємності, що призводить до спрацювання давача. Ємнісні датчики придатні для визначення рівня рідин, таких як вода і паливо в резервуарах, або твердих матеріалів, таких як деревина або гранулят, крім того, рівень зерна, комбікорму тощо. Це робить датчики дуже корисними в різних сферах застосування і галузях.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями.
2. Ознайомитись з конструкцією датчиків та провести вимірювання температури приміщення та вологості ґрунту і зерна.

Список використаних джерел

1. Будова та види датчиків температури в кліматичних системах: вебсайт. URL: <https://surl.lu/lnfwom>.
2. Датчик вологості і температури ґрунту. *Каталог продукції компанії Arleos*. URL: <https://www.arleos.com.ua/product/humidity-and-soil-temperature-sensor/>.
3. Тензіометр іригаційний професійний AQUAMETER PRO TMA GL. *Каталог продукції компанії AQUATEC*. URL: <https://aquatec.ua/shop/electronic-tensiometer-aquamer-pro-tma-gl>.
4. Аналізатор ґрунту (ph-метр/воломір) WALCOM ZD-06. *Інструкція з експлуатації*. URL: <http://surl.li/onmzee>.
5. Багато переваг, мало недоліків: як працює ультразвукова технологія: вебсайт. URL: <http://surl.li/uemmdn>.
6. Датчик відстані ультразвуковий: *вебсайт компанії RCS*. URL: <https://www.rcsua.com/produkty/dodatkove-obladnannia/datchyk-vidstani-ultrazvukovy.html>.
7. DOL 53 Ammonia Sensor (NH₃). *Technical info*. URL: <https://docs.skov.com/view/7250>.
8. Ємнісний датчик СКФ12-03NC. *Каталог продукції компанії Akusense*. URL: <https://akusense.com.ua/capacitive/capacitive-threaded/akusense-ckf12-03nc>.

Лабораторна робота № 2

Використання мехатронних систем контролю та керування роботою висівних апаратів сівалок

Мета роботи – ознайомлення з особливостями застосування мехатронних систем в конструкції висівних апаратів сівалок.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: наочні плакати, мультимедійне обладнання, система контролю висіву Helios-02 з оптичними датчиками висіву.

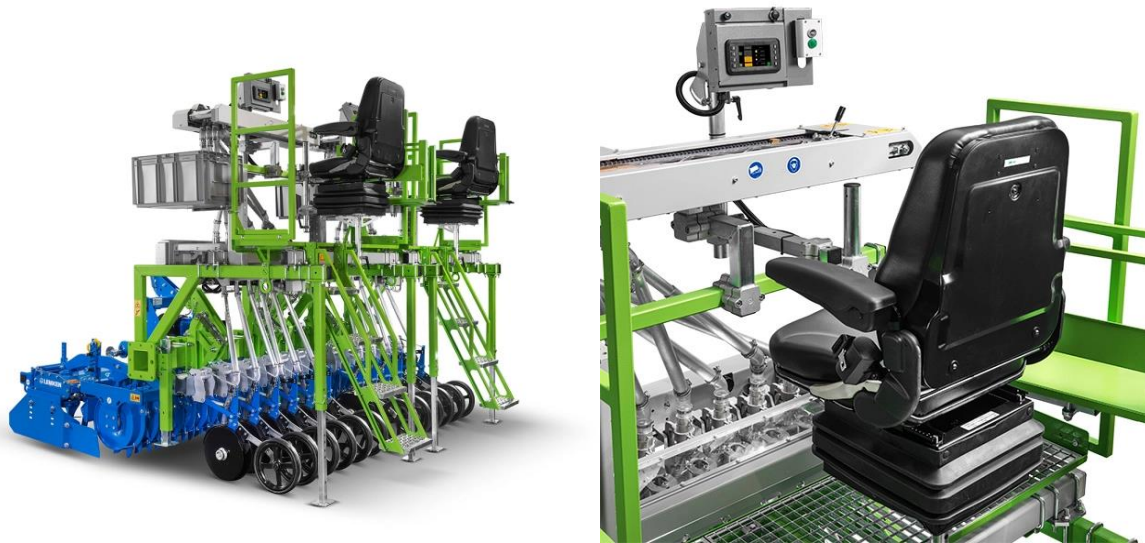
Загальні відомості

Сучасні посівні системи вже неможливо уявити без застосування мехатронних систем, які дозволяють реалізувати контроль та автоматичне регулювання, в тому числі інтелектуальне, процесу посіву. Зокрема вказані системи дозволяють реалізувати наступне:

- оперативне реагування на відхилення в роботі сівалок точного висіву у вигляді часткових чи суцільних пропусків висіву;
- корегування норми висіву залежно від швидкості руху агрегату при незалежному приводі висівних апаратів;
- контроль повної або часткової відсутності висіву;
- контроль і корегування нерівномірності висіву внаслідок: статичного чи липкого (при використанні протруювачів) злипання насіння (між собою, прилипання до висівного диска тощо); несправного технічного стану висівних апаратів сівалки або їх приводів; неправильного регулювання скидачів насіння; недостатньої або надмірної сили вакууму тощо;
- контроль і корегування невідповідності норми висіву внаслідок: неправильно вибраного диска з відповідною кількістю отворів або їх розміру; невірно встановленого передаточного числа привода висівних апаратів; закінчення насіння в бункері та ін.
- швидкий доступ до всіх параметрів системи по символічним позначенням на сенсорному екрані;
- одночасний контроль та управління внесенням мінеральних добрив;
- віддалений контроль, зміну параметрів роботи системи та on-line передачу даних якості посіву на центральний сервер;
- оперативну обробку інформації та відображення її на екрані в реальному часі.

Розглянемо деякі приклади реалізації застосування мехатронних систем в конструкції сівалок.

Система керування роботою селекційних сівалок Row Motion [2] призначена для контролю та керування роботою селекційних сівалок Row Motion (рис. 2.1), що забезпечують пунктирний однонасінневий посів.



а)

б)

Рис. 2.1 – Селекційна сівалка Row Motion Electric drive plot drills:
а – загальний вигляд; б – робоче місце оператора

Висівні апарати мають електропривод, контроль за яким здійснює мехатронна система, що включає блок системи керування основними параметрами сівалки (рис. 2.2) та систему приводів. За допомогою датчиків, розміщених на сошниках, та дозуючому пристрою відбувається контроль точного висіву насіння. Сигнали з датчиків надходять на блок системи керування, після чого за допомогою програмного забезпечення інформація виводиться на кольоровий сенсорний екран. Всі технологічні процеси робочого циклу селекційної сівалки виконуються за допомогою програмного забезпечення Easy Plant.



Рис. 2.2 – Система eMotion керування селекційною сівалкою Row Motion

Система керування eMotion, оснащена інтуїтивним сучасним інтерфейсом, що дозволяє користувачу швидко опанувати алгоритми

налагодження режимів роботи сівалки. Система дозволяє через USB-порт завантажити план поля для полегшення встановлення норми висіву насіння та необхідної кількості добрив.

Основні параметри, які контролює система:

- засіяна площа, га;
- реєстрація дати і часу виконання робіт на полі;
- довжина ділянок, м;
- швидкість посіву (км/год);
- відстань між ділянками, м;
- схеми розміщення технологічних колій;
- норму висіву насіння кг/га;
- кількість пропусків;
- самодіагностика;
- майстер калібрування дозатора.

На сівалках Row Motion встановлено конічний дозатор точного розподілення насіння по рядкам (рис. 2.3).



Рис. 2.3 – Конічний дозатор точного розподілення насіння по рядкам

Роботу дозатора контролює та підтримує система керування eMotion, що забезпечує високу точність дозування насіння по сошникам та експлуатаційну надійність посівного агрегату.

Мехатронна система «Record». Дана система застосовується для контролю роботи сівалки «Accord Optima» (рис. 2.4) [3]. Пневматичні сівалки точного висіву «Accord Optima» забезпечують точний пунктирний висів завдяки системі контролю роботи «Record», а саме за допомогою зворотного зв'язку, що створюють датчики (контролю насіння, частоти обертання

дозуючого диска, та вакууму пневматичного дискового висівного апарата) між блоком керування і виконавчими пристроями.



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.4 – Система контролю роботи «Record», встановлена на сівалці «Accord Optima» [3]: а – загальний вигляд сівалки точного висіву «Accord Optima»; б, г – датчик контролю насіння на дозуючому диску пневматичного висівного апарата; в – дисплей мехатронної системи керування і контролю «Record»

Система підтримує та контролює основні параметри сівалки точного висіву (рис. 2.5-2.7):

- реєстрація дати і часу виконання робіт на полі;
- засіяна площа, га;
- площа засіяна з відхиленнями від норми, га;
- швидкість посіву (км/год);
- норма висіву, шт/м.п.;
- кількість пропусків, %;
- норма висіву, тис/га;
- кількість насіння, висіяного по секціях, шт;
- загальна кількість висіяного насіння, шт;
- пройдений шлях, км;
- інтервали між висіяним насінням см;

- кількість аварійних випадків по секціям, шт.

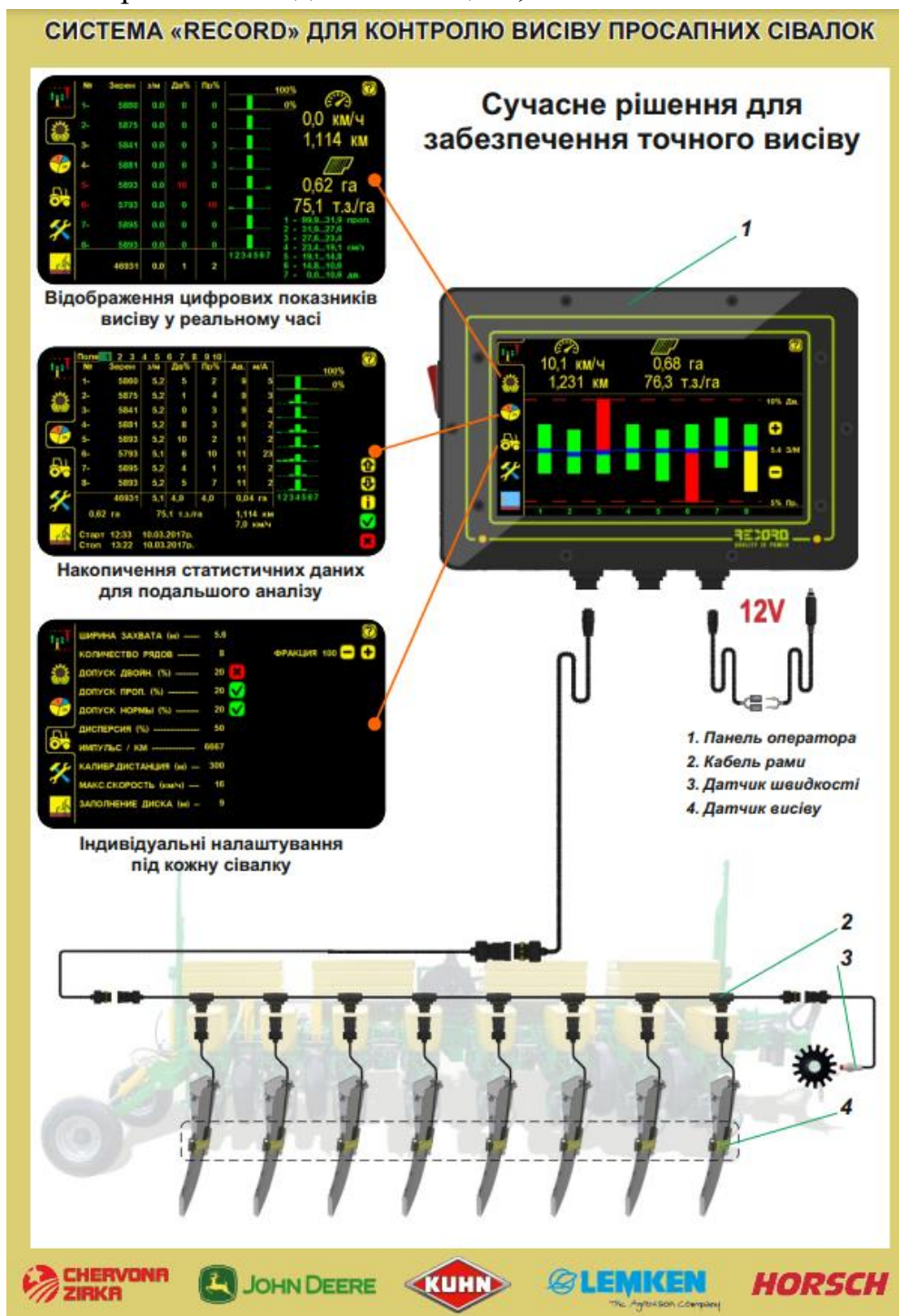


Рис. 2.5 – Функціональна схема системи «Record» контролю роботи просапних сівалок [3]

СИСТЕМА «RECORD» ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВИСІВУ ЗЕРНОВИХ СІВАЛОК

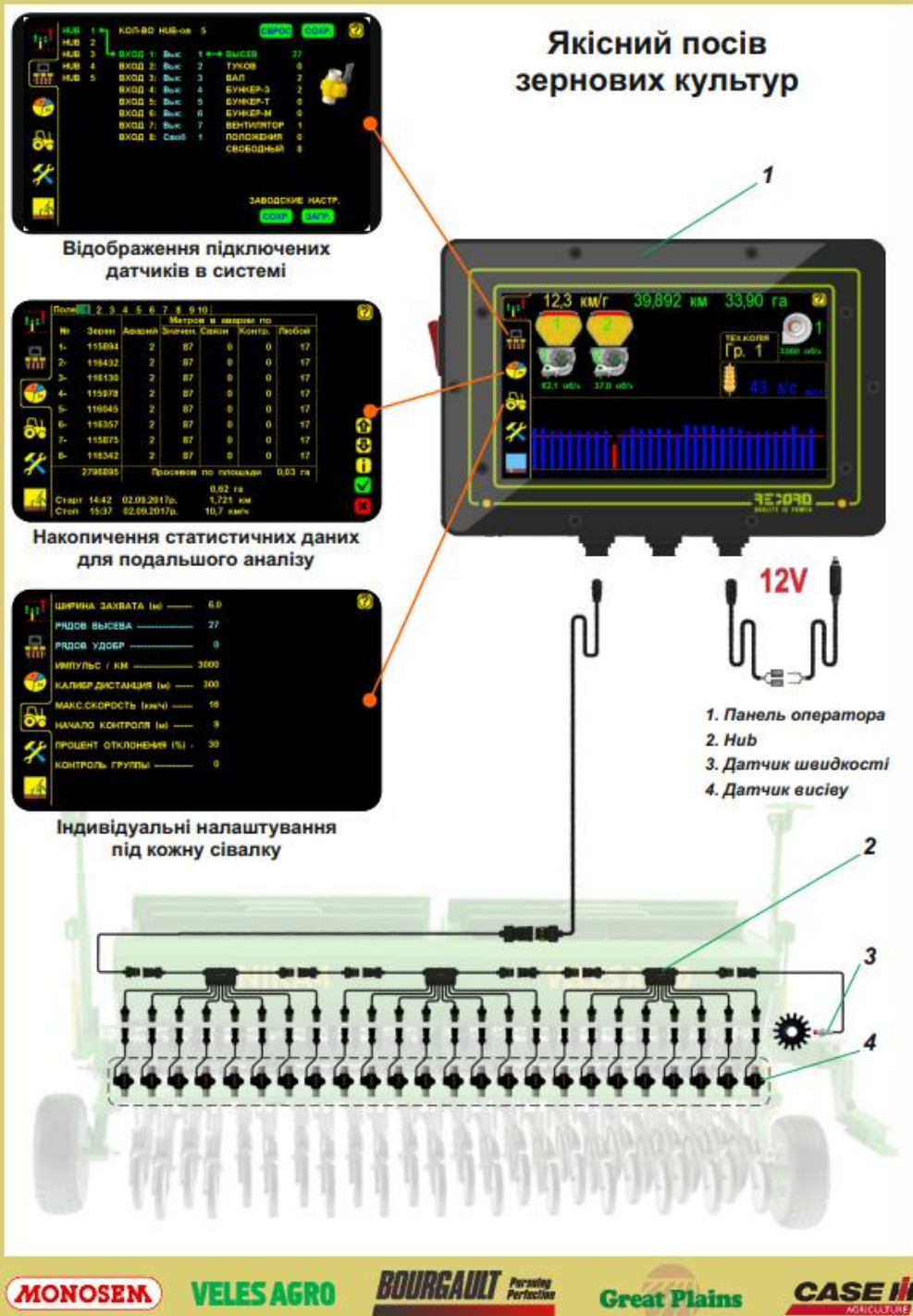


Рис. 2.6 – Функціональна схема системи «Record» контролю роботи зернових сівалок [3]

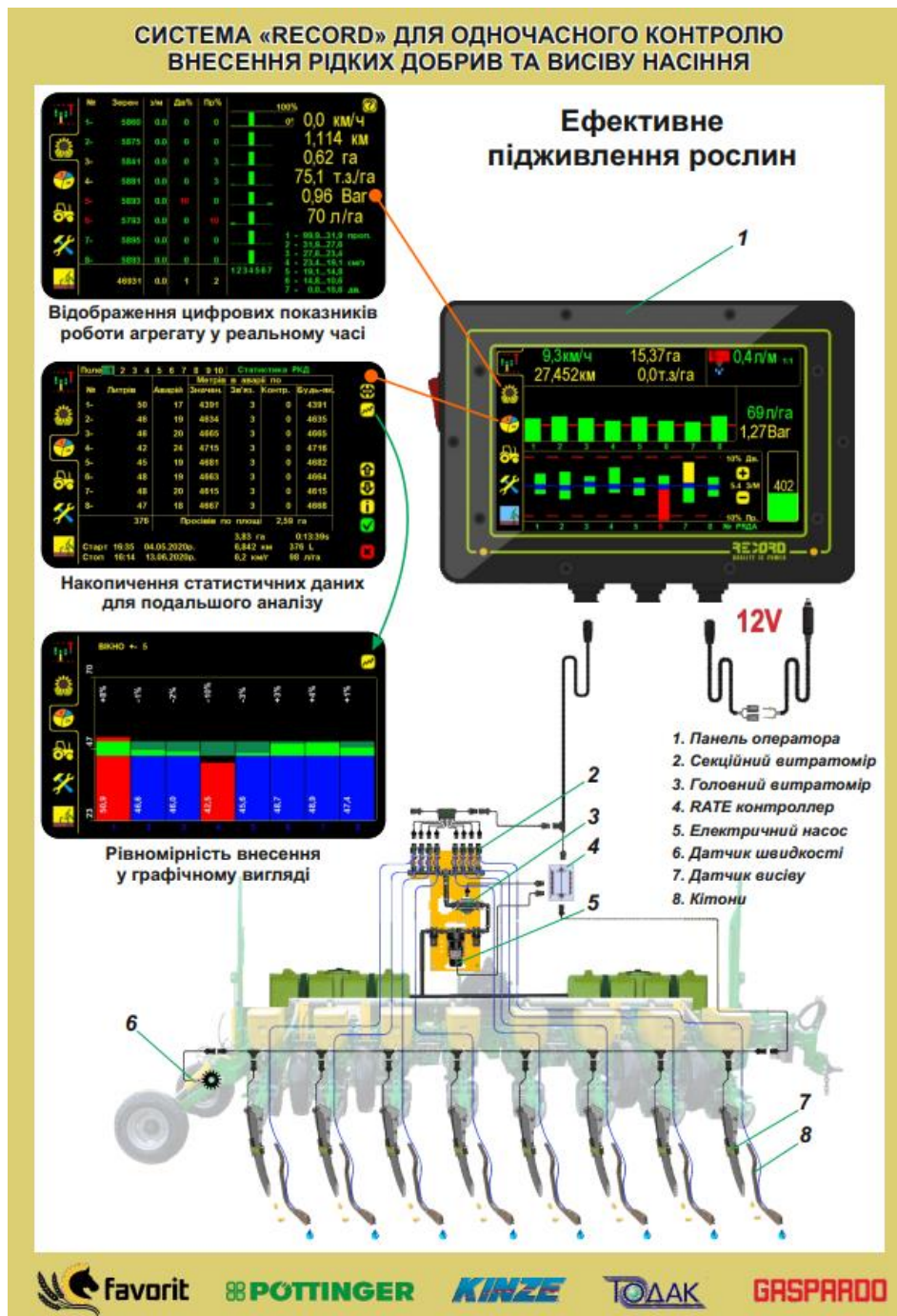


Рис. 2.7 – Функціональна схема системи «Record» контролю висіву насіння та внесення рідких добрив [3]

Компанія Raven для керування роботою пневматичними сівалками точного посіву пропонує мехатронну систему «OmniSeed» [4], що дозволяє забезпечити повний контроль основних параметрів посівних агрегатів точного висіву (рис. 2.8, а) з метою підвищення точності висіву та продуктивності. Керування здійснюється за допомогою багатофункціонального польового комп'ютера «Viper» (рис. 2.8, б-г).



а



б

Viper 4

FIGURE 4. Viper 4 Ports and Connectors

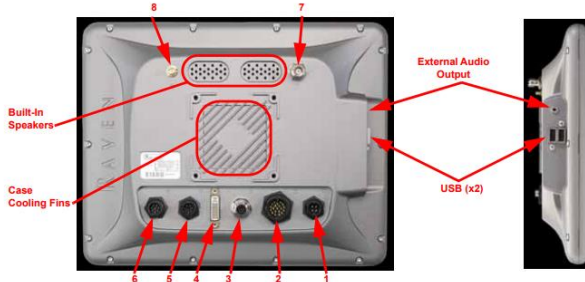


TABLE 1. Viper 4 Port and Connector Detail

Port Label	Description	Pin Count	Connector Type
1.	Power Connector	4	Conxall
2.	Main Interface Connector	20	Conxall
3.	Ethernet Connector	8	Turck
4.	Video Output/External Display	32	DVI
5.	Auxiliary CANbus Channels (2-4)	7	Conxall
6.	Video Camera Input	8	Conxall
7.	GPS Antenna	-	Coaxial
8.	Wi-Fi Antenna	-	Coaxial

в

FIGURE 5. Viper 4+ Ports and Connectors



TABLE 2. Viper 4+ Port and Connector Detail

Port Label	Description	Pin Count	Connector Type
1.	Power Connector	4	Conxall
2.	Main Interface Connector	20	Conxall
3.	Ethernet Connector	8	Turck
4.	Video Output/External Display	32	DVI
5.	Auxiliary CANbus Channels (2-4)	7	Conxall
6.	Video Camera Input	8	Conxall

г

Рис. 2.8 – Застосування системи «OmniSeed» на посіві [4]: а – посів пневматичною сівалкою обладнаною системою «OmniSeed»; б – багатофункціональний польовий комп'ютер «Viper» системи керування «OmniSeed»; в – порти та конектори польового комп'ютера «Viper 4»; г – порти та конектори польового комп'ютера «Viper 4+»

Поєднання системи керування «OmniSeed» та польового комп'ютера «Viper Pro» дозволяє забезпечити висів різного насіннєвого матеріалу з контролем швидкості та роботи висівних апаратів пневматичної сівалки (рис. 2.9).

FIGURE 1. Viper 4+ Cable Connections (D/N 054-5010-010)

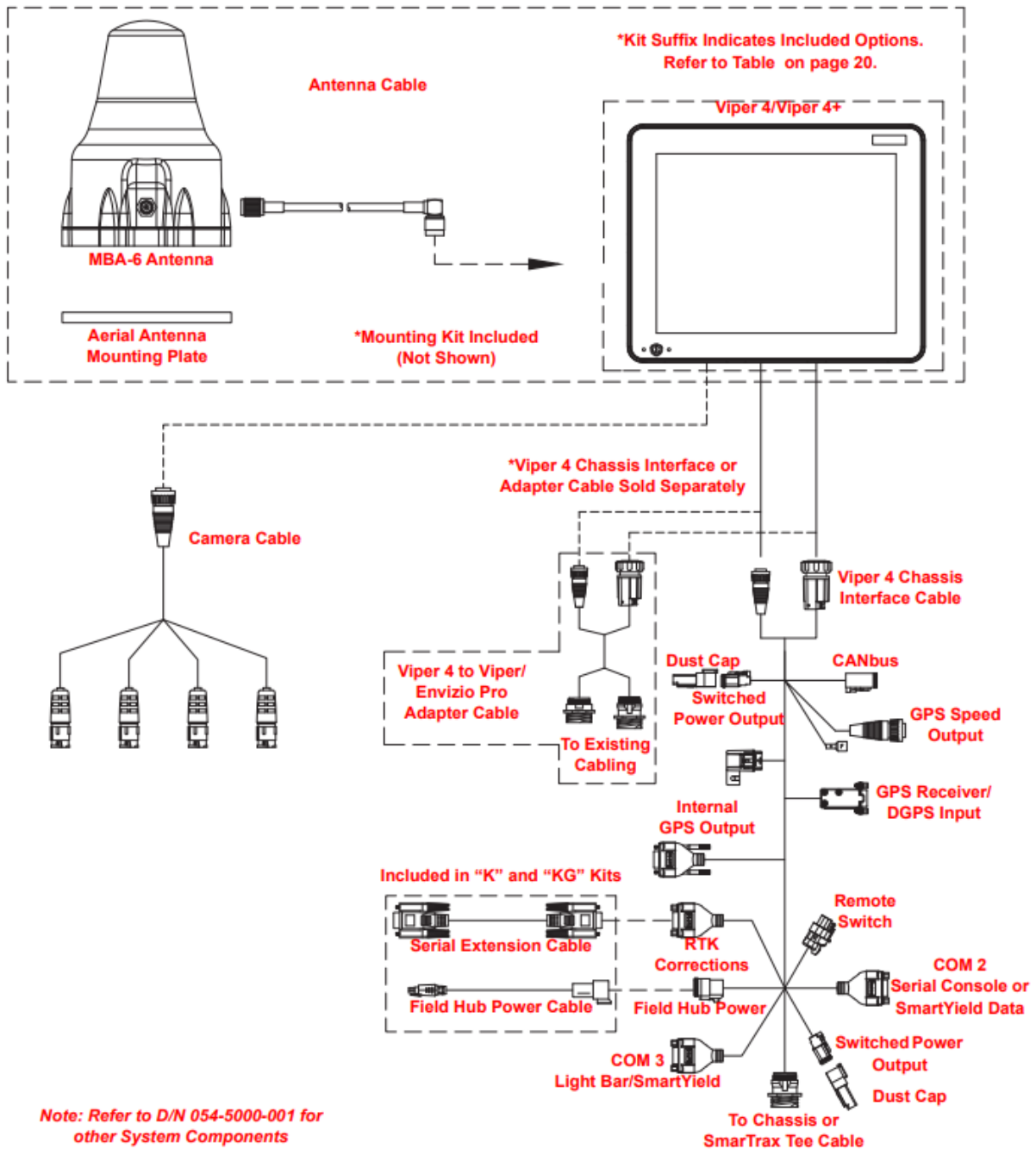


Рис. 2.9 – Схема підключення датчиків до польового комп'ютера «Viper 4+» [4]

Моніторинг дозуючих елементів сівалки здійснюється за допомогою вбудованої системи AgTron. Керування дозуючим пристроєм відбувається за допомогою електричного двигуна та гідравлічної муфти (рис. 2.10), для кожного бункера, щоб забезпечити точність з простим відключенням окремих секцій.



Рис. 2.10 – Гідравлічна муфта Raven [4]

Контроль рівня заповнення бункерів насіння виконується за допомогою ультразвукових датчиків. Також система контролює стан ґрунту та вплив на нього рушіїв посівного агрегата. Вся інформація накопичується та зберігається для подальшого аналізу стану посівної площі.

Науково-виробничою фірмою «МОНАДА» (Україна) пропонується ряд рішень систем контролю висіву насіння [5]. Система на базі Monada Helios-04 (рис. 2.11) дозволяє реалізувати наступні основні функції:

- контроль проходження насіння по висіваючих патрубках;



Рис. 2.11 – Загальний вигляд системи контролю висіву на базі Monada Helios-04 [5]

- оповіщення при зменшенні інтенсивності висіву для потокового висіву;

- оповіщення при забиванні або відсутності висіву в патрубку із зазначенням його номера;
 - підрахунок кількості насіння, «двійників», пропусків для посівних комплексів точного висіву;
 - контроль рівня насіння і добрив у бункерах;
 - одночасне відображення всіх насіннепроводів у реальному часі.
- Технічні параметри панелі оператора і відображення даних (рис. 2.12):
- швидкості руху;
 - пройденого шляху, засіяної площі;
 - кількості насіння на га і м.п. (для посівних комплексів точного висіву);
 - гістограми інтенсивності висіву (суцільний посів);
 - обертів вентилятора (до 2 шт.) і валів дозатора (до 6 шт.);
 - рівня матеріалу в бункері (до 6 шт.);
 - можливості одночасного відображення на екрані, а також контролю різної норми посівного матеріалу і режимів посіву (зернові/добрива, просапні/добрива).



Рис. 2.12 – Загальний вигляд панелі оператора і відображення даних системи контролю висіву на базі Monada Helios-04 [5]

Системи контролю висіву на базі Monada Helios-04 дозволяє передачу миттєвих і накопичених даних системи за допомогою сторонніх систем GPS/GSM моніторингу. Це дозволяє бачити і контролювати процес посіву віддалено.

Система дозволяє використання датчиків власної розробки більше 16 конструкцій і типорозмірів, а також встановлення деяких датчиків в штатні місця, передбачені виробником посівного комплексу (рис. 2.13).

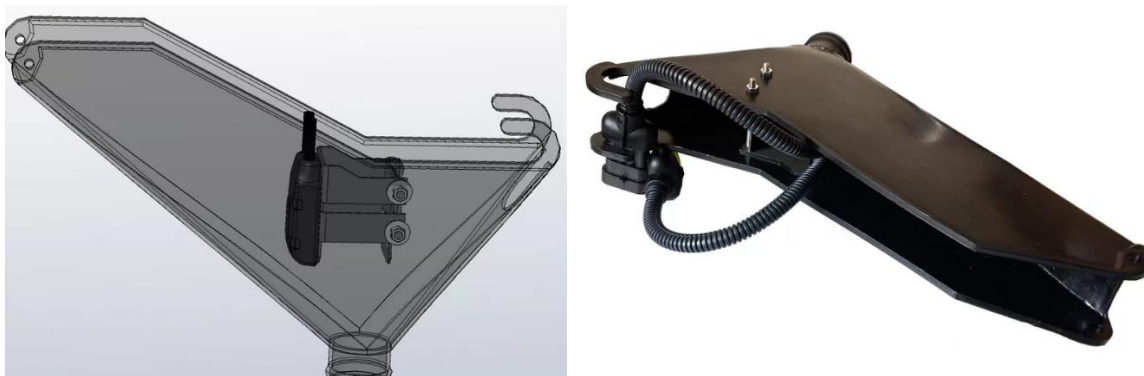


Рис. 2.13 – Загальний вигляд вбудованого датчика прольоту оптичного типу для механічних сівалок

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями.
2. Ознайомитись з конструкцією система контролю висіву Helios-02 з оптичними датчиками висіву.
3. Провести дослідження якості висіву сівалки механічного типу за допомогою системи контролю висіву Helios-02 з оптичними датчиками висіву.

Список використаних джерел

1. Остапчук Я.В. Обґрунтування параметрів конструкції та дослідження мехатронної системи контролю точності роботи висівного апарату гідросівалки : випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «магістр» за спеціальністю 208 «Агроінженерія». Дніпро: ДДАЕУ, 2022.
2. Precision-spaced-planters. *Каталог продукції фірми Wintersteiger*. URL: <https://www.wintersteiger.com/en/Plant-Breeding-and-Research/Products/Product-range/Precision-spaced-planters/312-Dynamic-Disc-Plus>.
3. Датчик висіву для сівалки ОПТИМА. *Каталог продукції ТОВ “Трак”*. URL: <https://seeding.com.ua/uk/foto-uk/datchik-vyseva-dlja-optima/>.
4. Raven Autonomy™ Driverless Tillage Solution. *Каталог продукції компанії Raven Industries, Inc*. URL: <https://www.contree.com/product/omniseed/>.
5. Система контролю висіву з панеллю оператора Helios⁰⁴ ТОВ НВФ «Монада». *Інструкція користувача АНД15.12.01.00.000-09PO* URL: <http://surl.li/miemdx>.

Лабораторна робота № 3

Використання мехатронних систем контролю та керування роботою трактора

Мета роботи – ознайомлення з особливостями використання мехатронних систем в тракторах при виконанні польових робіт.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: наочні плакати, мультимедійне обладнання.

Загальні відомості

Сучасні мехатронні системи тракторів призначені для аналізу витрати засобів виробництва: пального, добрив, часу; допомагають в організації раціональної логістики, контролю дотримання вимог, координації переміщень агрегата, керування робочими органами сільськогосподарських машин тощо.

На сьогодні провідні світові фірми-виробники сільськогосподарської техніки створюють свою продукцію з урахуванням вимог точного землеробства, широко використовуючи сучасні системи глобального позиціонування, геоінформаційні системи, системи дистанційного зондування землі, сенсорну техніку, а також технології змінного нормування. Особлива увага приділяється інтелектуальним системам точного землеробства, розробка яких відбувається у двох основних напрямках: точне керування рухом машин і точне керування роботою машин при виконанні технологічних операцій на полях.

Інтелектуальні системи керування машинно-тракторними агрегатами забезпечують синхронізацію роботи трактора й агрегованої з ним сільськогосподарської машини з метою підвищення ефективності роботи агрегату в цілому. За останні роки отримали розповсюдження інтелектуальні системи керування машинно-тракторними агрегатами на основі міжнародного стандарту ISO 11783 (ISOBUS), що слугує для встановлення електронного інформаційного зв'язку між тракторами та агрегованими з ним сільськогосподарськими знаряддями.

На сучасних тракторах можуть бути реалізовані такі функції [1]:

- контроль технічного стану й аварійний захист механізмів і систем трактора;

- керування двигуном і трансмісією, зокрема: регулювання подачі пального в двигун, зміна передатного числа трансмісії, вмикання/вимикання привода додаткового ведучого моста тощо;

- контроль ходу технологічного процесу, який виконує МТА, за кількісними та якісними показниками;
- керування робочим обладнанням, у тому числі на сільськогосподарських тракторах через регулювання положення навісних знарядь;
- водіння заданою траєкторією;
- комплексна автоматизація.

До складу електронного і телематичного обладнання тракторів входять:

- датчики вимірюваних величин (параметрів), установлені на різних вузлах і механізмах трактора;
- блоки сполучення з датчиками;
- блоки обробки інформації (контролери);
- пульти індикації та сигналізації;
- пульти керування режимами роботи;
- блоки сполучення з виконавчими механізмами;
- блоки вторинного електроживлення.

Блоки обробки інформації тракторів являють собою мікропроцесори, завданням яких є обробка сигналів, що надходять від різних датчиків, і передача їх на пульт індикації, сигналізації та керування.

Наявність блоків сполучення з виконавчими механізмами властива лише системам управління, які впливають на механізми керування трактора. Для цього можуть використовуватися електромеханічні, гідравлічні, електрогідравлічні або електропневматичні виконавчі пристрої [1].

Обладнання систем управління інтелектуального трактора

Телематичне обладнання тракторів дає можливість візуально представляти на одному або кількох дисплеях інформацію про режим роботи трактора, причіпного обладнання та про параметри їх технічного стану, в тому числі у вигляді кодових повідомлень про несправності, що виникли. Розглянемо телематичне обладнання від компанії John Deere.

CommandCenter 3 (рис. 3.1) від John Deere [2] має:

- екран з діагоналлю 7";
- USB порт для передачі даних і оновлення програмного забезпечення;
- вбудована пам'ять 400 Мб;
- управління з допомогою функціональних клавіш та коліщатка прокрутки;
- як опція може бути обладнаний сенсорним екраном;
- підтримує такі функції: Parallel Tracking, AutoTrac, AutoTrac RowSense, Section Control, документування.

Дисплей GreenStar 3 2630 (рис. 3.1) з діагоналлю 26 см поставляється з розширеними функціями ISOBUS та забезпечує повний контроль і сумісний з усіма рішеннями та системами точного землеробства AMS на машинах компанії John Deere [2].



Рис. 3.1 – CommandCenter 3 та дисплей GS3 2630 [2]

Стандартні функції дисплея:

- сенсорний екран з діагоналлю 10";
- USB порт для передачі даних і оновлення програмного забезпечення;
- вбудована пам'ять 800 Мб;
- підтримка до трьох відеокамер;
- підтримка безпроводної передачі даних та функції RDA;
- підтримка всіх доступних функцій: Parallel Tracking, AutoTrac, Section Control, Pivot Pro, iTEC Pro, документування і т. д.

Дисплеї четвертого покоління (рис. 3.2) від John Deere [3] дають можливість проводити налаштування на виконання заданих робіт, вибрати вид розвороту, мають можливість доступу до всіх електронних блоків керування.



Рис. 3.2 – Дисплеї четвертого покоління від John Deere [3]:
а) 4200 CommandCenter; б) 4600 CommandCenter

Програмне забезпечення міститься в процесорі, а не в самому дисплеї. Процесор 4600 CommandCenter™ (рис. 3.3) має неактивованій бездротовий передатчик (Wi-Fi).

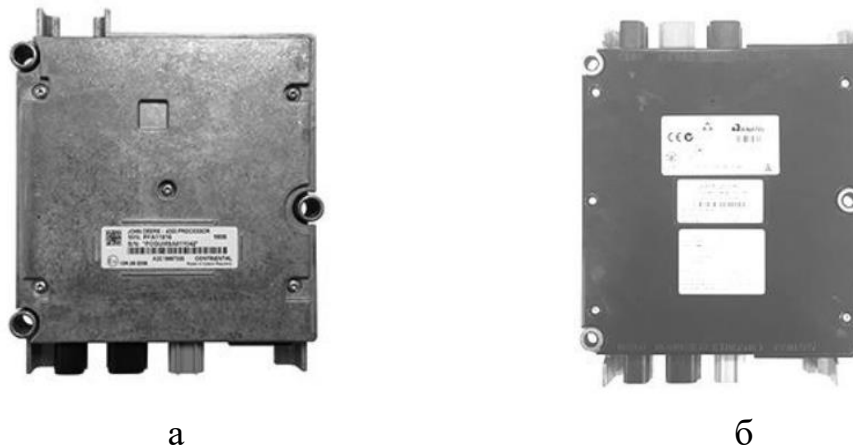


Рис. 3.3 – Процесори 4200 CommandCenter™ (а), 4600 CommandCenter™ (б)

Для активації функції призначений спеціальний апаратний засіб. У програмі «Диспетчер програмного забезпечення» ця активація дає можливість випробувати функції на дисплеї в демонстраційному режимі. Покоління CommandCenter 4 можна налаштувати для роботи з іншими дисплеями John Deere. Дисплеї CommandCenter™ виконують пошук іншого дисплея (GS2, GS3 або 4-го покоління) на CAN-шині знаряддя протягом приблизно 60 с. Дисплей 4-го покоління може використовуватися як пристрій відображення для будь-якого блока керування, який відповідає стандарту ISO 11783 (ISOBUS). Це включає можливість керування блоками ISOBUS. Дисплей 4-го покоління одночасно завантажує різні контролери ISOBUS та обмінюється з ними даними.

Процесор 4200 має: один вхід відеокамери, один USB-вхід, один вихід дисплея. Процесор 4600 має: чотири входи відеокамери, чотири USB-входи, два виходи дисплея, неактивованій бездротовий (Wi-Fi) передатчик (для активації функції призначений спеціальний апаратний засіб).

Пакети активації для дисплея GENERATION 4 мають три рівні активації.

Перший рівень:

- активація Generation 4 AutoTrac;
- активація AutoTrac на дисплеї CC4100, CC4600 і 4640.

Другий рівень:

- активація Generation 4 Premium (тільки для CC4600 і 4640);
- активація AutoTrac RowSense (тільки для обприскувачів);
- активація AutoTrack Vision (для обприскувачів);
- активація Section Control;
- активація Overlap Control (тільки для комбайнів);

- активація функції «Документування».

Третій рівень:

- активація Generation 4 Ultimate;
- активація AutoTrac Turn Automation (iTEC Pro);
- активація AutoTrac Implement Guidance (Passive);
- активація функції «In-Field Data Sharing» (WDT).

Бортові системи і компоненти керування тракторів при виконанні сільськогосподарських робіт

Загальні блоки керування тракторів серії 8R та 8RT (рис. 3.4) від John Deere [4] містять:

- 1 – блок керування двигуном (ECU);
- 2 – передній блок керування шасі (SFA, SCO, PTF);
- 3 – задній блок керування шасі (HIDS – PTI, PTP, RTP, SCC, VLC; CHAS – CCU, CSC, HCC);
- 4 – блок керування системами рульового керування, гальмування та резервування – С-Вох (XMC, XSC);
- 5 – В-Вох (XMB, XSB) – блок керування системами рульового керування, гальмування та резервування;
- 5 – А-Вох (XMA, XSA) – блок керування системами рульового керування, гальмування та резервування.

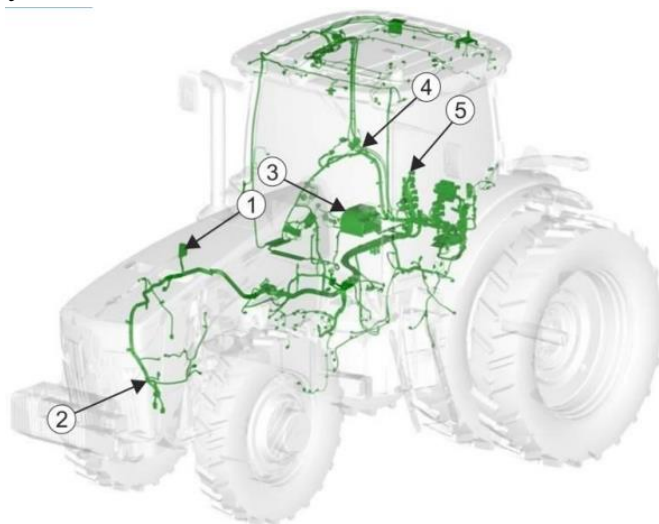


Рис. 3.4 – Загальні блоки керування тракторів серії 8R та 8RT від John Deere [4]

Блоки керування в кабіні тракторів серії 8R та 8RT (рис. 3.5) від John Deere [4] містять:

- 1 – процесор CommandCenter™;
- 2 – дисплей Generation 4 CommandCenter™;

- 3 – дисплей кутової стійки (PDU);
- 4 – блок керування дахом (RLC, TEI, TEC, ICA);
- 5 – супутниковий модуль XM;
- 6 – блок керування системою клімат-контролю (ATC);
- 7 – радіо (CRU);
- 8 – блок керування кабіною (ASU, CLC, EIC, FCC, OIC, TI/TIP);
- 9 – модуль MachineSync (MCR);
- 10 – блок керування MTG (JDL);
- 11 – блок керування підлокітником (AIC, CSM).

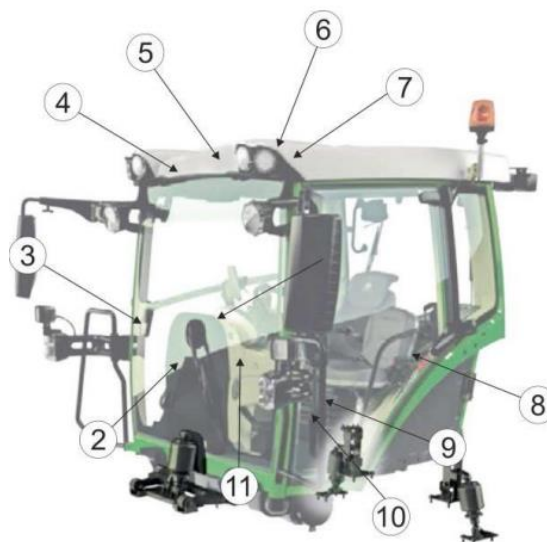


Рис. 3.5 – Блоки керування в кабіні тракторів серії 8R та 8RT від John Deere [4]

Блок керування стандарту МЕСА 700 має робочий діапазон температури від -40° до $+85^{\circ}$ C°, робоча напруга 9–32 В, живлення блока до 120 А, 3 лінії для шини CAN, 1 лінія LIN-шини, 66 цифрових виходів інформації, 26 аналогових виходів, 2 виходи з регулюванням струму (ШИМ), 27 виходів із захистом по силі струму.

Обладнання тракторів для контролю параметрів при ґрунтообробці

Неоднорідність ґрунтів сільськогосподарського призначення вимагає дотримання різної глибини їх обробітку на ділянках поля, які відрізняються між собою за типом ґрунтового середовища, його щільністю та вмістом вологи. Вимірювання цих показників з достатньою точністю та надійністю можливе лише в режимі реального часу, так як протягом сезону вони зазнають значних змін. Австрійська компанія Geoprospectors GmbH розробила систему сенсорів, що здатна в режимі реального часу визначати відповідні параметри ґрунту й відправляти дані на комп'ютер ґрунтообробного обладнання, який

використовує їх для регулювання робочої глибини [1]. Ці датчики встановлюються в передній частині трактора (рис. 3.6). Отримані значення вимірювань безпосередньо конвертуються комп'ютером сенсора в команди керування ґрунтообробним обладнанням, після чого відправляються через шину керування ISOBUS на робочий комп'ютер машини.



Рис. 3.6 – Пристрій Topsoil Mapper з датчиками визначення характеристик ґрунту [5]

Крім датчика, повний пакет системи включає в себе польовий комп'ютер з інтерфейсом ISOBUS з функцією керування агрегованим обладнанням, призначений для модернізації будь-якого гідрофікованого ґрунтообробного обладнання. Пристрій Topsoil Mapper встановлюється на передній баласт техніки. Таке рішення в першу чергу корисне тоді, коли передня навіска для операцій з обробки ґрунту передбачає установку баластного блока. Після підключення датчика й робочого комп'ютера ґрунтообробного агрегату до роз'ємів ISOBUS можна починати роботу. Система не вимагає складного калібрування, а водій вибирає одну з доступних програм управління і зразу починає працювати. Для неглибокої та глибокої оранки, а також для безвідвальної обробки ґрунту передбачені стандартні програми. В окремих випадках можливе індивідуальне налаштування параметрів користувача. Системою Topsoil Mapper і комп'ютером агрегованого обладнання керують виключно через термінал ISOBUS трактора. Значення робочої глибини реєструє контролер задач терміналу. Для прив'язки показань датчика до географічних координат на мапі поточних робіт використовується система GPS. Обмін даними здійснюється з допомогою стандартизованих форматів обміну, наприклад, ISOXML або Shape.

Мехатронні системи точного водіння трактора при виконанні сільськогосподарських робіт

Існує два технічних підходи до створення систем керування рухом по заданій траєкторії: ручне керування та керування з допомогою автоматики [1].

Функція ручної навігації (також називається паралельним слідуванням) дає можливість оператору вручну рухатися навігаційними маршрутами з допомогою екранних світлових індикаторів, карти та звукових сигналів. Крім того, як доповнення до основного дисплея можна встановлювати допоміжний дисплей, який кріпиться на склоочисник у межах прямої видимості. Використовуються картирування на екрані, яке служить як візуальний орієнтир для оператора, забезпечуючи повне покриття поля. Це особливо важливо під час роботи у додатках, коли покриття не забезпечується візуальним контролем поля, наприклад, під час обприскування та розкидання, а також під час сівби або посіву без обробки ґрунту. Для кожного поля можна зберігати тільки одну карту покриття. Карти покриття зберігаються у внутрішній пам'яті дисплея до тих пір, поки їх не видалить оператор.

Автоматична система керування (рис. 3.7) схожа на систему із ручним керуванням, однак сигнали, які надходять з комп'ютерного алгоритму, не потребують від водія ручного керування рульовим кермом, замість цього сигнали йдуть до електричних і гідравлічних керуючих виконавчих механізмів.

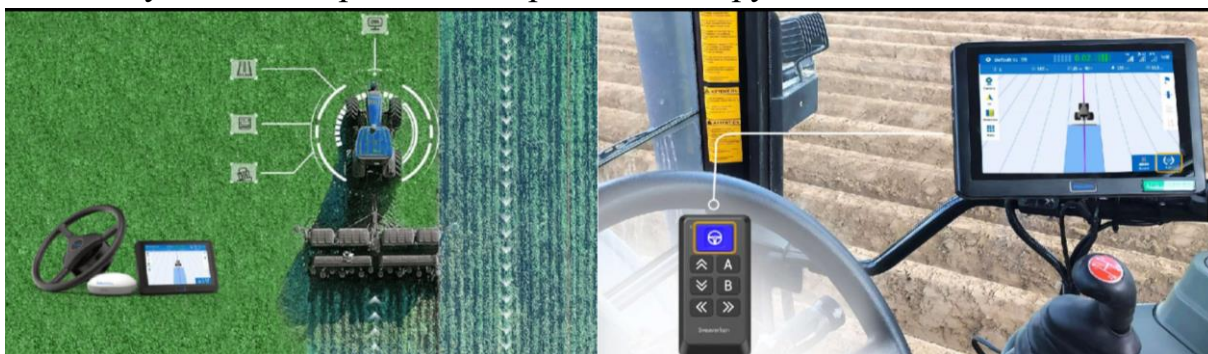


Рис. 3.7 – Система автоматичного водіння Sveaverken F100™ [6]

Дана система дозволяє автоматизувати керування трактором під час роботи на полі і включає систему різноманітних сенсорів, GPS-навігацію, алгоритми керування та інші компоненти для точного руху та виконання різних сільськогосподарських операцій. Така система зазвичай зменшує навантаження на оператора, покращує точність роботи і може оптимізувати використання палива та інших ресурсів. Завдяки високоточним навігаційним технологіям F100 легко допомагає трактору забезпечувати точність 2,5 см від проходу до проходу в умовах поганої видимості та навіть уночі.

Автопілот AT2 (рис. 3.8) від FJ Dynamics [7] являє систему автоматичного рульового керування, яка поєднує в собі технології GNSS та RTK, забезпечуючи точність до 2,5 см між проходами, незалежно від контурів та рельєфу поля. Система має наступну функціональність:

- розумний розворот буквою U;
- звичайний розворот буквою U;

- сумісність з ISOBUS;
- покращену навігаційну лінію;
- компенсацію рельєфу;
- управління обробіткою;
- простий та зручний інтерфейс;
- онлайн підключення та підтримку.



Рис. 3.8 – Автопілот AT2 від FJ Dynamics [7]

Автопілот AT2 дозволяє виконати плавне керування трактором при автоматичних розворотах на кінці рядів, забезпечує оптимальну маневреність та безперервність польових сільськогосподарських робіт. На основі ретельного аналізу меж поля виконується автоматичне планування найбільш доцільного шляху (форми) розвороту (U-подібного), який забезпечує автоматичні розвороти та закриття смуг. Також система дозволяє виконати розворот у формі «риб'ячого хвоста», що є найкращим рішенням для розвороту для малих площ полів з обмеженим місцем для розвороту на межах.

До складу системи входять (опціонально) (рис. 3.8): базова станція FJD V1, яка забезпечує точне позиціонування у складних умовах із глобальним покриттям сигналу Wi-Fi; камера FJD (3.9), яка передає відео в реальному часі (1080P) на контрольний термінал на відстань до 20 метрів, навіть уночі

(включено інфрачервоне нічне бачення); пульт керування FJD, який дозволяє дистанційно керувати автопілотом, коли незручно використовувати термінал керування, а також світч, що дозволяє з'єднати кілька ділянок мережі.



Рис. 3.9 – Інтерфейси AT2 (опціонально) від FJ Dynamics [7]:
а – FJD ISOBUS; б – FJD Wi-Fi Camera; в – пульт керування FJD Easy Control;
г – FJD Easy Switch

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями.
2. Ознайомитись з конструкцією автопілоту AT2 від FJ Dynamics.
3. Провести налаштування системи автопілоту AT2 від FJ Dynamics.

Список використаних джерел

1. Інтелектуальні системи тракторів і автомобілів, сервісний супровід : підручник / В. Д. Мигаль, М. Л. Шуляк, І. О. Шевченко. Харків : ДБТУ, «Майдан», 2023. 246 с.

2. GreenStar™ 3 2630 Display. URL: <https://www.deere.com/en/products/technology-products/precision-ag-technology/guidance/greenstar-3-2630/>.

3. Технологія точного землеробства. Вбудовані дисплеї John Deere. URL: <http://surl.li/escdzj>.

4. Трактори 8-ї серії John Deere. URL: <http://surl.li/dpnepj>.

5. METOS TSM. Безконтактне картографування ґрунту з високою роздільною здатністю для покращення зрошення та точного землеробства. URL: <https://metos.global/ua/metos-tsm/>.

6. Система автоматичного водіння Sveaverken F100™. URL: <https://www.titanmachinery.ua/tochne-zemlerobstvo/rishennya-dlya-traktoriv/sistema-avtomatichnogo-vodinnya-t-line-protrack.html>.

7. FJD AT2 AUTO STEER SYSTEM. URL: <https://www.fjdynamics.com/>.

Лабораторна робота № 4

Використання мехатронних систем контролю та керування зернозбирального комбайна

Мета роботи – ознайомлення з особливостями використання мехатронних систем в зернозбиральних комбайнах.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: наочні плакати, мультимедійне обладнання.

Вступ

Сучасні мехатронні системи комбайнів призначені не лише для аналізу витрат пального, мото-годин та інших параметрів системи, а також допомагають в організації раціональної логістики, зокрема синхронізації з іншими транспортними засобами, контролю дотримання якісних вимог процесу збору врожаю, координації переміщень і керування робочими органами комбайна (рис. 4.1).

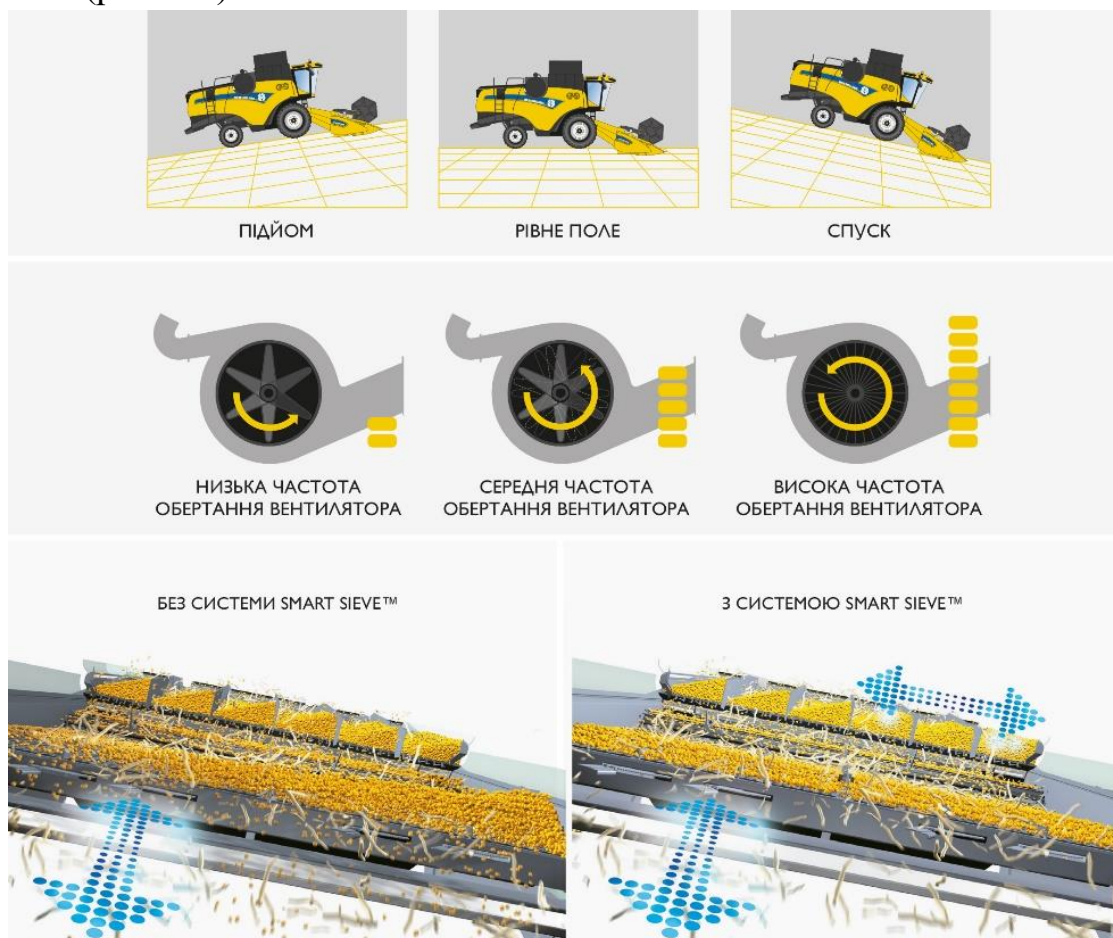


Рис.4.1 – Трикаскадна система очищення Triple-Clean™ [2]

Електронно-гідравлічні системи копіювання нерівності поверхні поля

Перехід на системи автоматичного копіювання поверхні поля, такі як «Auto Contour» (рис. 4.2), спричинив принципові зміни в конструкції стикувального вузла між жаткою і похилою камерою. У деяких варіантах конструкцій комбайнів верхня частина жатки й проставка додатково можуть бути з'єднані двома гідроциліндрами. При цьому гідроциліндри стають складовими елементами гідромеханічної або електронно-гідравлічної системи автоматичного копіювання профілю поверхні поля, а механічні системи зрівноважування відсутні [3]. Усі їхні функції виконує керована бортовим комп'ютером гідросистема. А функцію механічної частини системи зведено до забезпечення можливості незалежного повороту жатки щодо похилої камери навколо подовжньої та поперечної осі.

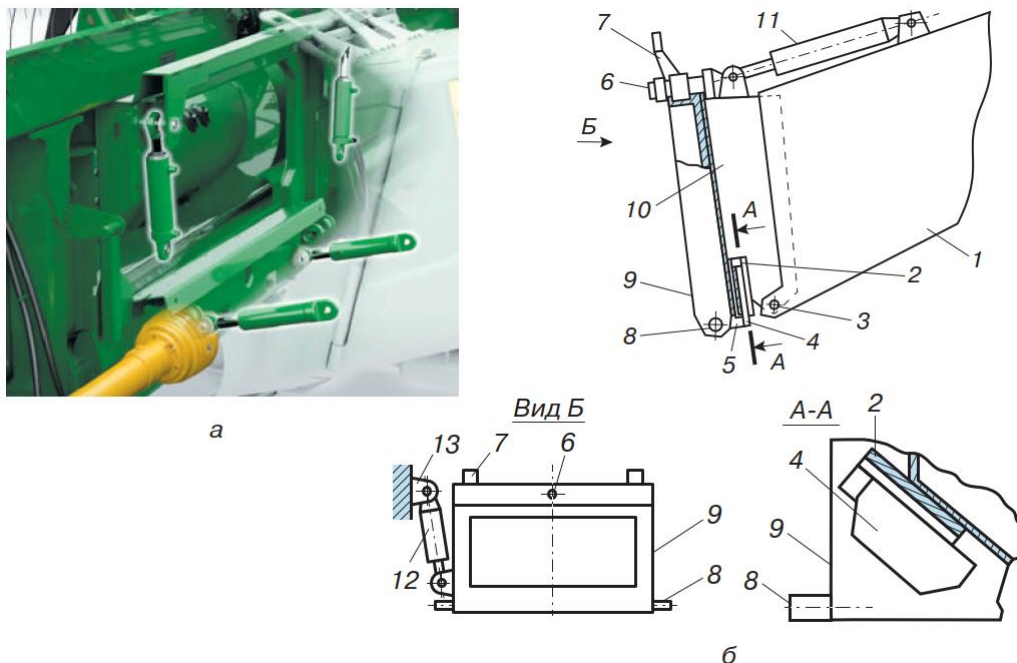


Рис. 4.2 – Принципова схема стикувального вузла між похилою камерою та жаткою (а) і розміщення гідроциліндрів зміни кута нахилу днища жатки (б) [3]: 1 – похила камера; 2 – напрямна; 3, 6 – шарніри; 4 – полоз; 5 – кронштейн; 7, 8 – стикувальні зачепи; 9 – тамбур поперечного копіювання; 10 – тамбур подовжнього копіювання; 11, 12 – гідроциліндри; 13 – кронштейн

Система стикування похилої камери й жатки комбайна, обладнаного системою автоматичного копіювання, включає коробчастий тамбур 10 прямокутної форми, з'єднаний із нижньою частиною корпусу похилої камери циліндричним шарніром (віссю) 3. У верхній частині тамбур подовжнього копіювання 10 може бути з'єднаний із похилою камерою 1 гідроциліндрами 11 («Deutz-Fahr») або гвинтовими стяжками («John Deere»). Другий тамбур –

поперечного копіювання 9 у верхній частині з'єднаний із першим подовжнім шарніром 6, а внизу – двома полозами 4, що входять до напрямних пазів 2. Гідроциліндр 12 може бути закріплений кінцями або на жатці й тамбурі 10, або на різних тамбурах. Обидва тамбури мають вікна прямокутного перерізу, які під час переїзду та зберігання можуть закриватися спеціальними щитками. Крім того, тамбур поперечного копіювання 9, який відповідно до зарубіжної термінології інколи називають маятниковою рамкою, забезпечений стикувальними зачепами 7, 8.

Подовжнє копіювання поверхні поля може здійснюватися за рахунок повороту жатки навколо осі шарнірів 3. Воно необхідне при різкому переході від рівної поверхні на схил (або навпаки). У цьому випадку за допомогою гідроциліндрів 11 можна швидко змінити кут нахилу днища жатки. Практична значущість цієї функції збільшується в комбайнів крутосхильних модифікацій, здатних автоматично вирівнювати корпус молотарки щодо горизонту.

Поперечне копіювання здійснюють за рахунок повороту жатки навколо осі 6 за допомогою гідроциліндра 12. При цьому полози 4 ковзають усередині пазів відповідних напрямних 2. Особливо актуальна ця функція в комбайнів з автоматичним вирівнюванням корпусу молотарки щодо горизонту. Межі зміни поперечного нахилу жатки варіюють від 4° у комбайна «Challenger 660/670» до 20° – у крутосхильного комбайна «Deutz-Fahr 5650». У комбайнів «John Deere» серії 9000 межі поперечного копіювання обмежені 9°. Під час переїздів гідравлічну систему копіювання блокують.

Автоматичні системи керування жаткою

Комбайни «Claas» можуть бути оснащені гідропневматичною системою врівноваження «Active Float» (рис. 4.3). Завдяки їй тиск ножового бруса на ґрунт можна адаптувати до умов збирання, не виходячи з кабіни.



Рис. 4.3 – Гідропневматичний розвантажувач ACTIVE FLOAT «Claas» [4]

Це гарантує точне ведення жатки по висоті, забезпечуючи її оптимальний тиск на ґрунт. Роботу системи автоматичного копіювання забезпечують механічні датчики (рис. 4.4), установлені під днищем жатки замість традиційних регульованих по висоті башмаків.



Рис. 4.4 – Датчики-копіри системи ACTIVE FLOAT «Claas» [4]

Датчики реєструють висоту жатки й вагове навантаження, забезпечуючи під час роботи автоматичну зміну положення жатки або її гідравлічну підтримку за допомогою гідроциліндрів відповідно до запрограмованих налаштувань (рис. 4.5).

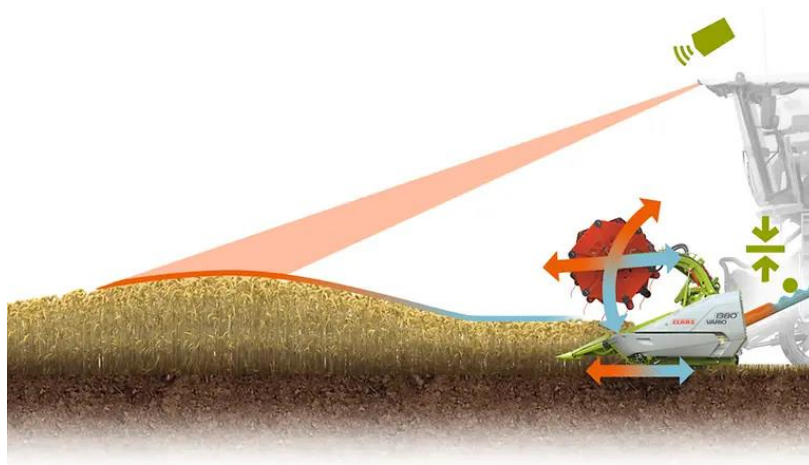


Рис. 4.5 – Самонавчальна система підтримки оператора CEMOS AUTOMATIC «Claas» [4]

Крім того, за допомогою додаткових датчиків (рис. 4.6), установлених із зовнішніх боків жатки, реєструються нерівності ґрунту, що виникають по всій ширині захвату. За рахунок цього навіть за високої швидкості руху залежно від умов експлуатації забезпечуються точне регулювання по висоті та поперечне вирівнювання жатки. Механізатор вибирає тиск на ґрунт, і система «Contour»

підтримує його постійно, тобто автоматично копіює рельєф ґрунту вздовж напрямку руху, а «Auto Contour» забезпечує копіювання нерівностей у поперечному напрямку.

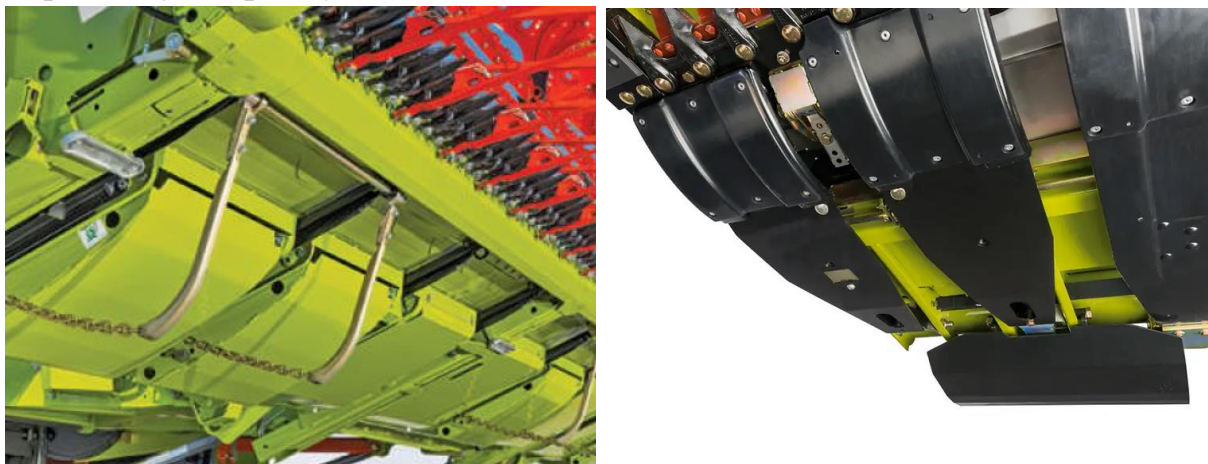


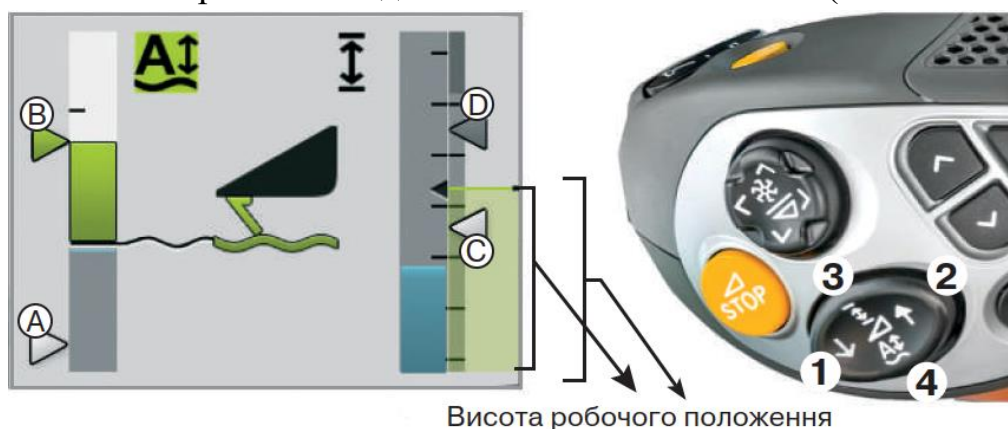
Рис. 4.6 – Розміщення датчиків на жатці

При кожному опусканні жатки функція попереднього вибору висоти зрізання гарантує автоматичне відновлення заданої висоти.

Датчики (рис. 4.6) – це дві пари пружних полозів (дуг), осі повороту яких максимально наближені до різального апарата жатки. Дублювання функції дає змогу виключити дестабілізуючий вплив на процес копіювання одиночних мікронерівностей (наприклад, каменя або великої грудки ґрунту).

У системі керування висотою зрізання «Auto Contour» є два діапазони роботи. Кнопкою 4 (рис. 4.7) обирають діапазон регулювання висоти зрізання, при якому до висоти приблизно 150 мм (шкала В) копії знаходяться в контакті із землею, а контроль тиску на ґрунт регулюють по шкалі А.

Кнопкою 3 обирають діапазон попередньої висоти зрізання: з висоти орієнтовно 150 мм копії не знаходяться в контакті із землею (шкали С і D).



Висота робочого положення

Рис. 4.7 – Установлення параметрів автоматичної системи керування жаткою [3]

Автоматична система управління жаткою SEBIS комбайна «Claas» пропонує механізатору чотири положення жатки: А – полегли зернові; положення В – рослини, які стоять; С – обкошування; D – розворот/край поля.

Для підвищення точності ведення жатки комбайна по краю нескошеного поля використовують автоматичні системи паралельного водіння «Laser Pilot» [4]. Електрооптичні датчики «Laser Pilot» за допомогою світлових імпульсів визначають край між нескошеними рослинами та стернею й автоматично спрямовують жатку комбайна по краю. Залежно від моделі комбайна система «Laser Pilot» може бути встановлена з лівого чи правого краю жатки або з обох боків одночасно. Розміщення датчика збоку (рис. 4.8) біля краю нескошених рослин забезпечує зручний кут огляду й високу точність ведення навіть при збиранні полеглих зернових на крутих схилах, а також уночі.



Рис. 4.8 – Розміщення датчиків (1) системи «Laser Pilot» на жатці комбайна «Claas» [4]

«Laser Pilot» активують за допомогою кнопки «автопілот». а чутливість роботи системи можна налаштувати залежно від властивостей збираної культури та швидкості руху комбайна. автоматичне рульове керування вимикається за допомогою незначного руху рульового колеса.

Мотовило може мати гідравлічний, електричний або механічний привід (рис. 4.9). При цьому треба мати на увазі, що використання гідромотора або електродвигуна не виключає наявність однієї або кількох знижувальних механічних передач. Так, наприклад, у комбайні «Mega» фірми «Claas» крутний момент від електродвигуна передається на вал мотовила через редуктор, клинопасовий варіатор і дві ланцюгові передачі. Крім того, передбачено можливість заміни ведучої зірочки кінцевої передачі. У результаті використання такого привода частота обертання вала мотовила може безступінчасто змінюватись у межах від 12 до 57 об/хв.

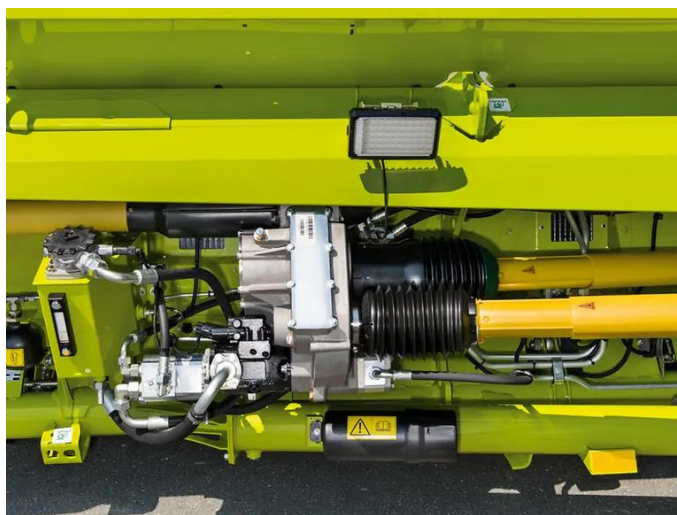


Рис. 4.9 – Трансмiсія жнивarki CONVIO FLEX «Claas» [4]

Керування багатьма сучасними комбайнами («Claas» та ін.) для спрощення процесу налаштування параметрів положення та частоти обертання мотовила, довжини столу жатки «VariO», висоти зрізання (з «Auto Contour») і кута зрізання (положення похилої камери) здійснюється за допомогою багатофункціонального джойстика або електронної системи SEBIS. При цьому механізатор може змінювати вручну та зберігати до чотирьох налаштувань індивідуальних комбінацій параметрів. Активні та збережені комбінації параметрів можна за потреби переглядати у SEBIS [5].

Прагнення поєднати велику ширину захвату комбайна з максимально низьким зрізом привело до створення так званих «гнучких жаток», різальний апарат яких спроможний копіювати поверхню поля незалежно від боковин. При цьому або пальцевий брус може згинатися, пристосовуючись до мікрорельєфу поверхні («Massey Ferguson», «Claas»), або раму виконують секційною, як жатки «John Deere HDX».

У жатці «Maxflex Claas» (рис. 4.10) для збирання сої та зернових передбачено гнучкість ножового бруса різального апарата та його електрогідравлічне блокування (збирання зернових) чи розблокування (збирання сої) за допомогою багатофункціонального джойстика або безпосередньо на жатці.

Полотняні жатки «Claas Convio Flex» з гнучким різальним апаратом призначені для збирання різних культур, наприклад злакових, ріпаку, сої, гороху, трави тощо. «Convio Flex» може працювати в чотирьох режимах:

1. Режим збирання зернових – стіл жатки та ножовий брус установлюють нерухомо.

2. Режим збирання полеглих зернових – ножовий брус установлюють нерухомо, однак під час руху можна перейти в гнучкий режим натисканням

кнопки. Це особливо корисно за наявності ділянок полеглих рослин для мінімізації втрат.

3. Ручний режим «Flex» – ножовий брус копіює контур ґрунту за допомогою башмаків. При наїзді на перешкоди гнучкий ножовий брус може відхилитися на 90 мм угору і на 135 мм – униз, копіюючи мікрорельєф. Завдяки загальній амплітуді 225 мм така жатка підходить практично для будь-якого рельєфу ґрунту.

4. Режим «Auto Flex» – це система самонавчання, яка автоматично оптимізує висоту жатки залежно від контуру ґрунту, забезпечуючи постійний максимальний діапазон копіювання рельєфу, розташування ножового бруса максимально близько до мотовила та реалізацію мінімальної висоти зрізання.



Рис. 4.10 – Гнучкий ножовий брус жатки «Maxflex Claas» (а) та привод ножового бруса «Claas Convio Flex» (б) [4, 6]

У комбайнах різних фірм широко застосовують пристрої, призначені для зворотного прокручування механізмів жатки. механічне реверсування приводу за допомогою включення відповідної гідromуфти використовують на комбайнах «John Deere» серії 9000. При цьому крутний момент передається безпосередньо від колінчастого вала двигуна, а потужність зворотного прокручування досягає 80 к. с.

Багато фірм («New Holland», «Claas», «Deutz-Fahr» та ін.) використовують як джерело крутного моменту електродвигуни типу електростартерів, що застосовують для запуску двигунів внутрішнього згорання. При спрацьовуванні втягувальної котушки приводна шестірня входить у зачеплення із зубчастим колесом великого діаметра й повертає всі робочі органи у зворотний бік. Після відключення стартера пружина приводу виводить його шестірню із зачеплення й надалі під час роботи вона не перешкоджає обертанню валів жатки та похилої камери у звичайному напрямку. Потужність такого електричного стартера може досягати 20 к. с. Привід відрізняється простотою та надійністю.

В іншому варіанті приводу як джерело крутного моменту застосовують гідромотор (комбайни «Challenger 6601670», «Case 2388» та ін).

На комбайнах «Claas» встановлюють не тільки реверс із гідравлічним приводом, а й гальмо приводу жатки. Використання гальма 1 (рис. 4.11) забезпечує ефективний захист від ушкоджень сторонніми предметами. Воно може зупинити жатку в будь-який момент за допомогою багатофункціонального джойстика в кабіні. Гальмо приводу розташоване безпосередньо на похилій камері, завдяки чому загальмовувати треба незначну кількість деталей, які мають невелику інерцію, а отже, для цього потрібний малий гальмівний момент, і гальмо менше зношується.

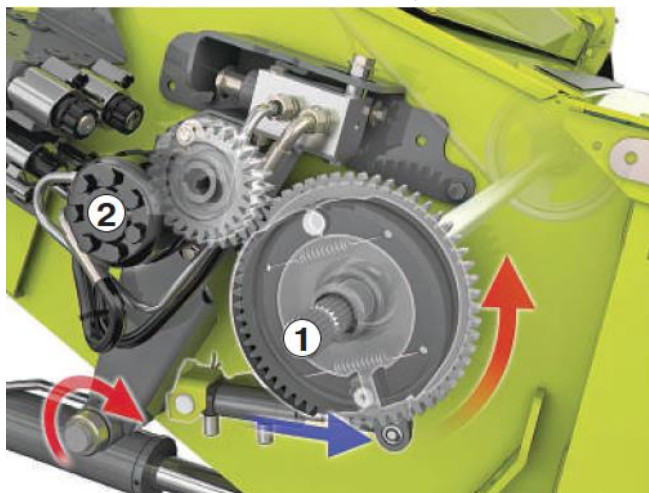


Рис. 4.11 – Гальмо приводу жатки та гідрореверс: 1 – гальмо; 2 – гідромотор реверсу [5]

Під час виникнення заторів хлібної маси гідромотор 2 забезпечує реверсування приводу. Вмикати гідрореверс можна за допомогою вимикача в кабіні. При цьому автоматично змінюється також напрям обертання гідроприводу мотовила, що додатково підтримує реверсне подання хлібної маси.

Автоматичні системи регулювання молотильного пристрою

Залежно від завантаження двигуна система «Cruise Pilot» від «Claas» автоматично регулює оптимальну швидкість збирання. При цьому система враховує різні параметри машини: швидкість руху, кількість маси в похилій камері, завантаження двигуна та втрати зерна.

Доступні такі режими руху (з урахуванням завантаження двигуна): постійна швидкість – задають значення швидкості; постійна продуктивність – задають значення продуктивності; постійна продуктивність із втратами – задають продуктивність і рівень втрат (рис. 4.12). Пріоритет управління,

наприклад, завантаження двигуна, втрати або пропускну здатність, відображають у СЕВІS.

Щоб керувати потужністю комбайна «Lexion», можна налаштувати максимальну швидкість і швидкодію регулятора відповідно до п'яти ступенів. Швидко й просто управляти можна за допомогою кнопки швидкого доступу HOTKEY.

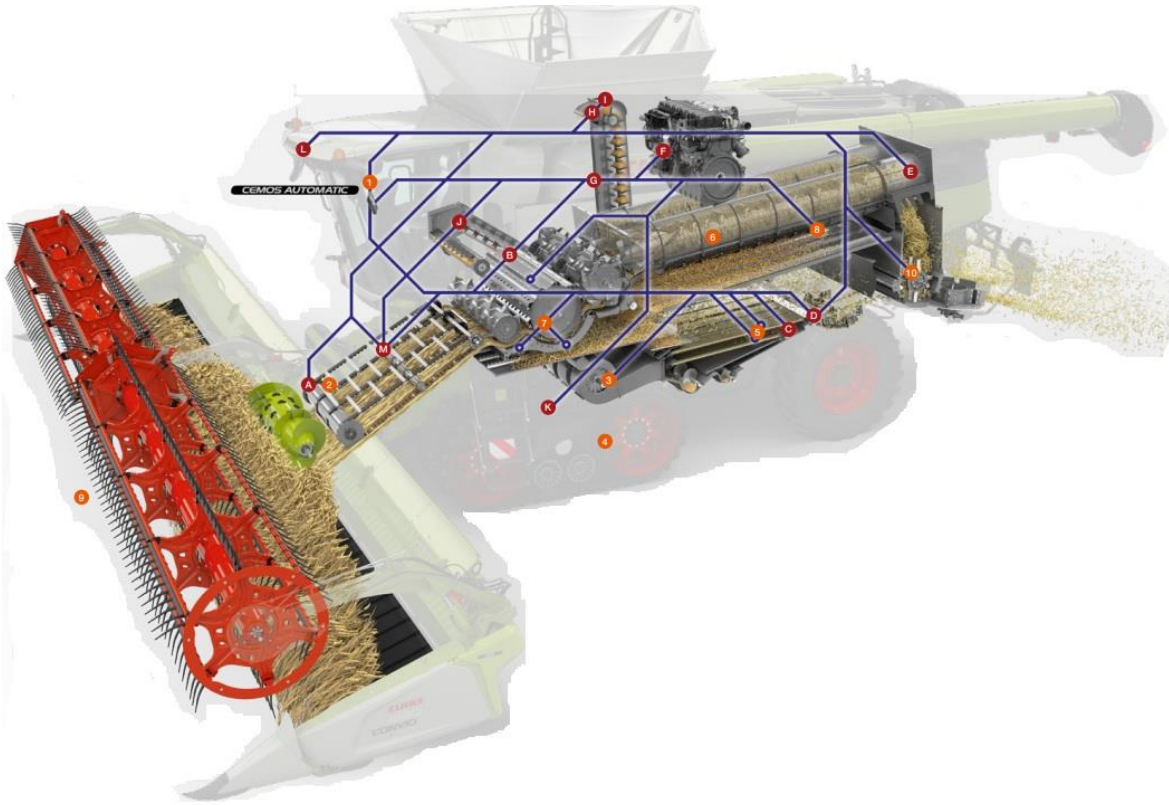


Рис. 4.12 – Система CEMOS AUTOMATIC «Claas» [5]

Функції CEMOS AUTOMATIC (рис. 4.12):

1 – CEMOS DIALOG – за допомогою запитів керує діями оператора для оптимального налаштування машини;

2 – AUTO CROP FLOW – захищає всю систему від перенавантаження (датчик В);

3 – AUTO SLOPE – регулює налаштування вентилятора на схилах (датчики К і D);

4 – CRUISE PILOT – активно регулює швидкість під час збирання (датчики А, F і D);

5 – AUTO CLEANING – покращує очищення за рахунок регулювання зазору решіт й частоти обертання вентилятора (датчики А, С, D, G, I, J і К);

6 – AUTO SEPARATION – регулює частоту обертання роторів й положення заслінок роторів для оптимізації роботи системи вторинної сепарації (датчики А, D, E, F і К);

7 – AUTO THRESHING – автоматично налаштовує зазор підбарабання та частоту обертання молотильного барабана (датчики А, В, D, Е, F, G, Н та I);

8 – Система очистки 4D – регулює положення заслінок роторів на схилах для оптимального завантаження системи очистки (датчики К, D і Е);

9 – AUTO HEADER – активно регулює положення мотовила й робочого стола жнивarki VARIO (датчики А та L);

10 – AUTO CHOPPING – покращує якість подрібнення та знижує витрату пального (датчик М).

Датчики SEMOS AUTOMATIC (рис. 4.12):

А – датчик товщини шару маси – вимірює загальну пропускну здатність машини (зерно та незернова маса);

В – система моніторингу частоти обертання – контролює частоту обертання і навантаження на приводи;

С – GRAINMETER – визначає частку зерна в системі домолоту;

D – датчик контролю пропускну здатності решітного стану – вимірює втрати на виході з решітного стану;

Е – датчик контролю пропускну здатності ROTO PLUS – вимірює втрати на виході з роторів;

F – датчик завантаження двигуна – інформує про завантаження дизельного двигуна;

G – датчик вологості зерна – вимірює вологість зерна;

Н – QUANTIMETER – визначає пропускну здатність машини по зерну/врожайність;

I – GRAIN QUALITY CAMERA – визначає якість зерна;

J – датчик об'єму домолоту – визначає загальний об'єм маси, що йде на домолот;

К – датчик нахилу – вимірює нахил машини;

L – FIELD SCANNER – вимірює висоту рослин;

М – датчик вологості соломи – вимірює вологість соломи.

Цікавим рішенням на комбайні «Lexion» стала оригінальна система автоматичного контролю потоку маси. Вона регулює потік маси від жатки до подрібнювача соломи й постійно підтримує оптимальні частоти обертання двигуна, молотильного механізму APS і системи сепарації залишкового зерна «Roto Plus».

При перевищенні встановлених меж автоматично активується гальмо жатки, вимикаються живильний апарат і приставка, знижується до 1,5 км/год швидкість, а розвантаження із зернового бункера припиняється (якщо активне). У такий спосіб унеможливується надходження нового матеріалу в комбайн,

що дає змогу уникнути або скоротити час простою внаслідок забивання чи пошкодження.

На сучасних комбайнах при пікових навантаженнях для уникнення забивання підбарабання автоматично опускаються, а потім повертаються у встановлене робоче положення (рис. 4.13).

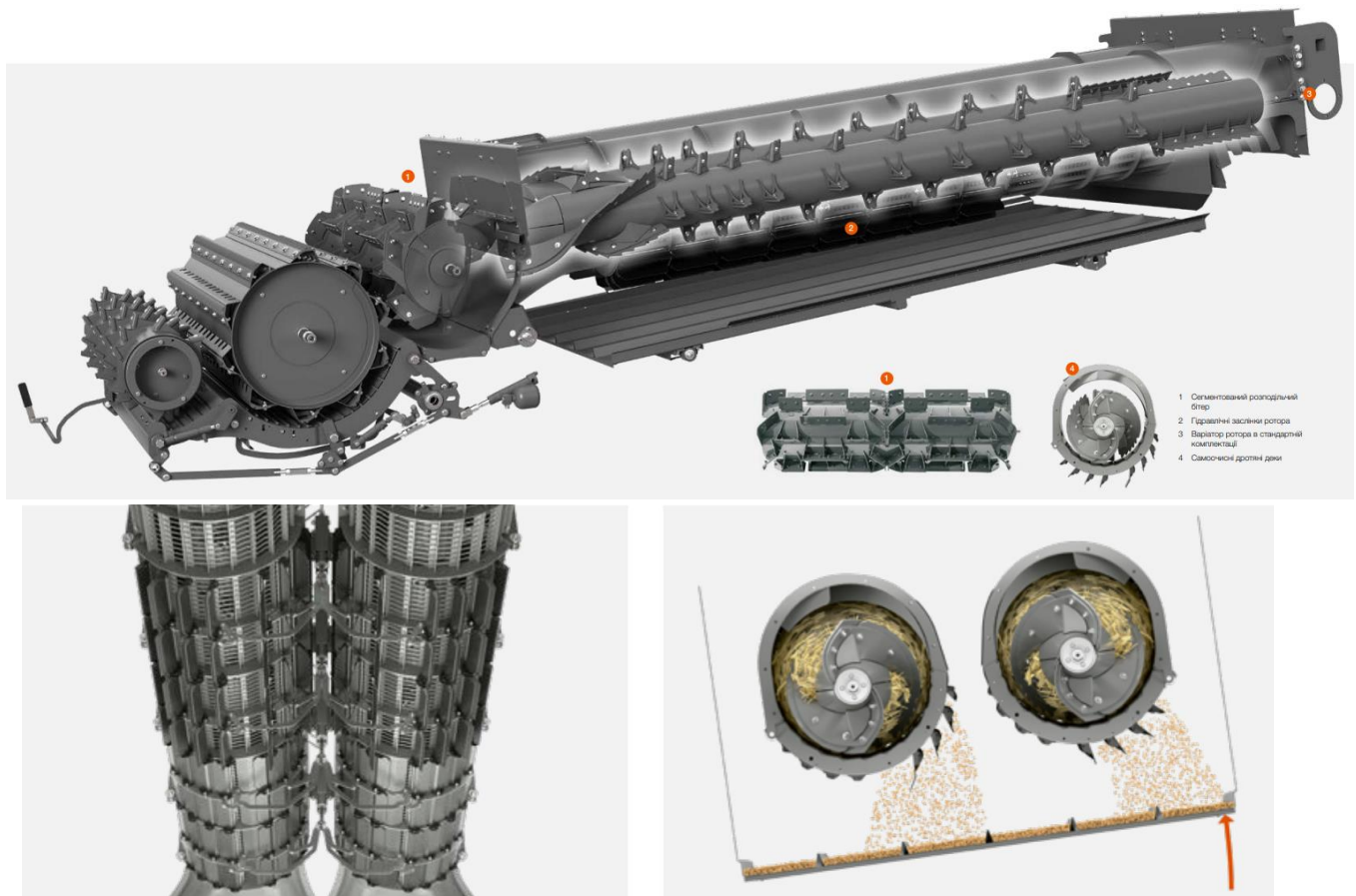


Рис. 4.13 – Гідравлічне налаштування положення заслінок ротора комбайні «Lexion» [5]: 1 – сегментований розподільчий бітер; 2 – гідравлічні заслінки ротора; 3 – варіатор ротора в стандартній комплектації; 4 – самоочисні дротяні деки.

За допомогою SEBIS можна гнучко регулювати площу вторинної сепарації. Гідравлічні заслінки ротора закривають до чотирьох дек ротора під час руху. Продуктивність очищення залишається стабільною навіть під час роботи на пересіченій місцевості. Система 4D автоматично регулює положення заслінок ротора й активно допомагає оператору у фоновому режимі.

Для швидкого реагування на зміну культури або гнучкого регулювання рівня тертя в зоні обмолоту й сепарації оператор комбайна «Lexion» може вручну підключати заслінки вхідного й основного підбарабання ззовні. Як опція заслінка основного підбарабання також пропонується з гідравлічним

приводом (рис. 4.14). Вона інтегрована в систему CEMOS AUTO THRESHING, нею можна зручно керувати з кабіни.

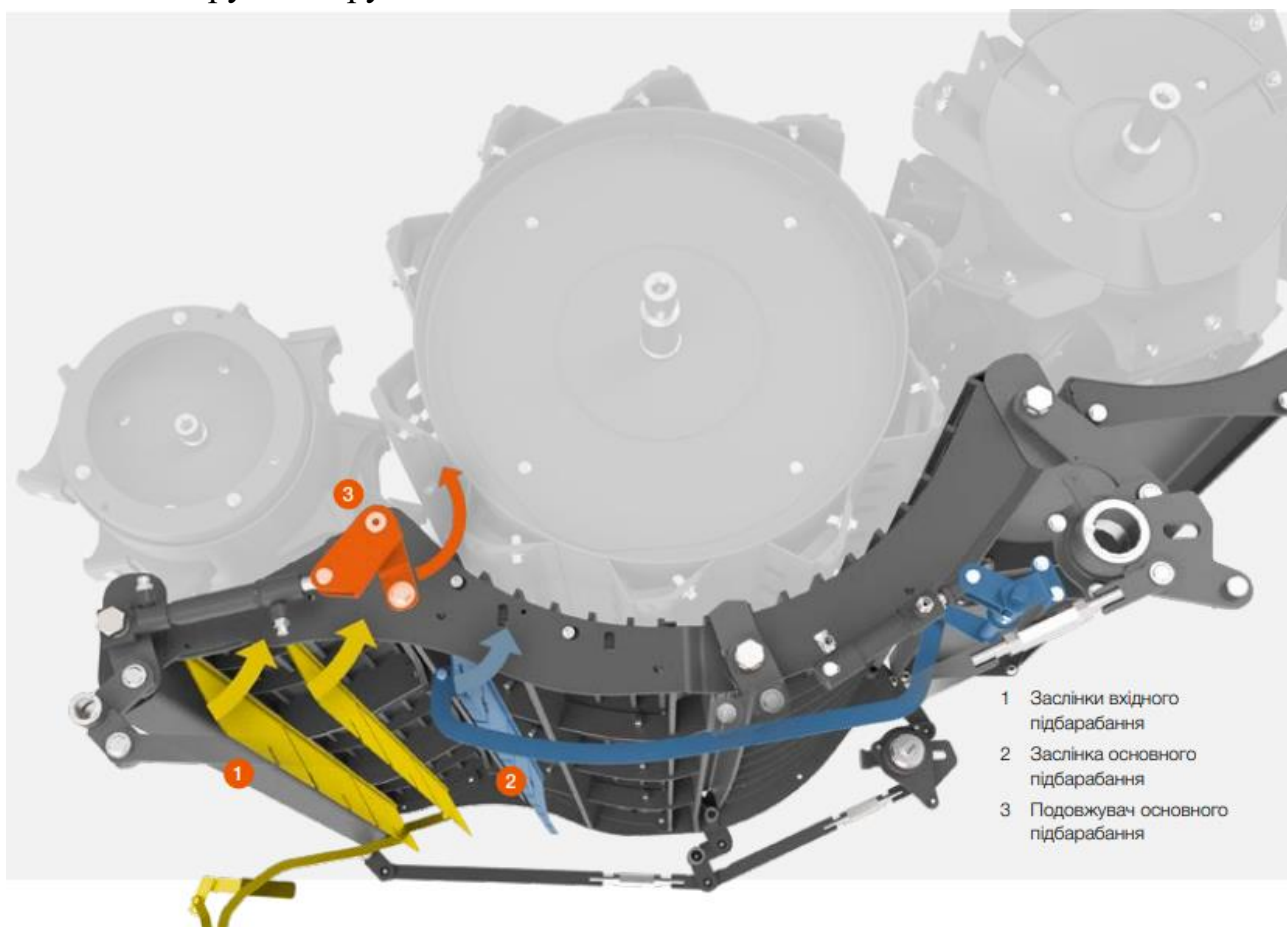


Рис. 4.14 – Молотильно-сепарувальна система APS SYNFLOW HYBRID [5]

Частота обертання молотильного барабана зручно змінюється відповідно до будь-яких умов і культур. Незалежно від ROTO PLUS її можна плавно регулювати в SEBIS у діапазоні від 330 до 930 об/хв. Частота обертання барабана-прискорювача й молотильного та подавального барабанів змінюється синхронно. Положення підбарабання можна плавно змінювати в SEBIS за допомогою гідравліки. Цей процес передбачає паралельну й синхронну зміну положення вхідного й основного підбарабання. Це гарантує, що потік маси завжди буде проходити рівномірно та без надмірного пошкодження соломи. Інтегрований захист від перенавантаження запобігає забиванню і захищає систему обмолоту від пошкоджень.

Для чистого обмолоту за будь-яких умов, наприклад, у разі ускладненого відділення остюків або полови, гідрокерований подовжувач основного підбарабання можна активувати в SEBIS. Як і гідравлічний привод заслінки основного підбарабання, цю функцію також інтегровано в CEMOS AUTO THRESHING.

Порядок виконання роботи:

1. Ознайомитись з теоретичними відомостями.
2. Ознайомитись з мехатронними системами зернозбиральних комбайнів.

Список використаних джерел

1. Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Основи керування зернозбиральними комбайнами John Deere» / Укл.: А.І. Бойко, А.В. Новицький, П.С. Попик. Видавничий центр НУБіП України, 2013. 30 с.
2. Комбайн СН 7.70 New Holland. URL: <https://technotorg.com/katalog-uk/silgosptekhnika/kombaini/novinka-kombain-ch-7-70-new-holland/>.
3. Комбайни зернозбиральні : навч. посібн. / Микола Макаренко, Ольга Мельник. Київ : Грамота, 2023. 256 с.
4. Розумні технології на конвеєрі. CONVIO FLEX / CONVIO. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/sil-skohospodarski-mashyny/zernozbyralni-kombayny/convio>.
5. Зернозбиральний комбайн LEXION 8000/7000. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/sil-skohospodarski-mashyny/zernozbyralni-kombayny/lexion-8000>.
6. Жниварки MAXFLEX 930–560. URL: <https://www.claas.com/uk-ua/sil-skohospodarski-mashyny/zernozbyralni-kombayny/maxflex>.

Лабораторна робота № 5

Програмування систем керування технологічними процесами агропромислового виробництва при проектуванні мехатронних систем в середовищі ARDUINO

Мета роботи – засвоїти основи роботи багатофункціональної плати керування Arduino Uno R3, отримати практичні навички програмування у середовищі Arduino IDE, що необхідні для вирішення задачі створення автоматизованих системам керування технологічними процесами агропромислового виробництва.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: персональний комп'ютер із встановленим програмним середовищем Arduino IDE, плата керування Arduino Uno R3, електронні компоненти.

Теоретичні відомості

Застосування багатофункціональної плати керування Arduino в агропромисловому виробництві

Для забезпечення автоматизації виконання виробничих процесів в агропромисловому виробництві на базі сучасних мехатронних систем дозволяє виконувати окремі операції на основі даних, отриманих від різноманітних датчиків і сенсорів. Такі мехатронні системи повинні бути оснащеними блоками керування. На сьогодні найбільш розповсюдженою і доступною елементною базою для таких блоків керування є багатофункціональні плати Arduino.

Прикладом використання блоків керування на базі плати Arduino в сільському господарстві є керування наступними технологічними процесами: полив рослин, висів насіння (по типу селекційної сівалки «Клен»), сепарація насіннєвого матеріалу культурних рослин, збирання врожаю, обробка полів гербіцидами і внесення мінеральних добрив та мікропрепаратів, приготування і роздача рідких кормів, доїння корів, забезпечення мікроклімату тваринницьких і складських приміщень та ін. Такий великий спектр застосування блоків керування на базі плати Arduino дозволяє зробити висновок про необхідність для здобувачів вищої освіти в отриманні практичних навичок в розробці відповідних модельних пристроїв і програмування у середовищі Arduino IDE.

50 кОм за допомогою виконання команди `pinMode ()` в режимі `INPUT_PULLUP`. Допустимий струм на кожному з виходів – 20 мА, не більше 40 мА в піке.

Для зручності роботи деякі піни поєднують в собі кілька функцій:

- Піни 0 і 1 – контакти UART (RX і TX відповідно).
- Піни з 10 по 13 – контакти SPI (SS, MOSI, MISO і SCK відповідно)
- Піни A4 і A5 – контакти I2C (SDA і SCL відповідно).

Піни з номерами від 0 до 13 є цифровими. Це означає, що ви можете зчитувати і подавати на них тільки два види сигналів: HIGH і LOW. За допомогою ШІМ також можна використовувати цифрові порти для управління потужністю підключених пристроїв.

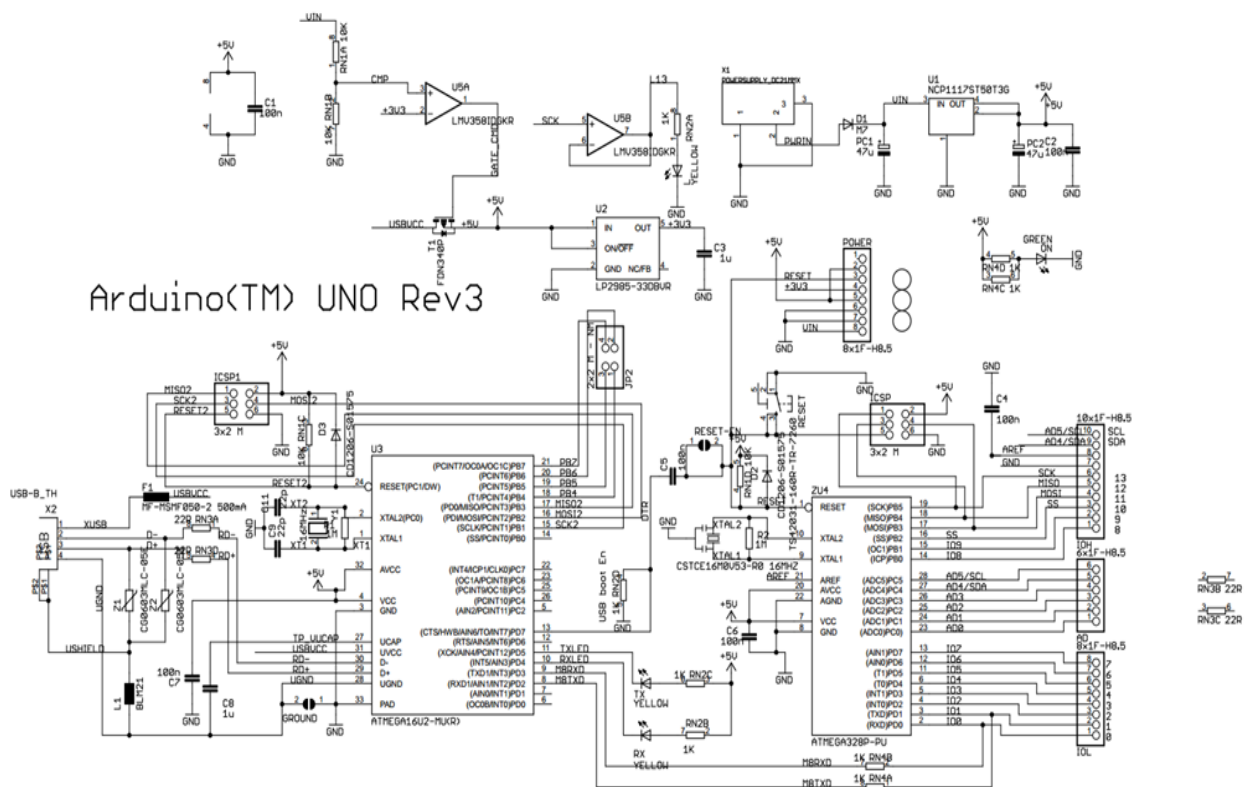


Рис. 5.2 – Принципова схема плати Arduino Uno на базі АТmega328

Аналогові піни Arduino Uno призначені для підключення аналогових пристроїв і є входами для вбудованого аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який в Arduino Uno десятирозрядний.

Додаткові піни на платі:

- AREF – видає опорну напругу для вбудованого АЦП. Може управлятися функцією `analogReference ()`.
- RESET – подача низького сигналу на цьому вході призведе до перезавантаження пристрою.

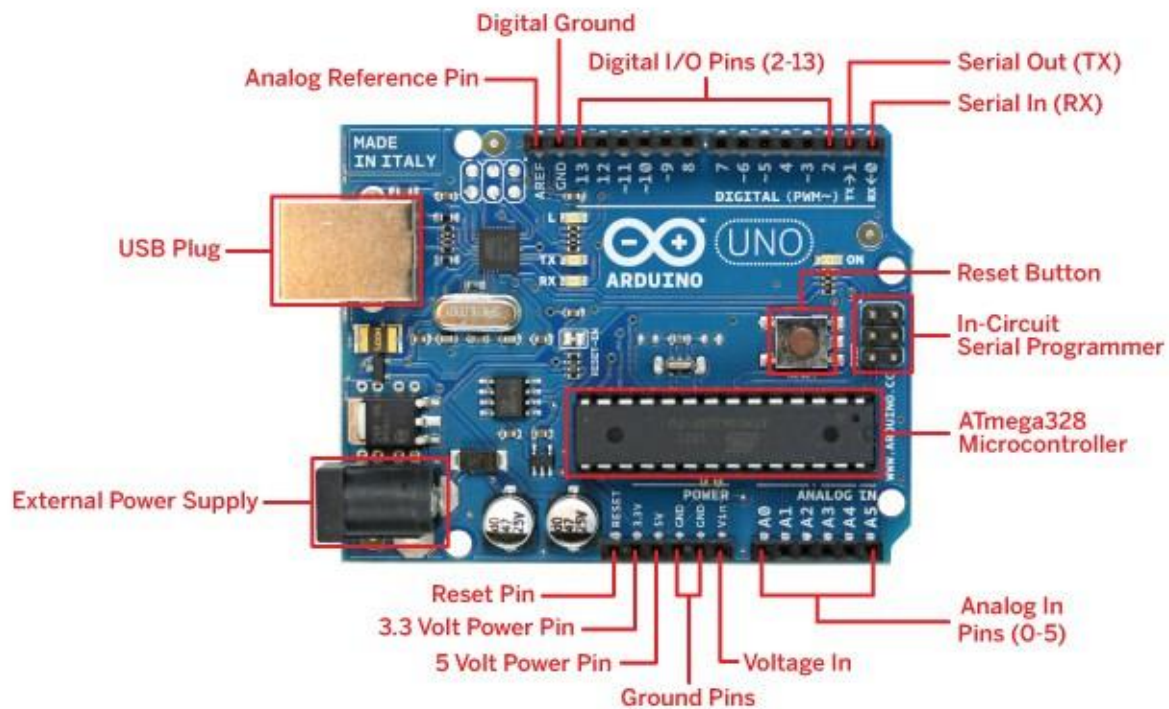


Рис. 5.3 – Опис елементів плати Arduino Uno на базі ATmega328

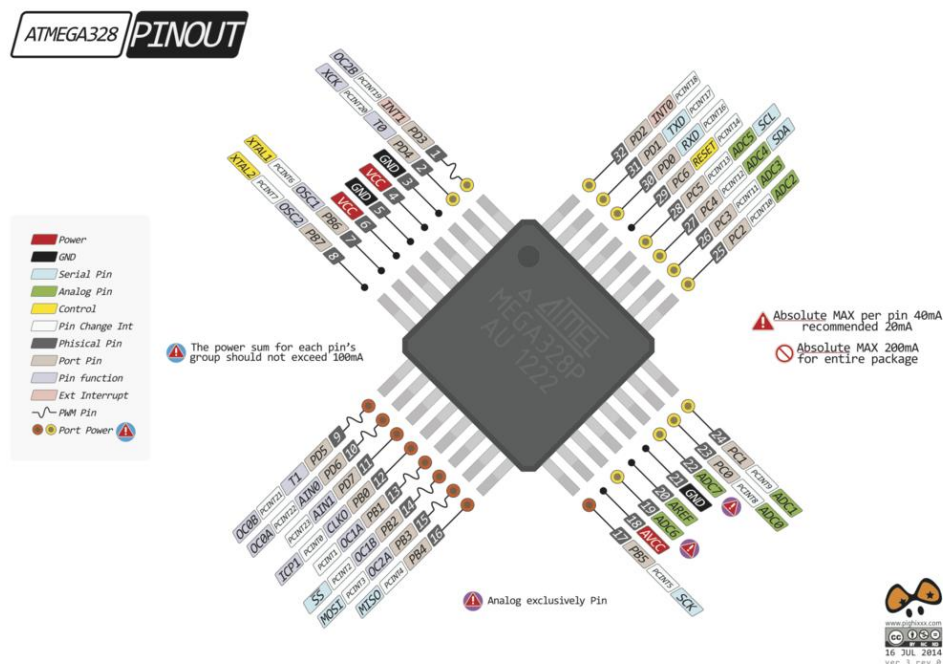


Рис. 5.4 – Опис елементів плати Arduino Uno на базі ATmega328

Підключення будь-якого пристрою до плати здійснюється шляхом приєднання до контактів, що розташовані на платі контролера: одного з цифрових або аналогових пінів або пінам живлення. Простий світлодіод можна

приєднати (рис. 5.5), використовуючи два контакти: землю (GND) і сигнальний (або контакт живлення).

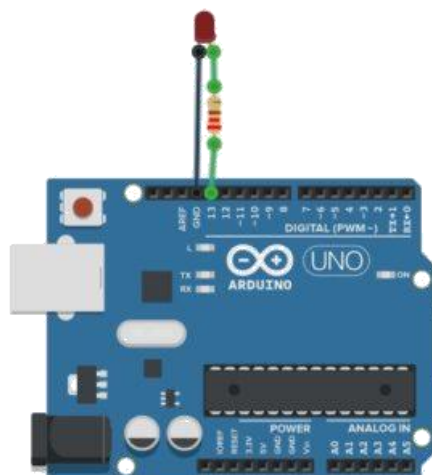


Рис. 5.5 – Приєднання світлодіода до плати Arduino Uno

Найпростіший датчик потребує задіяння мінімум трьох контактів: два для живлення, один для сигналу (рис. 5.6).

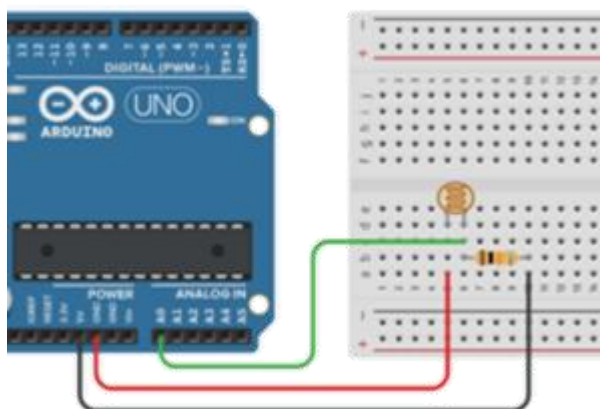


Рис. 5.6 – Приєднання фотодатчика до плати Arduino Uno

При будь-якому варіанті підключення зовнішнього пристрою слід пам'ятати, що використання плати в якості джерела живлення можливо тільки в тому випадку, якщо пристрій не споживає більше дозволеного граничного струму контролера.

Робоча напруга плати Arduino Uno – 5 В. На платі встановлений стабілізатор напруги, тому на вхід можна подавати живлення з різних джерел. Крім цього, плату можна живити з USB-пристроїв. Джерело живлення вибирається автоматично.

Рекомендований напруга живлення від зовнішнього адаптера від 7 до 12 В. Максимальна напруга 20 В, але значення вище 12 В з високою часткою ймовірності швидко виведе плату з ладу. Напруга менше 7 В може призвести до

нестабільної роботи, тому що на вхідному каскаді може запросто губитися 1–2 В. Для підключення живлення можна використовуватися вбудований роз'єм DC 2.1 мм або безпосередньо вхід VIN для підключення джерела за допомогою дротів.

Подача 5 В безпосередньо на пін 5 V. В цьому випадку обходиться вхідний стабілізатор і навіть найменше перевищення напруги може привести до проблем із виробом.

Піни живлення:

5V – на цей пін Ардуїно подає 5 В, його можна використовувати для живлення зовнішніх пристроїв;

3.3V – на цей пін від внутрішнього стабілізатора подається напруга 3.3 В;

GND – вивід землі;

VIN – пін для подачі зовнішньої напруги;

IREF – пін для інформування зовнішніх пристроїв про робочу напругу плати.

Плата Arduino Uno за замовчуванням підтримує три типи пам'яті.

Flash – пам'ять об'ємом 32 кБ. Це основне сховище для команд. Коли ви прошиваєте контролер своїм скетчем, він записується саме сюди. 2 кБ з даного пулу пам'яті відводиться на bootloader – програму, яка займається ініціалізацією системи, завантаження через USB і запуску скетчу.

Оперативна SRAM пам'ять об'ємом 2 кБ. Тут по-замовчуванню зберігаються змінні і об'єкти, створювані в ході роботи програми. Пам'ять ця енергозалежна, при виключенні живлення всі дані, зрозуміло, зітруться.

Незалежна пам'ять (EEPROM) обсягом 1 кБ. Тут можна зберігати дані, що не зітруться при виключенні контролера. Але процедура запису і зчитування EEPROM вимагає використання додаткової бібліотеки, яка доступна в Arduino IDE за замовчуванням. Також важливо пам'ятати про обмеження циклів перезапису, властивих технології EEPROM.

Для написання програм (скетчів) для контролера Arduino потрібно встановити середовище програмування. Найпростішим варіантом буде установка безкоштовної Arduino IDE, скачати її можна з офіційного сайту.

Після установки IDE потрібно переконатися, що обрана потрібна плата. Для цього у Arduino IDE в меню "Інструменти" і підпункті "Плата" слід вибрати нашу плату (Arduino / Genuino Uno). Після вибору плати автоматично зміняться параметри збірки проекту і підсумковий скетч буде скомпільовано в формат, який підтримує плата. Підключивши контролер до комп'ютера через USB, можна в один дотик заливати на нього програму, використовуючи команду "Завантажити".

Сам скетч найчастіше представляє собою нескінченний цикл, в якому регулярно опитуються піни з приєднаними датчиками і за допомогою спеціальних команд формується керуючий вплив на зовнішні пристрої (вони включаються або вимикаються). У програміста Arduino є можливість підключити готові бібліотеки, як вбудовані в IDE, так і доступні на численних сайтах і форумах.

Написана і скомпільована програма завантажується через USB-з'єднання (UART-Serial). З боку контролера за цей процес відповідає bootloader.

Практична частина

Створення сигнальної апаратури на основі підключення світлодіода до плати Arduino Uno

Для підключення світлодіода до плати Arduino Uno і управління ним знадобиться: плата Arduino Uno, breadboard, 2 дроти «тато-тато», світлодіод, резистор. Також буде потрібно програма Arduino IDE, яку можна завантажити з сайту Arduino.

Breadboard вдає із себе сітку з гнізд, які з'єднанні між собою (рис. 5.7, а), схема підключення світлодіода до Arduino показана на рис. 5.7, б.

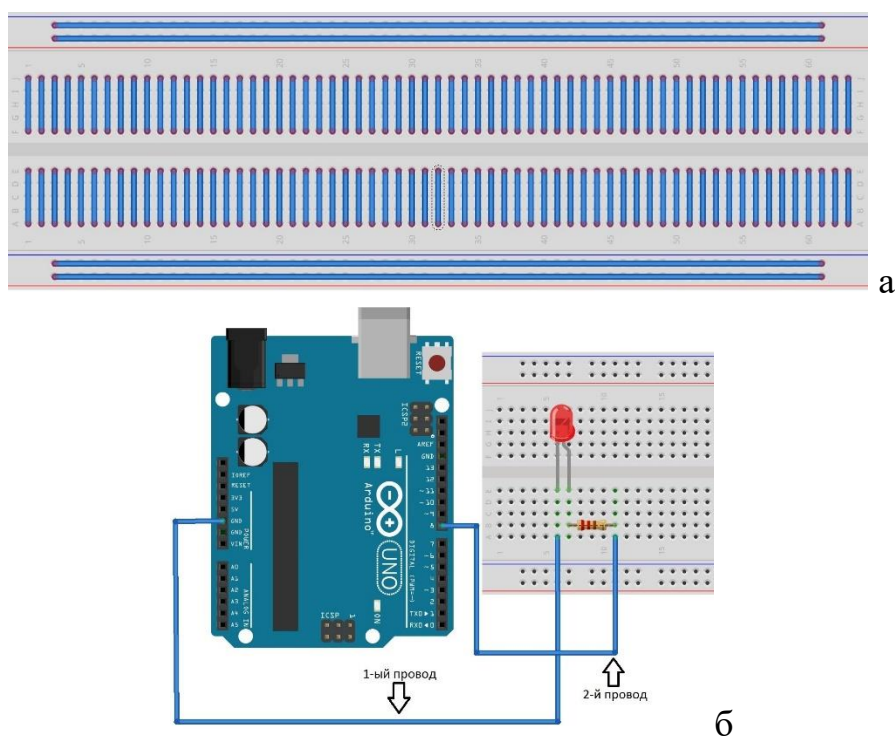


Рис. 5.7 – Загальний вигляд Breadboard (а) та схема підключення світлодіода до Arduino (б)

Для роботи цієї моделі підійде наступна програма (програму ви можете просто скопіювати в Arduino IDE):

```
int led = 8; // оголошення змінної цілого типу, що містить номер порту до якого підключено другий провід

void setup () // обов'язкова процедура setup, яка запускається на початку програми; оголошення процедур починається словом void

{
    pinMode (led, OUTPUT); // оголошення використовуваного порту, led – номер порту, другий аргумент – тип використання порту – на вхід (INPUT) або на вихід (OUTPUT)
}

void loop () // обов'язкова процедура loop, що запускається циклічно після процедури setup

{
    digitalWrite (led, HIGH); // ця команда використовується для включення або виключення напруги на цифровому порту; led – номер порту, другий аргумент – включення (HIGH) або вимикання (LOW)

    delay (1000); // ця команда використовується для очікування між діями, аргумент – час очікування в мілісекундах

    digitalWrite (led, LOW);
    delay (1000);
}
```

Створення апаратури для керування на основі підключення кнопки до плати Arduino Uno

Наступним етапом є підключення до Arduino кнопки і світлодіода. При натисненні на кнопку світлодіод буде горіти, при віджатій кнопці – не буде. Це одна з базових схем, яка неодноразово знадобиться в майбутньому і може використовуватися для управління процесами на Arduino.

Для складання моделі нам буде потрібно: плата Arduino Uno, Breadboard, 5 проводів і/або перемичок «тато-тато», світлодіод, кнопка, резистори на 10 кОм і 220 Ом.

Схема підключення моделі Arduino з кнопкою і світлодіодом приведена на рис. 5.8.

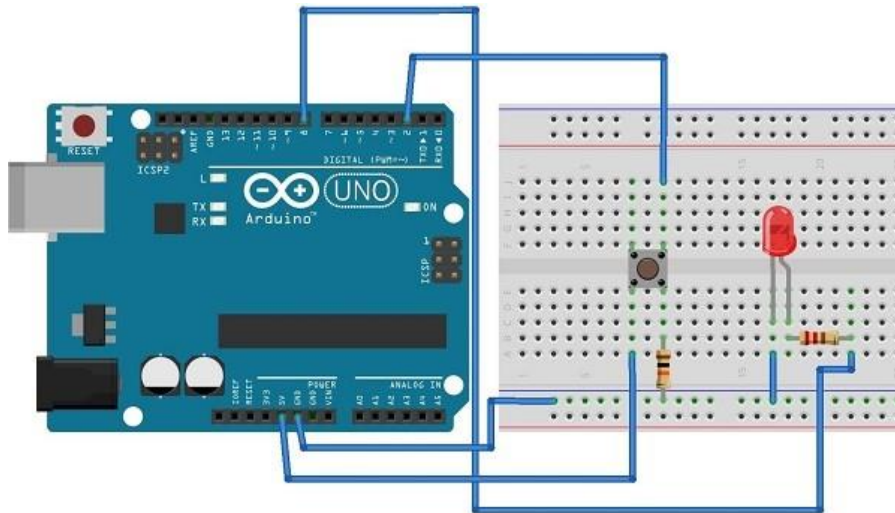


Рис. 5.8 – Схема підключення моделі Arduino з кнопкою і світлодіодом

Для роботи цієї моделі підійде наступна програма:

```
int button = 2;
int led = 8;
void setup() {
    pinMode(led, OUTPUT);
    pinMode(button, INPUT);
}
void loop(){
    if (digitalRead(button) == HIGH) {
        digitalWrite(led, HIGH);
    }
    else {
        digitalWrite(led, LOW);
    }
}
```

Загальний вигляд зібраної моделі Arduino з кнопкою і світлодіодом приведено на рис. 5.9.

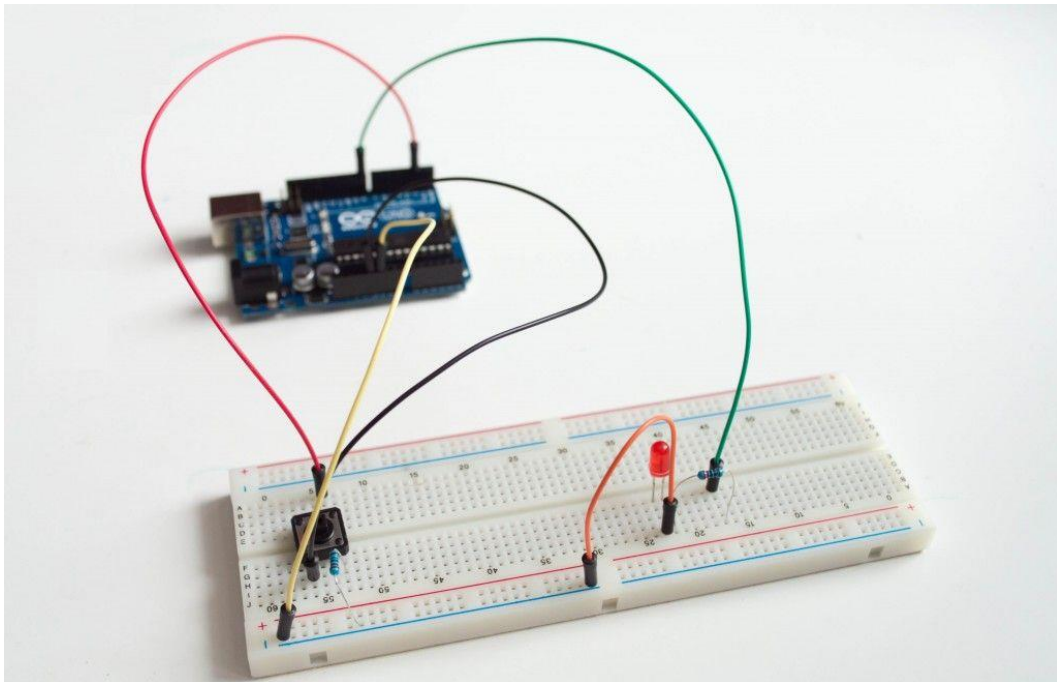


Рис. 5.9 – Загальний вигляд моделі Arduino з кнопкою і світлодіодом

Створення апаратури для керування на основі підключення потенціометра до плати Arduino Uno

Потенціометр – це змінний резистор з регульованим опором. Потенціометри використовуються в робототехніці як регулятори різних параметрів – гучності звуку, потужності, напруги і т.п. У нашій моделі від повороту ручки потенціометра буде залежати яскравість світлодіода. Це також одна з базових схем.

Для складання моделі нам буде потрібно: плата Arduino; Breadboard; 6 проводів і/або перемичок "тато-тато"; світлодіод; потенціометр (змінний резистор); резистор на 220 Ом; середовище Arduino IDE.

Схема підключення моделі Arduino з потенціометром і світлодіодом приведена на рис. 5.10.

Для роботи цієї моделі підійде наступна програма:

```
// даємо імена пінів з світлодіодом і потенціометром
#define led 9
#define pot A0
void setup () {
    // пін з світлодіодом – вихід
    pinMode (led, OUTPUT);
    // пін з потенціометром – вхід
    pinMode (pot, INPUT);
}
```

```

}
void loop () {
    // оголошуємо змінну x
    int x;
    // зчитуємо напругу з потенціометра:
    // буде отримано число від 0 до 1023
    // ділимо його на 4, вийде число в діапазоні
    // 0-255 (дрібна частина буде відкинута)
    x = analogRead (pot) / 4;
    // видаємо результат на світлодіод
    analogWrite (led, x);
}

```

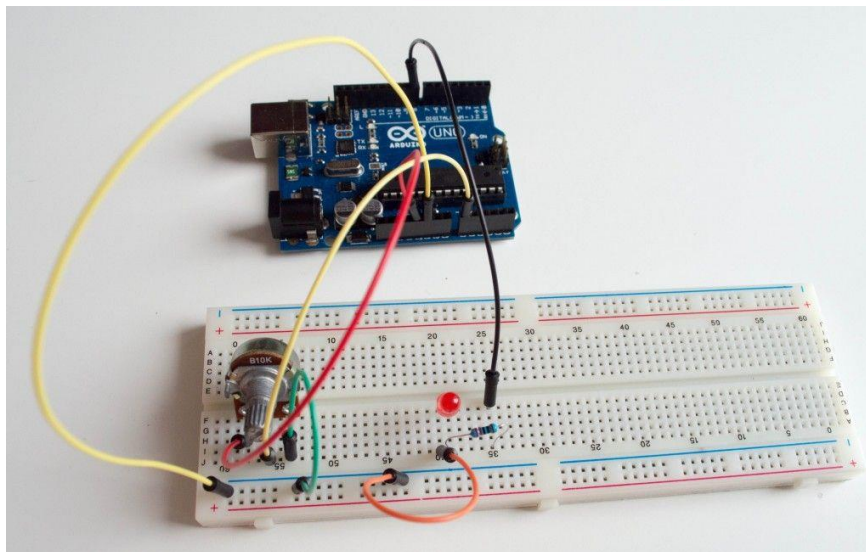
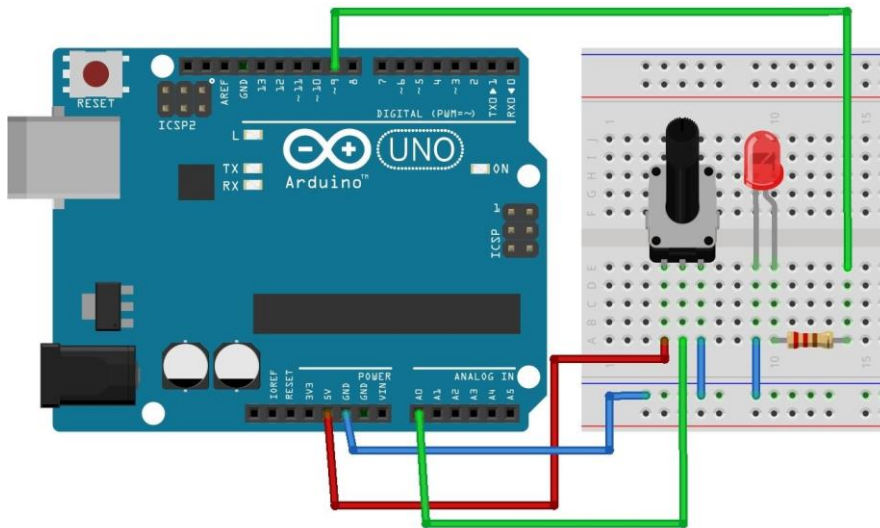


Рис. 5.10 – Схема підключення і загальний вигляд моделі Arduino з потенціометром і світлодіодом

Створення сигналізатора на основі підключення п'єзоелемента до плати Arduino Uno

П'єзоелемент – електромеханічний перетворювач, одним з різновидів якого є п'єзовипромінювач звуку, який також називають п'єзодинаміком, просто дзвінком або англійською buzzer. П'єзодинамік переводить електричну напругу в коливання мембрани. Ці коливання і створюють звук (звукову хвилю).

У нашій моделі частоту звуку можна регулювати, задаючи відповідні параметри в програмі. Така модель може бути вбудована в систему, який буде видавати звуки і сигналізувати про виконанні процесу.

Для складання моделі з п'єзоелементом нам буде потрібно: плата Arduino, дроти "тато-тато", п'єзоелемент, програма Arduino IDE.

Схема підключення моделі Arduino з п'єзоелементом та загальний вигляд приведені на рис. 5.11.

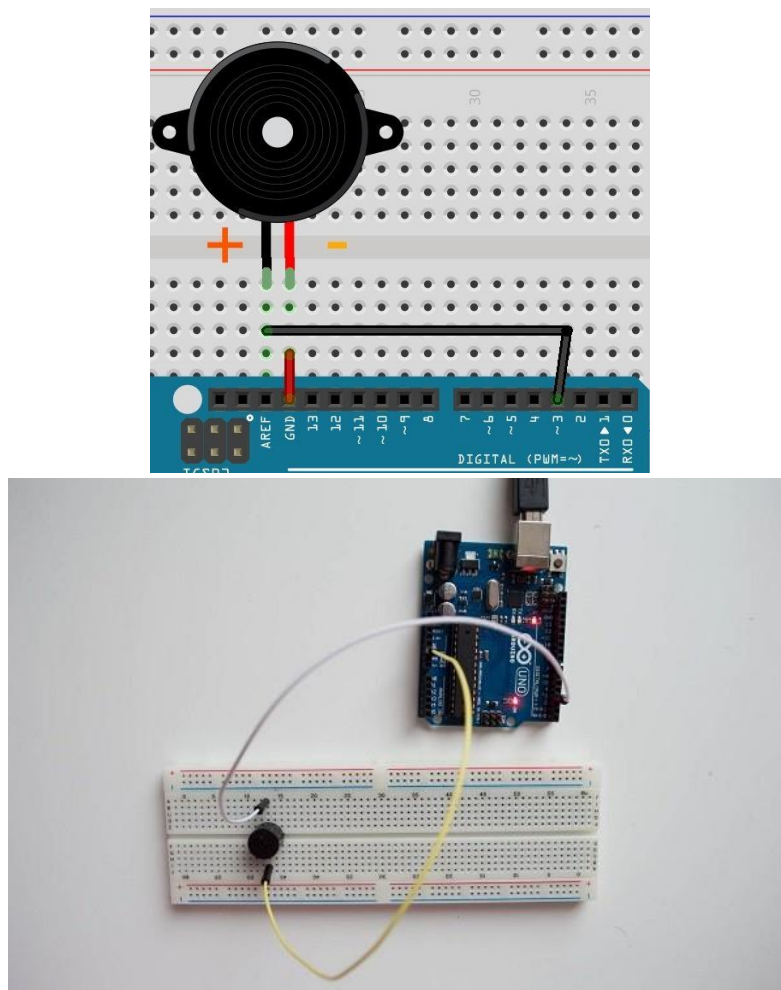


Рис. 5.11 – Схема підключення моделі Arduino з п'єзоелементом та її загальний вигляд

Для роботи цієї моделі підійде наступна програма:

```
int p = 3; // оголошуємо змінну з номером піна, на
          // який ми підключили п'єзоелемент
void setup () // процедура setup
{
    pinMode (p, OUTPUT); // оголошуємо пін як вихід
}
void loop () // процедура loop
{
    tone (p, 500); // включаємо на 500 Гц
    delay (100); // чекаємо 100 Мс
    tone (p 1000); // включаємо на 1000 Гц
    delay (100); // чекаємо 100 Мс
}
```

Створення сигналізатора на основі підключення триколіорового світлодіода до плати Arduino Uno

Триколірний світлодіод (rgb led) – це три світлодіода різних кольорів в одному корпусі. Вони бувають як з невеликою друкованою платою, на якій розташовані резистори, так і без вбудованих резисторів. Ми розглянемо обидва варіанти.

Для складання моделі з триколіоровим світлодіодом нам буде потрібно: плата Arduino, триколіоровий світлодіод, програма Arduino IDE. Якщо використовується світлодіод без резисторів, нам також буде потрібно: Breadboard, 4 дроти "тато-тато", 3 резистора на 220 Ом.

При роботі з триколіоровим світлодіодом без вбудованих резисторів необхідно мати на увазі, що призначення ніжок світлодіода можна визначити по її довжині. Найдовша – земля (GND), коротше – зелений (G), ще коротше – блакитний (B), а найкоротша – червоний (R).

Схема підключення моделі Arduino з триколіоровим світлодіодом з вбудованими резисторами приведена на рис. 5.12 (а), без вбудованих резисторів – на рис. 5.12 (б).

Для управління цією моделлю підійде наступна програма:

```
// оголошуємо змінні з номерами пінів
int r = 13;
int g = 12;
int b = 11;
void setup () // процедура setup
```

```

{
  // оголошуємо використовувані порти
  pinMode (r, OUTPUT);
  pinMode (g, OUTPUT);
  pinMode (b, OUTPUT);
}
void loop () // процедура loop
{
  digitalWrite (r, HIGH); // включаємо червоний
  delay (500); // чекаємо 500 Мс
  digitalWrite (r, LOW); // вимикаємо червоний
  digitalWrite (g, HIGH); // включаємо зелений
  delay (500); // чекаємо 500 Мс
  digitalWrite (g, LOW); // вимикаємо зелений
  digitalWrite (b, HIGH); // включаємо синій
  delay (500); // чекаємо 500 Мс
  digitalWrite (b, LOW); // вимикаємо синій
}

```

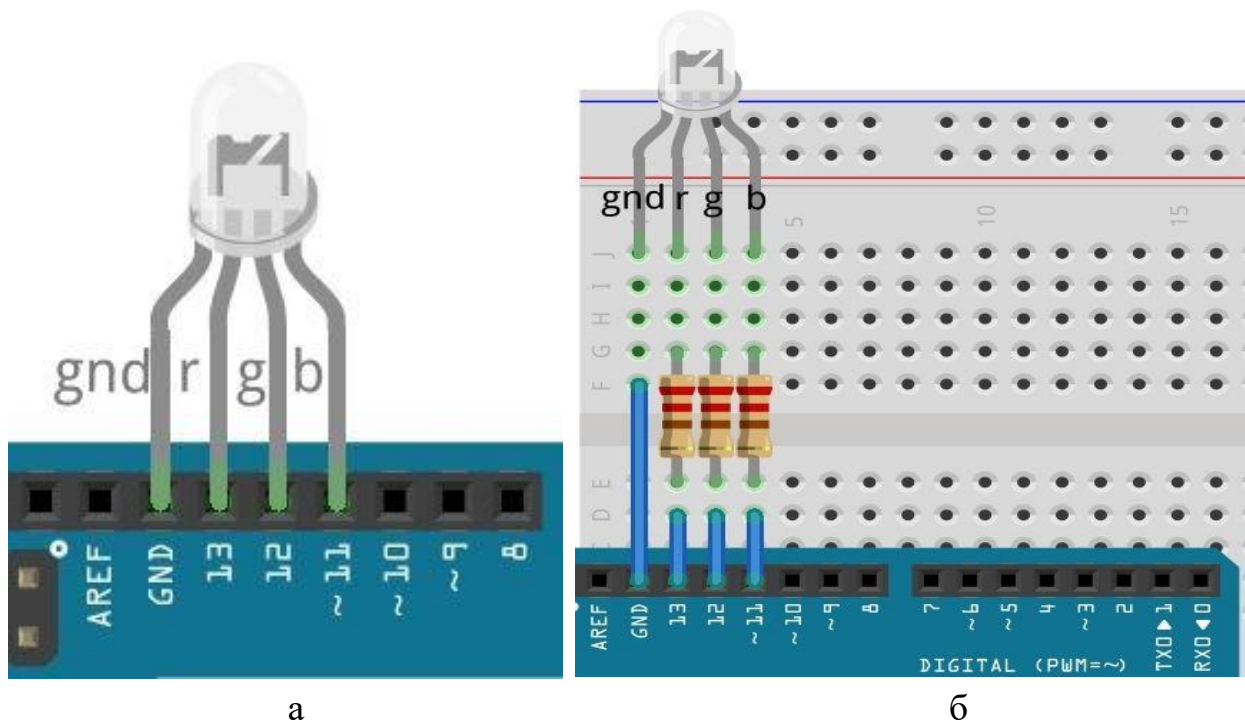


Рис. 5.12 – Схема підключення моделі Arduino з триколіровим світлодіодом

Загальний вигляд зібраної моделі Arduino з триколіровим світлодіодом без вбудованих резисторів приведена на рис. 5.13.

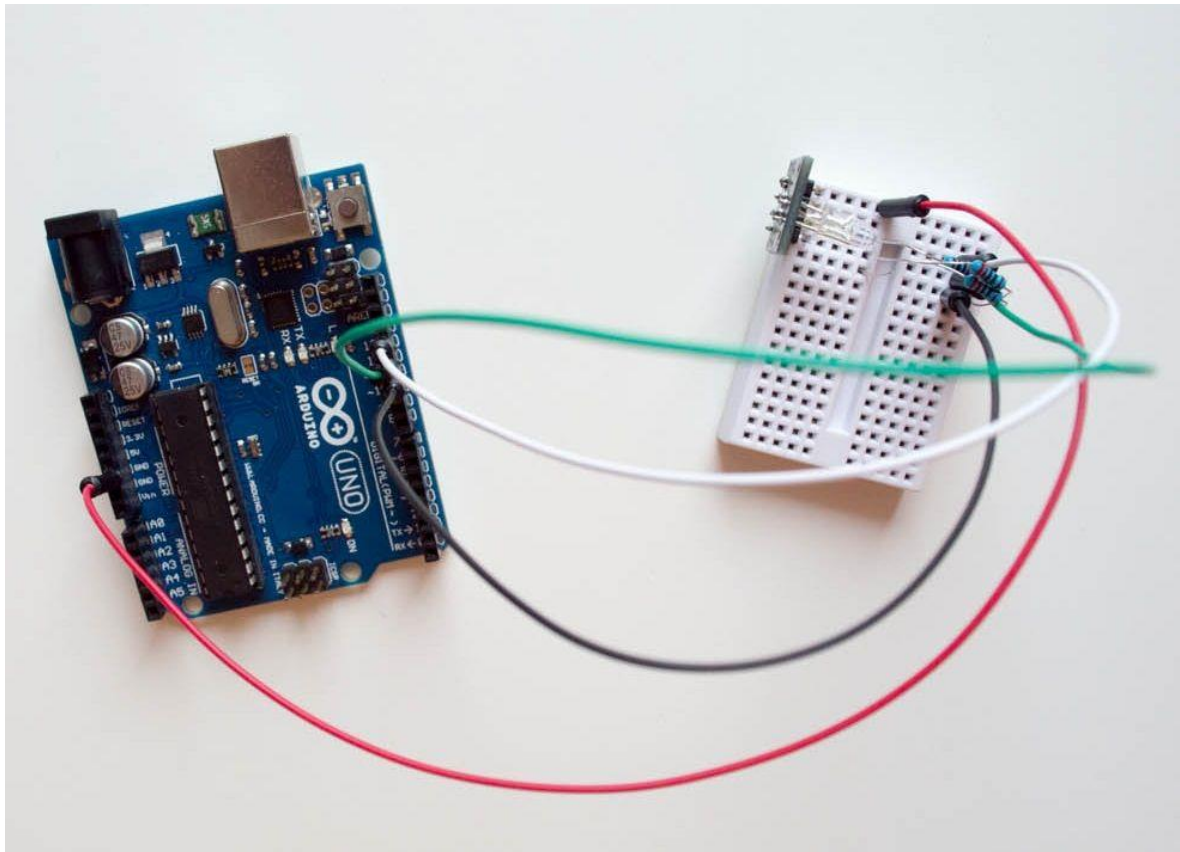


Рис. 5.13 – Загальний вигляд зібраної моделі Arduino з трикольоровим світлодіодом без вбудованих резисторів

Завдання і зміст звіту

Завдання: побудувати представлені вище моделі і запрограмувати Arduino для виконання наступної операції: при натисненні на першу кнопку вмикається світлодіод, при натисненні на другу кнопку – п'єзоелемент; яскравість світлодіода можна регулювати за допомогою першого потенціометра, частоту звуку п'єзоелемента – за допомогою другого потенціометра.

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;
- стислі теоретичні відомості;
- файли моделі;
- схеми підключення моделей;
- висновки до роботи.

Контрольні питання

1. Плата Arduino Uno, її призначення.
2. Розпіновка плати Arduino Uno на базі ATmega328.

3. Опис елементів плати Arduino Uno R3.
4. Аналогові піни Arduino Uno.
5. Цифрові піни Arduino Uno.
6. Програмне середовище Arduino IDE.
7. Підключення світлодіода до плати Arduino Uno.
8. Підключення кнопки до плати Arduino Uno.
9. Підключення потенціометра до плати Arduino Uno.
10. Підключення п'єзoeлементa до плати Arduino Uno
11. Підключення трикольорового світлодіода до плати Arduino Uno

Список рекомендованих джерел

1. John Nussey. Arduino For Dummies (For Dummies (Computer/Tech)). 2018. 400 p.
2. Simon Monk. Programming Arduino: Getting Started with Sketches (Tab). 2016. 192 p.
3. Massimo Banzi, Michael Shiloh. Make: Getting Started with Arduino: *The Open Source Electronics Prototyping Platform*. 2015. 260 p.
4. Jeremy Blum. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. 2019. 512 p.
5. Richard Blum. Arduino Programming in 24 Hours, Sams Teach Yourself (Sams Teach Yourself: In 24 Hours). 2014. 432 p.
6. John Boxall. Arduino Workshop, 2nd Edition: A Hands-on Introduction with 65 Projects. 2021. 432 p.

Лабораторна робота № 6

Використання датчиків і сенсорів в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва при проектуванні мехатронних систем на базі середовища Arduino

Мета роботи: засвоїти принципи роботи найпоширеніших датчиків і сенсорів, які використовуються в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва, отримати практичні навички програмування у середовищі Arduino IDE, що необхідні для вирішення задачі створення автоматизованих систем керування технологічними процесами агропромислового виробництва.

Матеріальне забезпечення: персональний комп'ютер із встановленим програмним середовищем Arduino IDE, плата керування Arduino Uno R3, датчики і сенсори, електронні компоненти.

Теоретичні відомості

Застосування датчиків і сенсорів в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва

Побудова мехатронних систем для машин та обладнання сільськогосподарського виробництва неможливо без використання різноманітних датчиків і сенсорів. Так, наприклад, для забезпечення порційного дозування кормів при годівлі тварин використовуються тензодатчики для визначення маси порції. В свою чергу використання датчика Холла, закріпленого біля колеса сівалки, дає змогу визначати швидкість її руху і пройдену відстань. Використання інфрачервоного датчика у пневматичному висівному апараті дає змогу контролювати процес сіви. Наявність в доїльному апараті датчика вакуумметричного тиску дозволяє контролювати параметри пульсацій. Лінійний потенціометр можна також використовувати в якості датчика положення, наприклад, для текстурометра сільськогосподарської продукції. Датчики швидкості повітря використовуються в аеродинамічних сепараторах насіння культурних рослин. Фотодатчики застосовуються для визначення забрудненості молочної лінії доїльної установки. Датчики температури і вологості використовуються в системах забезпечення мікроклімату тваринницьких і складських приміщень. Фото- або відеокамери використовують для сортування різноманітної сільськогосподарської продукції, наприклад, насіння, плодів овочів та фруктів, яєць та ін.

Таке широке застосування датчиків і сенсорів для машин та обладнання сільськогосподарського виробництва дає змогу стверджувати про необхідність вивчення їх принципу роботи та використання при проведенні експериментальних досліджень.

Практична частина

Підключення фоторезистора до плати Arduino Uno і робота з датчиком освітленості

Фоторезистор дозволяє контролювати рівень освітленості і реагувати на його зміну. Фоторезистор, як випливає з назви, має пряме відношення до резисторів, які часто зустрічаються практично в будь-яких електронних схемах. Основною характеристикою звичайного резистора є величина його опору. Від нього залежать напруга і струм, за допомогою резистора ми виставляємо потрібні режими роботи інших компонентів. Як правило, значення опору у резистора в одних і тих же умовах експлуатації практично не змінюється. На відміну від звичайного резистора, фоторезистор може змінювати свій опір в залежності від рівня зовнішньої освітленості. Це означає, що в електронній схемі будуть постійно змінюватися параметри, в першу чергу нас цікавить напруга на фоторезисторі. Фіксуючи ці зміни напруги на аналогових пінах Ардуіно, ми можемо змінювати логіку роботи схеми, створюючи тим самим адаптивні під весняні умови пристрої.

Найбільш популярний і доступний варіант датчика на ринку – це моделі масового випуску китайських компаній, клони виробів виробника VT (рис. 6.1).

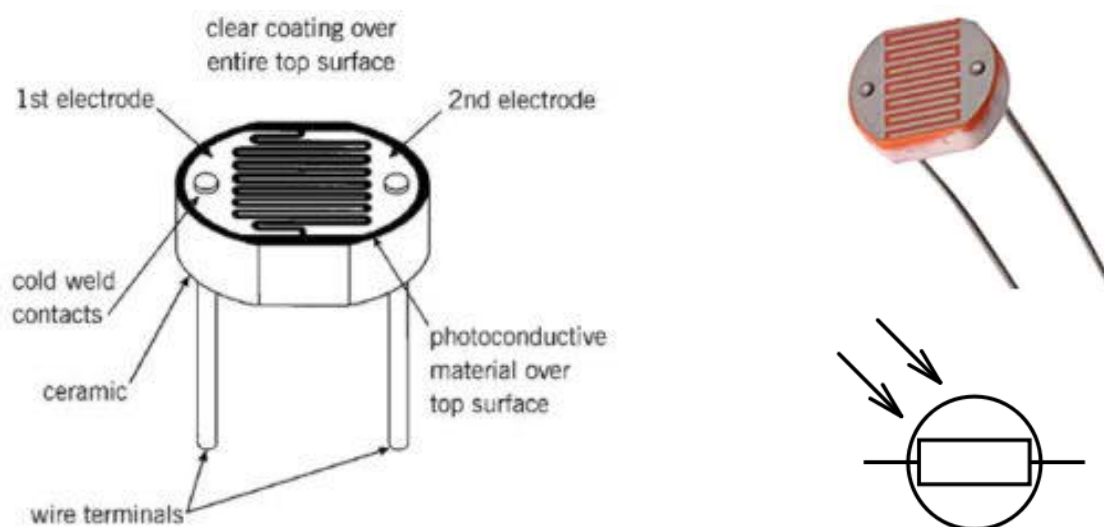


Рис. 6.1 – Загальний вигляд фоторезистора

У датчика VT в схемі маркування вказаний діапазон опорів, наприклад:

- VT83N1 – 12–100 кОм (12К – освітлений, 100К – в темряві)
- VT93N2 – 48–500кОм (48К – освітлений, 100К – в темряві).

Крім параметрів роботи там же вказується точність деталі. У всіх моделях діапазон чутливості розташований у видимій частині спектру.

Основним недоліком фоторезисторів є чутливість до спектру. Залежно від типу падаючого світла опір може змінюється на кілька порядків. До мінусів також відноситься низька швидкість реакції на зміну освітленості. Якщо світло блимає – датчик не встигає відреагувати. Якщо ж частота зміни досить велика – резистор взагалі перестане «бачити», що освітленість змінюється.

До плюсів можна віднести простоту і доступність. Пряма зміна опору в залежності від світла, яке потрапляє на неї, дозволяє спростити електричну схему підключення.

У проектах Arduino фоторезистор використовується як датчик освітлення. Отримуючи від нього інформацію, плата може вмикати або вимикати реле, запускати двигуни, відсилати повідомлення.

Схема підключення датчика освітленості доволі проста. Якщо ми використовуємо фоторезистор, то в схемі підключення датчик реалізований як дільник напруги (рис. 6.2). Одне плече змінюється від рівня освітленості, друге – подає напругу на аналоговий вхід. У мікросхемі контролера ця напруга перетвориться в цифрові дані через АЦП. Оскільки опір датчика при попаданні на нього світла зменшується, то і значення поданої на нього напруги буде зменшуватися.

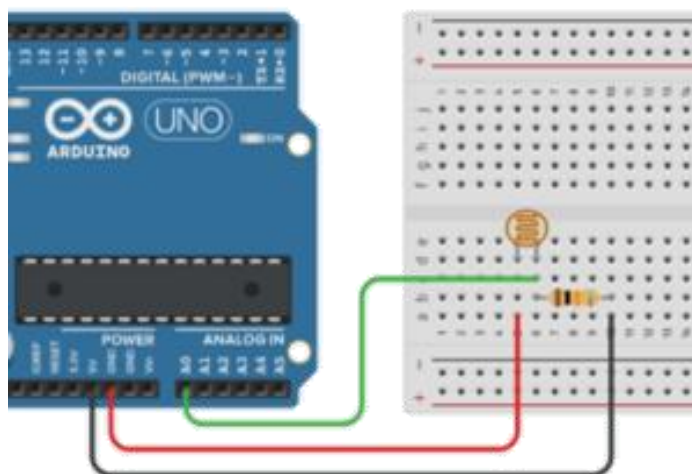


Рис. 6.2 – Схема підключення фоторезистора до Arduino

Залежно від того, в якому плечі дільника ми поставили фоторезистор, на аналоговий вхід буде подаватися або підвищена або зменшена напруга. У тому випадку, якщо одна нога фоторезистора підключена до землі, то максимальне

значення напруги буде відповідати темряві (опір фоторезистора максимальний, майже вся напруга падає на ньому), а мінімальне – гарному освітленню (опір близько до нуля, напруга мінімальна). Якщо ми підключимо плече фоторезистора до живлення, то поведінка буде протилежною.

Так як фоторезистор не має полярності, підключити його можна будь-якою стороною, до плати його можна припаяти, під'єднати проводами за допомогою монтажною плати або використовувати звичайні кліпси (крокодили) для з'єднання. Джерелом живлення в схемі є сам Arduino. Фоторезистор приєднується однією ногою до землі, інша підключається до АЦП плати (в нашому прикладі – АТ). До цієї ж ноги підключаємо резистор 10 кОм. Природно, підключати фоторезистор можна не тільки на аналоговий пін А0, але і на будь-який інший.

У додаткового резистора на 10 кОм в нашій схемі дві функції: обмежувати струм в ланцюзі і формувати потрібне напруження в схемі з подільником. Обмеження струму потрібно в ситуації, коли повністю освітлений фоторезистор різко зменшує свій опір. А формування напруги – для передбачуваних значень на аналоговому порту. Насправді для нормальної роботи з нашими фоторезисторами вистачить і опору 1 кОм.

Змінюючи значення резистора, ми можемо «зрушувати» рівень чутливості в «темну» і «світлу» сторону. Так, 10 кОм дасть швидке переключення настання світла. У разі 1 кОм датчик світла буде більш точно визначати високий рівень освітленості.

Якщо ви використовуєте готовий модуль датчика світла, то підключення буде ще більш простим. З'єднуємо вихід модуля VCC з роз'ємом 5 В на платі, GND – з землею. Решту виводів з'єднуємо з роз'ємами Ардуіно.

Якщо на платі представлений цифровий вихід, то відправляємо його на цифрові піни. Якщо аналоговий – то на аналогові. У першому випадку ми отримуємо сигнал спрацювання – перевищення рівня освітленості (поріг спрацювання може бути налаштований за допомогою резистора підлаштування). З аналогових же пінів ми зможемо отримувати величину напруги, пропорційну реальному рівню освітленості.

Написати скетч для датчика освітленості досить просто. Нам потрібно тільки зняти поточне значення напруги з того аналогового піна, до якого підключений датчик. Робиться це за допомогою функції `analogRead()`. Потім ми можемо виконувати якісь дії, в залежності від рівня освітленості.

Напишемо скетч для датчика освітленості, що включає або вимикає світлодіод, підключений за наступною схемою (рис. 6.3).

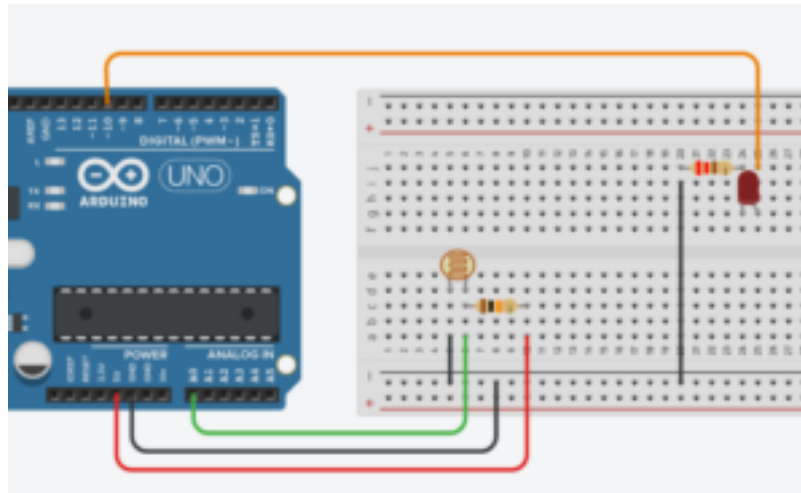


Рис. 6.3 – Схема підключення фоторезистора і світлодіода до Arduino

Алгоритм роботи такий:

- визначаємо рівень сигналу з аналогового піна;
- порівнюємо рівень з граничним значенням. Максимальне значення буде відповідати темряві, мінімальне – максимальній освітленості, граничне значення виберемо рівне 300.
- якщо рівень менше порогового – темно, потрібно включати світлодіод.
- інакше – вимикаємо світлодіод.

```
#define PIN_LED 13
#define PIN_PHOTO_SENSOR A0
void setup () {
  Serial.begin (9600);
  pinMode (PIN_LED, OUTPUT);
}
void loop () {
  int val = analogRead (PIN_PHOTO_SENSOR);
  Serial.println (val);
  if (val <300) {
    digitalWrite (PIN_LED, LOW);
  } Else {
    digitalWrite (PIN_LED, HIGH);
  }
}
```

Прикриваючи фоторезистор (руками або світлонепроникним предметом), можемо спостерігати включення і виключення світлодіода. Змінюючи в коді пороговий параметр, можемо змушувати вмикати/вимикати лампочку при різному рівні освітлення.

При монтажі намагайтесь розташувати фоторезистор і світлодіод максимально далеко один від одного, щоб на датчик освітленості потрапляло менше світла від яскравого світлодіода.

Можна модифікувати проект так, щоб в залежності від рівня освітленості змінювалася яскравість світлодіода. В алгоритм ми додамо наступні зміни:

- яскравість лампочки будемо міняти через ШІМ, посилаючи за допомогою `analogWrite ()` на пін з світлодіодом значення від 0 до 255;

- для перетворення цифрового значення рівня освітлення від датчика освітленості (від 0 до 1023) в діапазон ШІМ яскравості світлодіода (від 0 до 255) будемо використовувати функцію `map ()`.

```
#define PIN_LED 10
#define PIN_PHOTO_SENSOR A0
void setup () {
    Serial.begin (9600);
    pinMode (PIN_LED, OUTPUT);
}
void loop () {
    int val = analogRead (PIN_PHOTO_SENSOR);
    Serial.println (val);
    int ledPower = map (val, 0, 1023, 0, 255);
    // Перетворимо отримане значення в рівень PWM-сигналу. Чим менше
    // значення освітленості, тим менше потужності ми повинні подавати на
    // світлодіод через ШІМ.
    analogWrite (PIN_LED, ledPower); // Міняємо яскравість
}
```

У разі іншого способу підключення, при якому сигнал з аналогового порту пропорційний ступеню освітленості, треба буде додатково «звернути» значення, віднімаючи його з максимального:

```
int val = 1023 - analogRead (PIN_PHOTO_RESISTOR);
```

Підключення тензодатчика HX711 до плати Arduino Uno і робота з датчиком освітленості

Тензодатчик – дуже важливий елемент багатьох мехатронних систем агропромислового виробництва. Тензодатчик дозволяє визначати силу, що діє на нього. Дізнаємося, як підключити датчик ваги до Ардуіно на прикладі тензодатчиків різного номіналу і мікросхеми HX711 в якості аналого-цифрового перетворювача.

Робота датчика ваги заснована на зміні будь-якого фізичного параметра

пропорційно вазі вимірюваного предмета. Параметр залежить від того, який елемент використовується в датчику. Так при зміні навантаження на п'єзокерамічну пластину змінюється напруга, що знімається з електродів на кінцях п'єзодатчика. При використанні ємнісного датчика змінюється ємність змінного конденсатора. У даній конструкції використовується датчик ваги, виконаний на пружному резисторі, і при зміні ваги, змінюється його опір, а, отже, і напруга, що знімається з мостової схеми (рис. 6.4).

Датчик являє собою прямокутний брусок з алюмінієвого сплаву, з отвором в центрі. На його бічні поверхні нанесені тонкоплівкові резистори, з'єднані по мостовій схемі, тому резистивний датчик має 4 гнучких виведення. Всі елементи датчика залиті епоксидним компаундом. На бруску передбачені отвори для кріплення його до основи і для установки пластини під вимірюваний вантаж. На торцевій стороні датчика нанесено маркування, що вказує максимальну вагу вимірюваного вантажу. Для того щоб резистори змінювали свій опір, тензометричний датчик повинен одним кінцем фіксуватися на підставці, а на іншій його кінець повинен діяти вантаж так, щоб виникла деформація бруска і, відповідно, плівкових резисторів. Для того щоб перетворити аналоговий сигнал з виходу тензорного датчика в двійковий код застосовується аналого-цифровий перетворювач (АЦП) НХ711 (рис. 6.5).

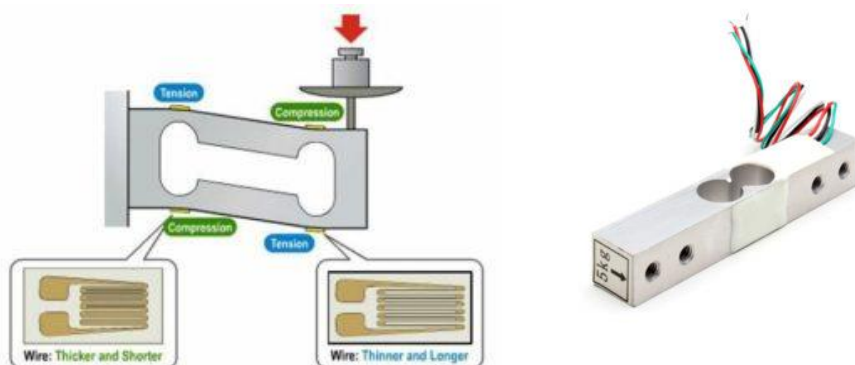


Рис. 6.4 – Загальний вигляд тензодатчика

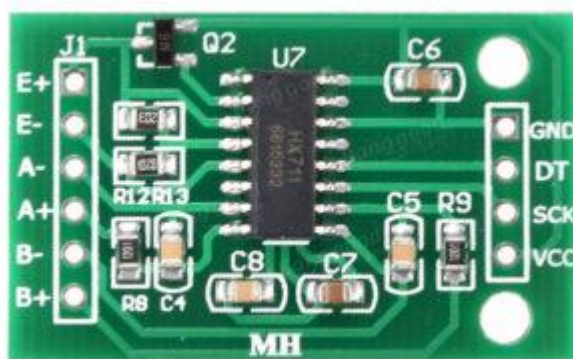


Рис. 6.5 – Загальний вигляд аналого-цифрового перетворювача (АЦП) НХ711

Інтегральна мікросхема HX711 є аналого-цифровий перетворювач з частотою дискретизації 24 біт і вбудованим малошумливим операційним підсилювачем. Мультиплексор дозволяє вибирати один з двох наявних вхідних каналів. Канал А має програмований вибір коефіцієнта посилення, який може бути 64 або 128. Канал В працює з передвстановленим коефіцієнтом, рівним 32.

До складу мікросхеми входить інтегральний стабілізатор напруги, що виключає необхідність застосування зовнішнього стабілізатора. На вхід синхронізації може бути поданий будь-який імпульсний сигнал від зовнішнього джерела, разом з тим АЦП допускає роботу від вбудованого генератора.

Основні технічні характеристики HX711:

- розрядність АЦП – 24 біт;
- посилення по входу А – 64 або 128;
- посилення по входу В – 32;
- частота вимірів – 10 або 80 разів в секунду;
- живлення – 2,6-5,5 В;
- струм – менше 10 мА;
- вхідна напруга – ± 40 мВ.

На платі з АЦП є два роз'єми – J1 і JP2, на яких є такі позначення:

J1:

- E -, E + живлення тензорного моста
- A -, A + диференційний вхід каналу А
- B -, B + диференційний вхід каналу В

JP2:

- GND, VCC живлення
- DT, SCK – інформаційні шини

Оскільки резистори тензорного датчика включені по мостовій схемі, від пристрою відходять 4 провідника, що мають різне кольорове маркування. На два плеча моста подається опорна напруга, а з двох інших плечей знімається вихідна напруга, що подається на вхід операційного підсилювача мікросхеми HX711 (рис. 6.6). Підключення за кольорами проводів здійснюється наступним чином: Червоний – E +; Чорний – E -; Білий – A -; Зелений – A +.

Для подальшої обробки і передачі інформації здійснюється підключення HX711 до Ардуіно UNO. Для цього контакти живлення GND і VCC HX711 підключаються до точок GND і 5V роз'єму POWER модуля Arduino UNO, а контакти DT і SCK підключаються до точок A1 і A0 роз'єму ANALOG IN. Тензодатчик HX711 через контролер Arduino UNO можна підключити до рідкокристалічного дисплея LCD або комп'ютера, використовуючи USB порт і стандартні бібліотеки для Ардуіно.

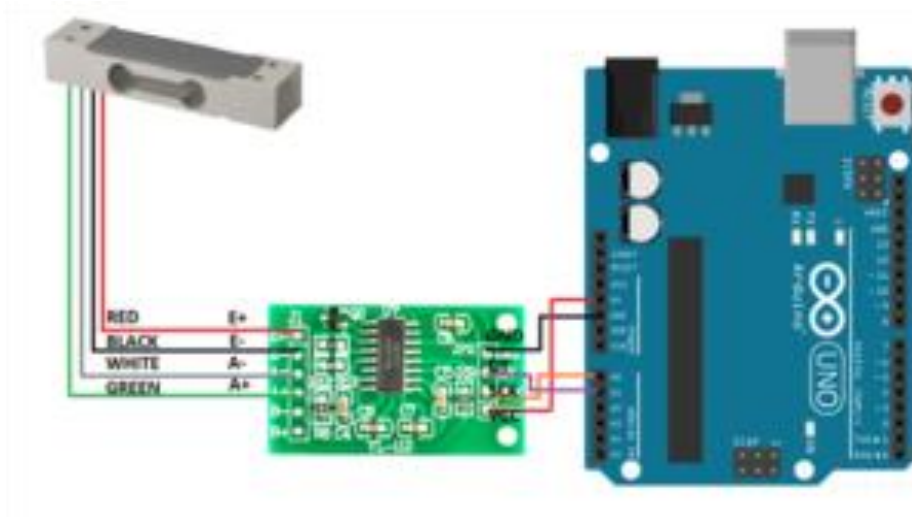


Рис. 6.6 – Схема підключення тензодатчика до Arduino

Оскільки на виході вимірювального моста змінюється напруга, то саме воно перетворюється в бінарний код. Діапазон контрольованої напруги залежить від обраного коефіцієнта посилення. Якщо коефіцієнт дорівнює 128, діапазон вимірюваних напруг варіюється від -20 mV до $+20\text{ mV}$, вибір коефіцієнта посилення 64 визначає межі вимірювання від -40 mV до $+40\text{ mV}$ і при коефіцієнті, рівному 32 межі вимірювання визначаються величинами -80 mV і $+80\text{ mV}$. Ці дані будуть коректними тільки при напрузі живлення $+5\text{ V}$. Якщо вхідна напруга вийде за нижню межу діапазону, АЦП видасть код 800000h , а якщо за верхню, то код буде $7FFFFFF\text{h}$. Для калібрування і вимірювань можна використовувати наступні коди:

```
// код для калібрування
// код для калібрування
#include "HX711.h"
HX711 scale (A1, A0); // DT, CLK
float Calibration_Factor_Of_Load_cell = -3.7;
// цей калібрувальний коефіцієнт налаштовується відповідно до тензодатчика
float U;
float O;
void setup () {
    Serial.begin (9600);
    Serial.println ("HX711 calibration sketch");
    Serial.println ("Remove all weight from scale");
    Serial.println ("After readings begin, place known weight on scale");
    Serial.println ("Press + or a to increase calibration factor");
    Serial.println ("Press - or z to decrease calibration factor");
    scale.set_scale ();
```

```

scale.tare (); // Скиньте масштаб до 0
long zero_factor = scale.read_average (); // Отримуємо базове читання
Serial.print ( "Zero factor:"); // Це можна використовувати, щоб усунути
необхідність тарування шкали. Корисно в проектах постійного
масштабу.
Serial.println (zero_factor);
}
void loop () {
scale.set_scale (Calibration_Factor_Of_Load_cell); // Відрегулюйте цей
калібрувальний коефіцієнт
Serial.print ( "Reading:");
U = scale.get_units ();
if (U <0){
U = 0.00;
}
O = U * 0.035274;
Serial.print (O);
Serial.print ( "grams");
Serial.print ( "Calibration_Factor_Of_Load_cell:");
Serial.print (Calibration_Factor_Of_Load_cell);
Serial.println ();
if (Serial.available ()) {
char temp = Serial.read ();
if (temp == '+' || temp == 'a')
Calibration_Factor_Of_Load_cell += 1;
else if (temp == '-' || temp == 'z')
Calibration_Factor_Of_Load_cell -= 1;
}
}
}

```

Підключення датчика температури DS18B20 до плати Arduino Uno

Датчик температури в Arduino – один з найпоширеніших видів сенсорів. У розробника проектів з термометрами на Arduino є безліч різних варіантів, що відрізняються за принципом дії, точності, конструктивному виконанню. Цифровий датчик DS18B20 є одним з найбільш популярних температурних датчиків, часто він використовується в водонепроникному корпусі для вимірювання температури води або інших рідин.

DS18B20 (рис. 6.7) – це цифровий температурний датчик, що володіє безліччю корисних функцій. По суті, DS18B20 – це цілий мікроконтролер, який може зберігати значення вимірювань, сигналізувати про вихід температури за встановлені межі (самі кордони ми можемо встановлювати і змінювати), міняти точність вимірювань, спосіб взаємодії з контролером і багато іншого. Все це в дуже невеликому корпусі, який, до того ж, доступний в водонепроникному виконанні.

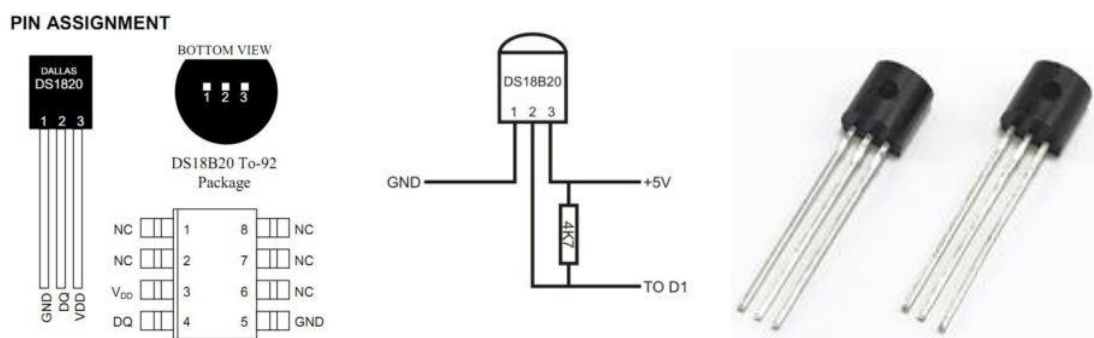


Рис. 6.7 – Загальний вигляд цифрового температурного датчика DS18B20

Мікросхема має три виходи, з яких для даних використовується тільки один, два інших – це земля і живлення. Число дротів можна скоротити до двох, якщо використовувати схему з паразитних живленням і з'єднати Vdd з землею. До одного проводу з даними можна підключити відразу декілька датчиків DS18B20 і в платі Ардуіно буде задіяний лише один пін.

Температурний датчик DS18B20 має різноманітні види корпусу. Можна вибрати один з трьох – 8-Pin SO (150 mils), 8-Pin μ SOP, і 3-Pin TO-92. Останній є найбільш поширеним і виготовляється в спеціальному вологозахисному корпусі, так що його сміливо можна використовувати під водою. У кожного датчика є 3 контакти. Для корпусу TO-92 потрібно дивитися на колір дротів: чорний – земля, червоний – живлення і білий / жовтий / синій – сигнал.

Особливості цифрового датчика DS18B20:

- похибка вимірювання не більше $0,5^{\circ}\text{C}$ (для температур від -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$), що дозволяє точно визначити значення температури. Не потрібно додаткове калібрування;
- температурний діапазон вимірювань лежить в межах від -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$;
- датчик живиться напругою від 3,3 до 5 В;
- можна програмно задати максимальну роздільну здатність до $0,0625^{\circ}\text{C}$, найбільше дозвіл 12 біт;
- присутня функція тривожного сигналу;
- кожен пристрій має свій унікальний серійний код;
- не потрібні додаткові зовнішні елементи;
- можна підключити відразу до 127 датчиків до однієї лінії зв'язку;
- інформація передається по протоколу 1-Wire;
- для приєднання до мікроконтролера

потрібні тільки 3 дроти; – існує так званий режим паразитного живлення – в ньому відбувається живлення безпосередньо від лінії зв'язку. Для підключення в цьому випадку потрібні тільки 2 дроти. Важливо, що в цьому режимі не гарантується коректна робота при температурах вище 100°C. Режим паразитного живлення зручно зазвичай застосовується для додатків з віддаленим температурним датчиком.

Пам'ять датчика складається з двох видів: оперативної і незалежної – SRAM і EEPROM. В останню записуються регістри конфігурації і регістри TH, TL, які можуть використовуватися як регістри загального призначення, якщо не використовуються для вказівки діапазону допустимих значень температури.

Під час включення живлення датчик знаходиться в стані спокою. Для початку вимірювання контролер Ардуіно виконує команду «перетворення температури». Отриманий результат збережеться в 2 байтах регістра температури, після чого датчик повернеться в первинний стан спокою. Якщо схема підключена в режимі зовнішнього живлення, мікроконтролер регулює стан конвертації. Під час виконання команди лінія знаходиться в низькому стані, після закінчення програми лінія переходить в високий стан. Такий метод не допустимий при живленні від паразитної ємності, так як на шині постійно повинен зберігатися високий рівень сигналу.

Отримані температурні вимірювання зберігаються в SRAM датчика. 1 і 2 байти зберігають отримане значення температури, 3 і 4 зберігають межі вимірювання, 5 і 6 зарезервовані, 7 і 8 використовуються для високоточного визначення температури, останній 9 байт зберігає стійкий до перешкод CRC код.

DS18B20 є цифровим датчиком. Цифрові датчики передають значення вимірюваної температури в вигляді певного двійкового коду, який надходить на цифровий та аналоговий піни Ардуіно і потім декодується. Коди можуть бути самими різними, DS18B20 працює по протоколу даних 1-Wire.

Обмін інформацією в 1-Wire відбувається завдяки таким операціям:

– Ініціалізація – визначення послідовності сигналів, з яких починається вимір і інші операції. Провідний пристрій подає імпульс скидання, після цього датчик повинен подати імпульс присутності, повідомляє про готовність до виконання операції.

– Запис даних – відбувається передача байта даних в датчик.

– Читання даних – відбувається прийом байта з датчика.

Для роботи з датчиком нам знадобиться програмне забезпечення:

– Arduino IDE;

– Бібліотека OneWire, якщо використовується кілька датчиків на шині, можна використовувати бібліотеку DallasTemperature. Вона буде працювати поверх OneWire.

З обладнання знадобляться:

- Один або кілька датчиків DS18B20;
- Мікроконтролер Ардуіно;
- Конектори;
- Резистор на 4,7 кОм (в разі підключення одного датчика піде резистор номіналом від 4 до 10К);
- Монтажна плата;
- USB-кабель для підключення до комп'ютера.

До плати Ардуіно UNO датчик підключається просто: GND з термодатчика приєднується до GND Ардуіно, Vdd підключається до 5V, Data - до будь-якого цифрового піну.

Найпростіша схема підключення цифрового датчика DS18B20 представлена на рис. 6.8.

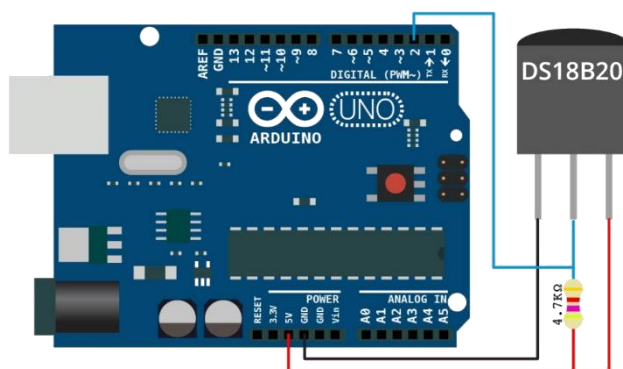


Рис. 6.8 – Схема підключення датчика температури DS18B20 до плати Arduino

У режимі паразитного живлення контакт Vdd з датчика підключається до GND на Arduino – в цьому випадку стануть в нагоді тільки два дроти. Роботу в паразитному режимі краще не використовувати без необхідності, так як можуть погіршитися швидкодія і стабільність.

Алгоритм отримання інформації про температуру в скетчі складається з наступних етапів:

- визначення адреси датчика, перевірка його підключення;
- на датчик подається команда з вимогою прочитати температуру і викласти виміряне значення в регістр. Процедура відбувається довше за інших, на неї необхідно приблизно 750 мс;
- подається команда на читання інформації з регістра і відправка отриманого значення в «монітор порту»;

– якщо потрібно, то проводиться конвертація в градуси Цельсія/Фаренгейта.

Найпростіший скетч для роботи з цифровим датчиком виглядає наступним чином.

```
#include <OneWire.h>
```

```
/*
```

```
* Опис взаємодії з цифровим датчиком DS18B20
```

```
* Підключення DS18B20 до Ардуїно через пін 8
```

```
*/
```

```
OneWire ds (8); // Створюємо об'єкт OneWire для шини 1-Wire, за допомогою якого буде здійснюватися робота з датчиком
```

```
void setup () {
```

```
    Serial.begin (9600);
```

```
}
```

```
void loop () {
```

```
    // Визначаємо температуру від датчика DS18B20
```

```
    byte data [2]; // Місце для значення температури
```

```
    ds.reset (); // Починаємо взаємодію зі скидання всіх попередніх команд і параметрів
```

```
    ds.write (0xCC); // Даємо датчику DS18B20 команду пропустити пошук за адресою. У нашому випадку тільки один пристрій
```

```
    ds.write (0x44); // Даємо датчику DS18B20 команду виміряти температуру. Саме значення температури ми ще не отримуємо – датчик його покладе у внутрішню пам'ять
```

```
    delay (1000); // Мікросхема вимірює температуру, а ми чекаємо.
```

```
    ds.reset (); // Тепер готуємося отримати значення виміряної температури
```

```
    ds.write (0xCC);
```

```
    ds.write (0xBE); // Просимо передати нам значення регістрів та температури
```

```
    // Отримуємо і зчитуємо відповідь
```

```
    data [0] = ds.read (); // Читаємо молодший байт значення температури
```

```
    data [1] = ds.read (); // А тепер старший
```

```
    // Формуємо підсумкове значення:
```

```
    // - спершу "склеюємо" значення,
```

```
    // - потім множимо його на коефіцієнт, відповідний роздільній здатності (для 12 біт за замовчуванням – це 0,0625)
```

```
    float temperature = ((data [1] << 8) | data [0]) * 0.0625;
```

```
    // Виводимо отримане значення температури в монітор порту
```

```
    Serial.println (temperature);
```

}

DS18B20 використовує для обміну інформацією з Ардуіно протокол 1-Wire, для якого вже написана відмінна бібліотека. Можна і потрібно використовувати її, щоб не реалізовувати всі функції вручну. Для установки бібліотеки скачайте архів, розпакуйте в папку library вашого каталогу Arduino. Підключається бібліотека за допомогою команди `#include <OneWire.h>`

Основні команди бібліотеки OneWire:

- `search (addressArray)` – шукає температурний датчик, при знаходженні в масив – `addressArray` записується його код, в іншому випадку – `false`.
- `reset_search ()` – проводиться пошук на першому приладі.
- `reset ()` – виконання скидання шини перед тим, як зв'язатися з пристроєм.
- `select (addressArray)` – вибирається пристрій після операції скидання, записується його ROM код.
- `write (byte)` – проводиться запис байта інформації на пристрій.
- `write (byte, 1)` – аналогічно `write (byte)`, але в режимі паразитного живлення.
- `read ()` – читання байта інформації з пристрою.
- `crc8 (dataArray, length)` – обчислення CRC коду.
- `dataArray` – обраний масив,
- `length` – довжина коду.

Важливо правильно налаштувати режим живлення в скетчі. Для паразитного живлення в рядку 65 потрібно записати `ds.write (0x44, 1)`; Для зовнішнього живлення в рядку 65 має бути записано `ds.write (0x44)`.

Write дозволяє передати команду на термодатчик. Основні команди, що подаються у вигляді бітів:

- `0x44` – виміряти температуру, записати отримане значення в SRAM.
- `0x4E` – запис 3 байта в третій, четвертий і п'ятий байти SRAM.
- `0xBE` – послідовне зчитування 9 байт SRAM.
- `0x48` – копіювання третього і четвертого байтів SRAM в EEPROM.
- `0xB8` – копіювання інформації з EEPROM в третій і четвертий байти SRAM.
- `0xB4` – повертає тип живлення (0 – паразитне, 1 – зовнішнє).

Підключення декількох датчиків температури DS18B20 до Ардуіно. Всі датчики DS18B20 підключаються паралельно, для них всіх досить одного резистора. За допомогою бібліотеки OneWire можна одночасно зчитати всі дані зі всіх датчиків. Якщо кількість датчиків, що підключаються понад 10, потрібно підібрати резистор з опором не більше 1,6 кОм. Також для більш точного вимірювання температури потрібно поставити додатковий резистор на 100 ...

120 Ом між виходом data на платі Ардуіно і data на кожному датчику. Дізнатися, з якого датчика отримано те чи інше значення, можна за допомогою унікального серійного 64-бітного коду, який буде виданий в результаті виконання програми.

Для підключення температурних датчиків в нормальному режимі потрібно використовувати схему, представлену на рис. 6.9.

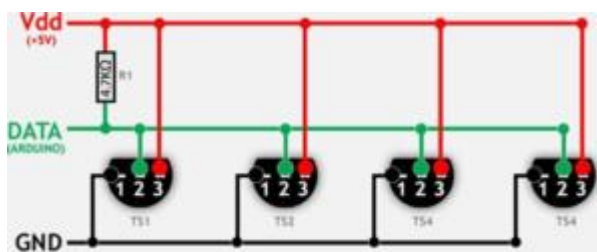


Рис. 6.9 – Схема підключення декількох датчиків температури DS18B20 в нормальному режимі

У режимі паразитного живлення схема виглядає інакше (рис. 6.10). Контакт Vdd практично не задіяний, живлення йде через вихід data.

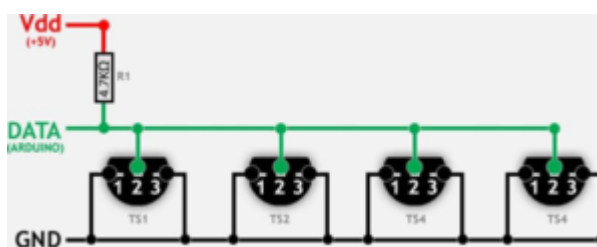


Рис. 6.10 – Схема підключення декількох датчиків температури DS18B20 У режимі паразитного живлення

Підключення датчика вібрації до плати Arduino Uno

Датчики вібрації Arduino застосовні для виявлення зовнішнього впливу вібраційного характеру. Розглянемо будову датчика і схему підключення до плат Arduino.

Основний елемент датчика вібрації (рис. 6.11) – металева пружина гнучкої структури, розташована у внутрішній частині трубки з пластика. При наявності будь-яких впливів на неї вона починає коливатися. Посилення сигналу відбувається за рахунок його подачі спочатку на операційний підсилювач, а потім на вихід аналогового типу. Важливим елементом датчика

вібрації є потенціометр, який регулює чутливість приладу, і дозволяє встановлювати необхідний поріг спрацювання.



Рис. 6.11 – Загальний вигляд датчика вібрації

Датчик вібрації має три виходи: земля, живлення, вихід аналогового сигналу A0.

Потенціометр, що знаходиться на платі, дозволяє налаштувати його чутливість. Він являє собою змінний резистор з опором регульованого типу. На платі датчика також присутні світлодіоди, які сигналізують про наявність живлення. Крім того, деякі різновиди оснащуються цифровим виведенням D0, який видає логічний нуль при досягненні порогового значення рівня вібрації.

У стані спокою модуль знаходиться в розімкнутому стані, і протікання струму по ньому немає. При наявності зовнішніх вібраційних впливів за рахунок розгойдування пружини відбувається короткочасне замикання контактів. В результаті відбувається спрацювання датчика, і на виході з'являється логічний 0.

Спрацювання датчика відбувається в незалежності від його просторового розташування.

Технічні параметри датчиків вібрації для Ардуіно (можуть відрізнятись в залежності від моделі пристрою): напруга живлення від 3 до 5 В; струм споживання 4–5 мА; з наявністю або відсутністю цифрового виходу; з наявністю або відсутністю регулювання чутливості.

Датчики можуть відрізнятись за вагою і габаритами, але обов'язково містять монтажний отвір для кріплення до плати.

Схема підключення датчика вібрації до Arduino приведена рис. 6.12.

Варіантом використання вібраційного датчика може стати охоронна сигналізація, в якій при ударі об поверхню, з закріпленням на ній пристроєм, відбувається спрацювання (в даному прикладі загориться світлодіод, приєднаний до піну 13). Для проекту слід підготувати такі деталі: плату Arduino

Uno; датчики вібрації 801S або Logo sensors v1.5; макетну плату; з'єднувальні дроти.

Цифровий вивід DO з'єднуємо з цифровим піном 2. При наявності вібрації значення сигналу багаторазово збільшується і при досягненні порогового значення, яке встановлюється потенціометром, на вивід DO подається логічна одиниця. Ми обробляємо цю ситуацію, зчитуючи значення функцією digitalRead, після чого подаємо за допомогою функції digitalWrite 5В на порт 13 і загоряється вбудований в плату світлодіод.

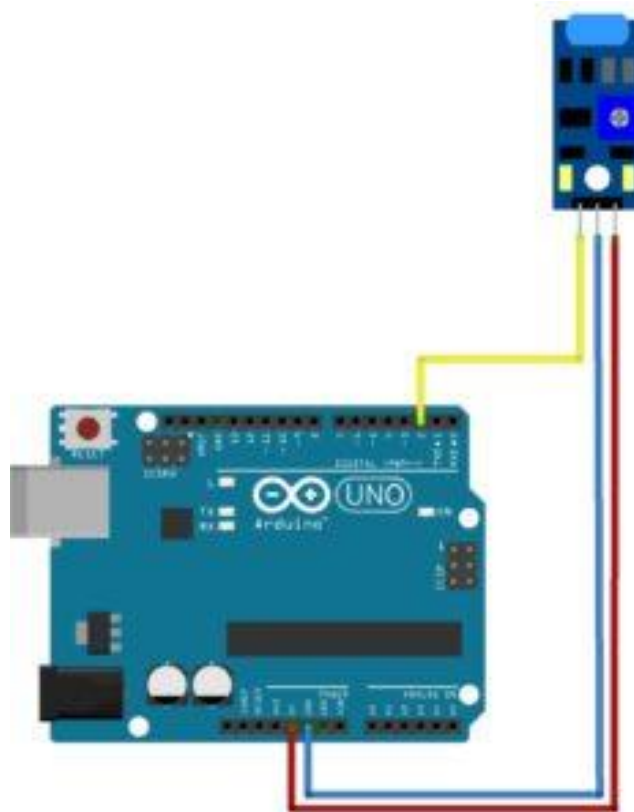


Рис. 6.12 – Схема підключення датчика вібрації до плати Arduino

```
#define PIN_LED 13
#define PIN_SENSOR 2 // Пін, до котрого приєднаний датчик вібрації
void setup () {
    pinMode (PIN_LED, OUTPUT);
}
void loop () {
    int val = digitalRead (PIN_SENSOR); // Зчитуємо значення з датчика
    if (val == 1) {
        digitalWrite (PIN_LED, HIGH); // Датчик спрацював – включаємо
        світлодіод
    } Else {
```

```
digitalWrite (PIN_LED, LOW);  
    }  
}
```

Завдання і зміст звіту

Завдання: побудувати представлені вище моделі і запрограмувати Arduino для виконання приведених операцій.

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;
- стислі теоретичні відомості;
- файли моделі;
- схеми підключення моделей;
- висновки до роботи.

Контрольні питання

1. Застосування датчиків і сенсорів в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва.
2. Відомості про датчики і сенсори.
3. Фоторезистори.
4. Тензодатчики.
5. Датчик температури.
6. Датчик вібрації.

Рекомендовані джерела інформації

1. John Nussey. Arduino For Dummies (For Dummies (Computer/Tech)). 2018. 400 p.
2. Simon Monk. Programming Arduino: Getting Started with Sketches (Tab). 2016. 192 p.
3. Massimo Banzi, Michael Shiloh. Make: Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. 2015. 260 p.
4. Jeremy Blum. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. 2019. 512 p.
5. Richard Blum. Arduino Programming in 24 Hours, Sams Teach Yourself (Sams Teach Yourself: In 24 Hours). 2014. 432 p.
6. John Boxall. Arduino Workshop, 2nd Edition: A Hands-on Introduction with 65 Projects. 2021. 432 p.

Лабораторна робота № 7

Проектування системи управління електроприводами мехатронних систем машин та обладнання АПВ на базі середовища Arduino

Мета роботи: засвоїти принципи керування двигунами постійного струму, кроковими двигунами і сервоприводами, які використовуються в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва, отримати практичні навички програмування у середовищі Arduino IDE, що необхідні для вирішення задачі створення автоматизованих систем керування технологічними процесами агропромислового виробництва.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: персональний комп'ютер із встановленим програмним середовищем Arduino IDE, плата керування Arduino Uno R3, двигун постійного струму, кроковий двигун, контролер крокового двигуна, сервопривод, електронні компоненти.

Вступ

Застосування електроприводів в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва

Побудова мехатронних систем для машин та обладнання сільськогосподарського виробництва неможливо без використання різноманітних електроприводів. Так, наприклад, для забезпечення порційного дозування кормів при годівлі тварин використовуються заслінки, які приводяться в дію сервоприводами для забезпечення необхідного кута нахилу. В свою чергу, двигуни постійного струму невеликої потужності використовуються для виконання обертання із визначеною частотою, наприклад, для приведення в дію транспортерних стрічок, гвинтів, міксерів невеликих об'ємів та ін. Використання крокових двигунів дозволяє виконувати технологічні процеси агропромислового комплексу з високою прецизійністю, наприклад, в маніпуляторах доїльних роботів, висівних апаратах точного висіву та ін.

Таке широке застосування електроприводів у складі мехатронних систем для машин та обладнання сільськогосподарського виробництва дає змогу стверджувати про необхідність вивчення їх принципу роботи та використання при проведенні експериментальних досліджень.

Практична частина

Підключення двигуна постійного струму безпосередньо до плати Arduino Uno

Управління двигуном може здійснюватися досить просто. Якщо струм живлення двигуна не перевищує номінальний струм плати Arduino Uno, він може бути безпосередньо з'єднаний з її виходами. Змінюючи рівень сигналу від логічної одиниці до нуля можна контролювати частоту обертів двигуна.

Підключимо мініатюрний вібродвигун до плати Arduino Uno.

Комплектуючі: плата Arduino Uno, підключена до USB-порту комп'ютера; резистор на 220 Ом; мініатюрний вібродвигун.

Підключення двигуна:

1. У вібродвигуна є два дроти живлення – з'єднайте один з нульовим виводом (GND) живлення контролера. Порядок з'єднання дротів визначає напрям обертання ротора двигуна.

2. Підключіть резистор між обраним дискретним виходом контролера і непідключеним дротом двигуна. Підключення резистора обмежить струм і гарантує нам цілісність і збереження плати Arduino Uno, так як вона не проектувалася для прямого контролю електродвигунами без перетворювачів.

Схема безпосереднього підключення вібродвигуна до плати Arduino Uno представлено на рис. 7.1.

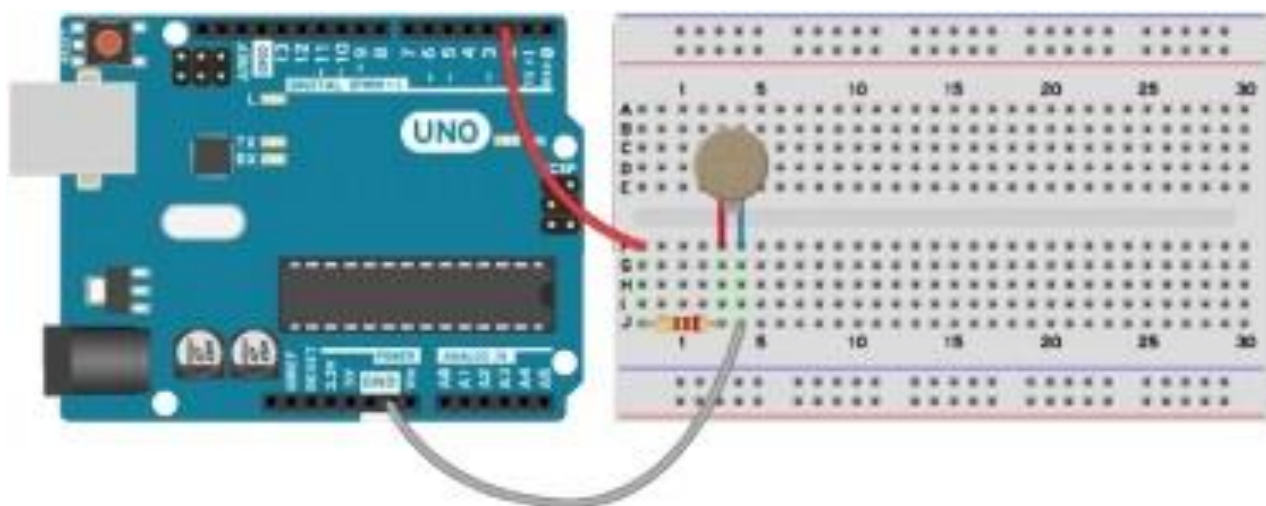


Рис. 7.1 – Схема безпосереднього підключення вібродвигуна до плати Arduino Uno

Текст програми Arduino Uno. Наступний скетч запустить двигун на 1 секунду, і зупинить його на такий же час і так далі, цикл повторюється:

```

// Декларуємо номер дискретного виходу
int motorPin = 2;
void setup () {
// Призначаємо другий дискретний вивід як вихід
pinMode (motorPin, OUTPUT);
}
void loop () {
// Включити мотор
digitalWrite (motorPin, HIGH);
// Почекати 1000 мс
delay (1000);
// Вимкнути мотор
digitalWrite (motorPin, LOW);
// Почекати 1000 мс
delay (1000);
}

```

Кожного разу, коли програма буде подавати логічну одиницю на наш вихід, струм буде проходити через резистор, через двигун, і на землю. Якщо двигун дійсно малопотужний, він почне обертатися. Резистор дуже важливий для цієї схеми. Кожен дискретний вихід Arduino розрахований на струм тільки до 40 мА, при чому рекомендується не перевищувати 20 мА. Вибране значення резистора 220 Ом обмежить струм до 22 мА, і тому, що двигун включений з ним послідовно, струм буде меншим. Якщо загальний опір двигуна вище, ніж 200 Ом, то можна з упевненістю прибрати резистор і безпосередньо підключити двигун до цифрового виходу і GND.

Кілька двигунів можуть бути підключені на різні цифрові виходи плати контролера. Наприклад, виходи 2, 3, і 4 можуть незалежно управляти різними трьома електродвигунами. Кожен дискретний вихід, на Arduino може керувати окремим двигуном. Однак, так робити не рекомендується, так як це збільшить струм, що проходить через Arduino. Тому поки обмежимося одним двигуном в даній реалізації.

Кожен електродвигун постійного струму є котушкою індуктивності. Коли знімаємо з нього струм, або коли його обертаємо вручну, він буде генерувати зворотню напругу, що може вивести з ладу електронний компонент. Щоб уникнути цього, необхідно підключити діод між дискретним виходом і виходом живлення 5В. Всякого разу, коли двигун буде віддавати паразитно зворотню напругу, діод буде з'єднувати його з плюсом живлення. Arduino має вбудований захисний діод на кожному виводі, і тому немає необхідності його дублювати зовнішнім діодом.

Підключення двигуна постійного струму до плати Arduino Uno за допомогою транзисторів

Звичайно можна керувати мініатюрним електродвигуном, безпосередньо підключивши його до виходу Arduino, однак, дискретний вихід не потягне двигуни, які споживають більше 40 мА. Вихід полягає у використанні простого підсилюючого пристрою, транзистора, щоб мати можливість керувати електродвигунами постійного струму будь-якої потужності. Розглянемо на прикладі, як керувати великими електродвигунами, використовуючи два транзистора NPN і PNP структури.

Комплектуючі: плата Arduino Uno, що підключена до USB-порту комп'ютера; двигун постійного струму; резистор опором між 220 Ом і 10 кОм; NPN транзистор (BC547, 2N3904, N2222A, TIP120); діод (1N4148, 1N4001, 1N4007).

Нижче наведені кроки при підключенні двигунів за допомогою транзистора:

1. Підключіть нуль живлення Arduino GND до мінусової шини макетної плати.

2. Підключіть один з дротів двигуна до плюса живлення +5 плати контролера. Будемо використовувати 5 В живлення USB-порту. Якщо потрібна велика потужність, то потрібно використовувати зовнішнє джерело живлення. Поки розглянемо живлення саме від USB.

3. Інший дріт двигуна з'єднуємо з колектором транзистора npn. За специфікацією на транзистор визначте, який з трьох його виходів колектор, який база і який емітер.

4. Підключіть емітер транзистора до мінуса живлення GND, використовуючи мінусову шину живлення макетної плати.

5. Встановіть резистор між базою транзистора і дискретним виходом плати Arduino.

6. Увімкніть захисний діод паралельно з двигуном. Мінус діода повинен бути підключений до плюса живлення 5В.

Схема підключення двигуна постійного струму до плати Arduino Uno за допомогою транзисторів представлена на рис. 7.2.

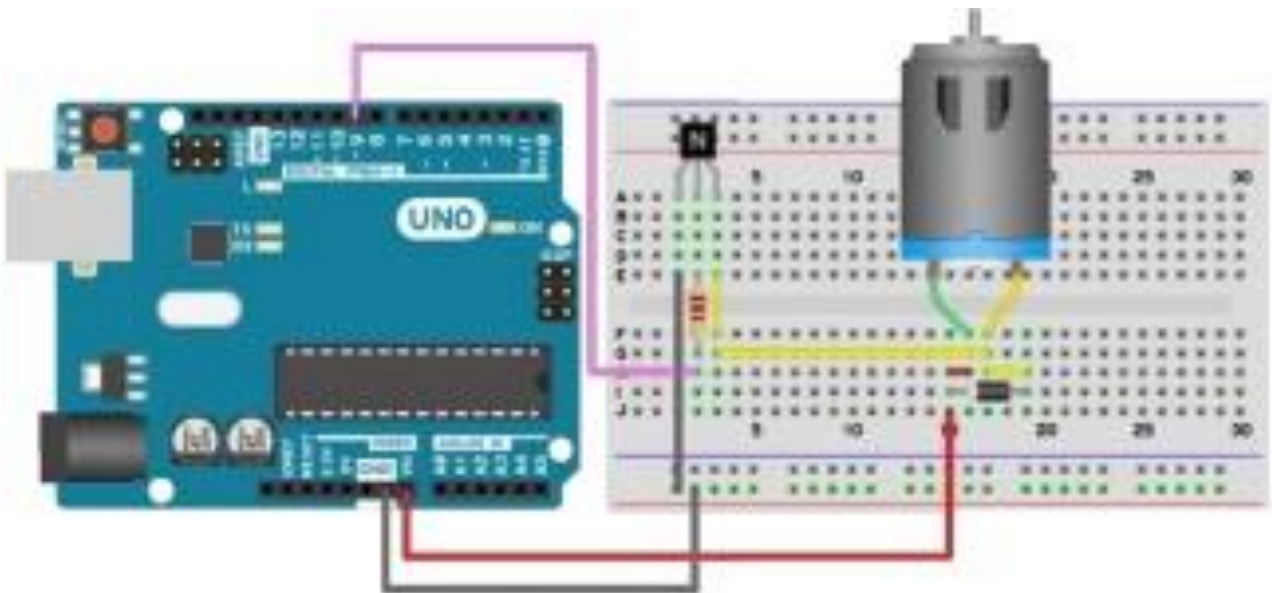


Рис. 7.2 – Схема підключення двигуна постійного струму до плати Arduino Uno за допомогою транзисторів

Це одна з можливих реалізацій з використанням дев'ятого цифрового виходу. Arduino може живитися від зовнішнього джерела живлення. А якщо ні, можна підключити двигун окремо до зовнішнього живлення 5В, а Arduino – до свого живлення. Але нуль живлення у них повинен бути об'єднаний.

Код програми Arduino. Цей скетч нічим не відрізняється від попереднього. Все так же програма запускає двигун на секунду, потім зупиняє його на секунду і так далі:

```
// Декларуємо номер дискретного керуючого виходу
int motorPin = 2;
void setup () {
// Призначаємо другий дискретний канал як вихід
pinMode (motorPin, OUTPUT);
}
void loop () {
// Включаємо мотор
digitalWrite (motorPin, HIGH);
// Чекаємо 1000 мс
delay (1000);
// вимикаємо мотор
digitalWrite (motorPin, LOW);
// Чекаємо 1000 мс
delay (1000);
}
```

Транзистори – це дуже корисні компоненти. Ми можемо уявити

транзистор як електричний клапан: чим більший струм подати на клапан, тим більше води через нього потече. Те ж саме відбувається з транзистором, тільки замість води тече струм. Якщо ми подамо струм на базу транзистора, пропорційний струм потече від колектора до емітера, в разі транзистора типу NPN. Чим більший струм подати на базу, тим більша сила струму буде через два інших виходи.

Коли подаємо логічну одиницю на вихід Arduino, струм проходить від виходу через базу транзистора NPN, що змушує струм проходити і через інші два виводи транзистора. Коли виставляємо нуль на виході, струм не йде через базу і не буде проходити через інші два виводи.

Транзистори цікаві в тому, що з дуже малим струмом бази, можна контролювати дуже великий струм через колектор і емітер. Звичайний коефіцієнт посилення позначається h_b для транзистора складає близько 200. Це означає, що для струму бази 1 мА, транзистор через колектор до емітера пропустить 200 мА. Важливим компонентом проекту є діод, про який не варто забувати. Як вже було сказано, двигун має індуктивну складову, яка може генерувати великі сплески напруги, небезпечні для транзистора. Діод гарантує, що всі паразитні збурення від двигуна загасяться на ньому, а не на транзисторі.

База транзистора дуже чутлива. Навіть дотик її пальцем може повернути електродвигун. Щоб уникнути небажаних шумів і непередбачуваного запуску двигунів необхідно підключати підтягуючий резистор до бази, як показано на рис. 7.3. Значення його опору близько 10К. Він буде охороняти транзистор від випадкового запуску.

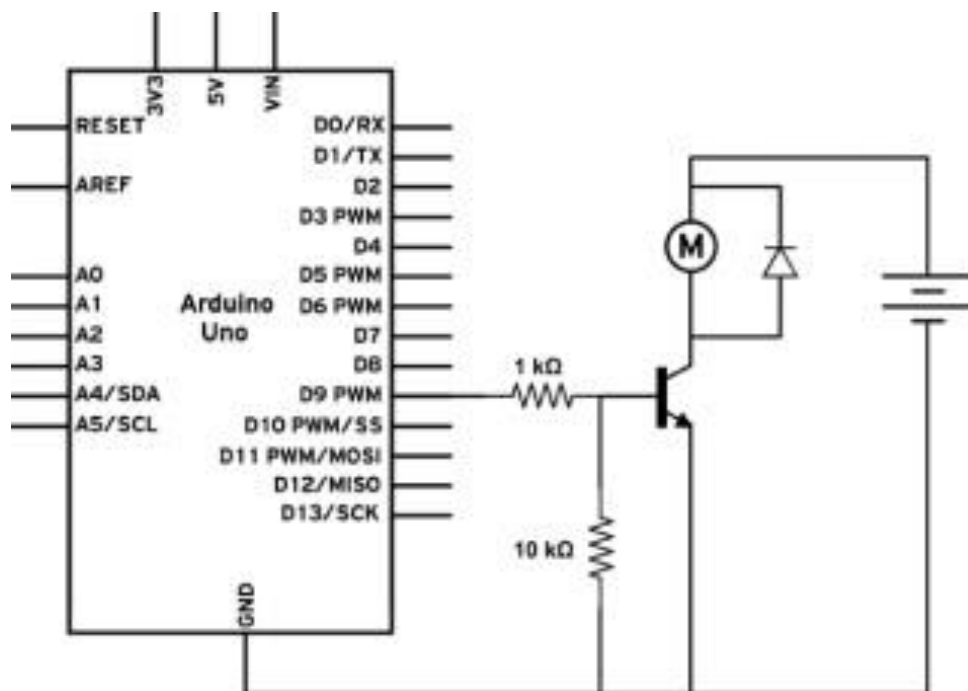


Рис. 7.3 – Схема підключення підтягуючого резистора

Підключення двигуна постійного струму до плати Arduino Uno за допомогою модуля L298N

Модуль L298N H-bridge можна використовувати для двигунів, напруга живлення яких знаходиться в діапазоні від 5 до 35 вольт. Крім того, на багатьох подібних платах є вбудований 5В регулятор, який дає можливість жити ваші пристрої.

Схема модуля L298N представлено на рис. 7.4.

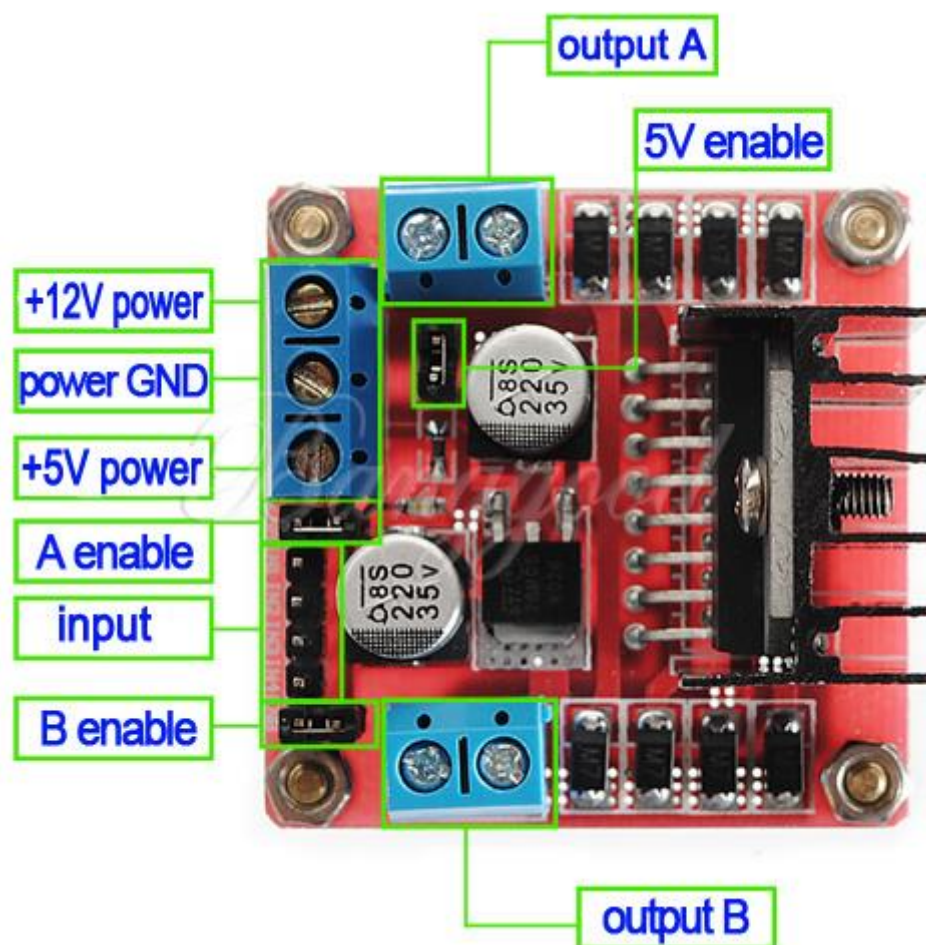


Рис. 7.4 – Схема модуля L298N

Нижче наведені роз'яснення до рис. 7.4.

1. Для двигуна постійного струму 1 "+" або для крокової двигуна A +
2. Для двигуна постійного струму 1 "-" або для крокової двигуна A-
3. Конектор на 12 вольт. Зніміть його, якщо використовуєте напругу живлення більше 12 вольт.
4. Живлення вашого двигуна забезпечується з цього виходу. Максимальна напруга живлення постійним струмом 35 вольт. Якщо напруга

більше 12 вольт, розімкніть контакти на 3 конекторі.

5. GND - земля.

6. Живлення 5 вольт, якщо конектор на 12 вольт замкнутий. Ідеально для живлення Arduino і т.п.

7. Конектор для двигуна постійного струму 1. Можна підключити до ШІМ-виходу для управління швидкістю двигуна постійного струму.

8. IN1.

9. IN2.

10. IN3.

11. IN4.

12. Конектор для двигуна постійного струму 2. У разі використання крокового двигуна, підключати сюди нічого не треба. Можна підключити до ШІМ-виходу для управління швидкістю двигуна постійного струму.

13. Двигун постійного струму 2 "+" або кроковий двигун В+.

14. Двигун постійного струму 2 "-" або кроковий двигун В-.

Схема підключення модуля L298N до плати Arduino Uno представлено на рис. 7.5.

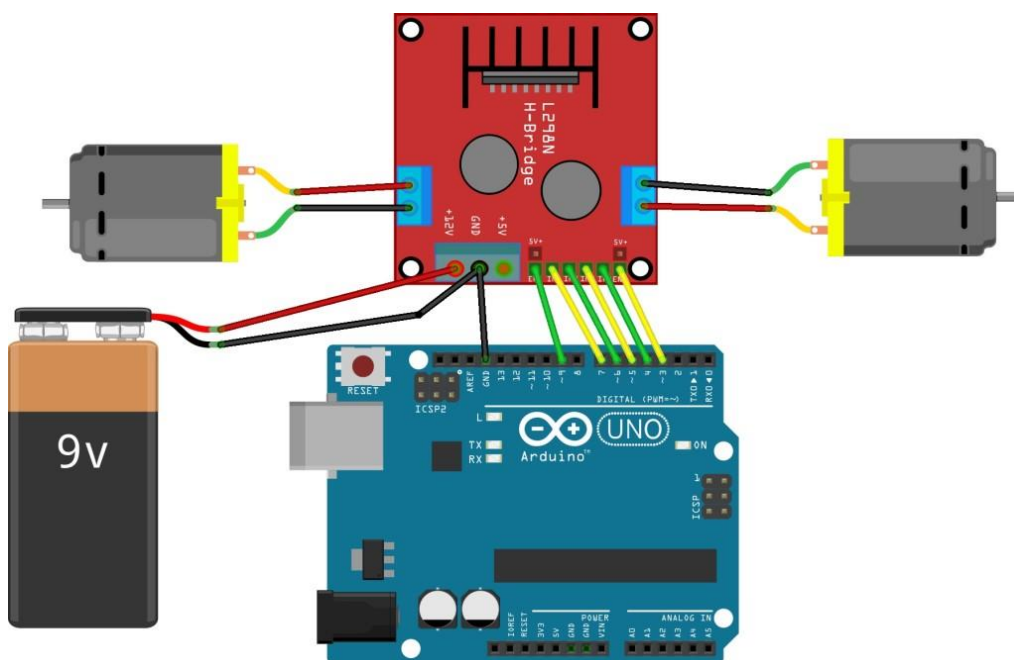


Рис. 7.5 – Схема підключення модуля L298N до плати Arduino Uno

Даний модуль дає можливість управляти одним або двома двигунами постійного струму. Для початку, підключіть двигуни до пінів А і В на контролері L298N.

Якщо ви використовуєте в проекті кілька двигунів, переконайтеся, що у них витримана однакова полярність при підключенні. Інакше, при заданні руху,

наприклад, за годинниковою стрілкою, один з них буде обертатися в протилежному напрямку. З точки зору програмування Arduino це незручно.

Після цього підключіть джерело живлення. Плюс – до четвертого піну на L298N, мінус (GND) – до 5 піну. Якщо джерело живлення до 12 вольт, конектор 3 можна залишити. При цьому буде можливість використовувати 5 вольт пін 6 з модуля.

Даний пін можна використовувати для живлення Arduino. При цьому не забудьте підключити пін GND з мікроконтролера до 5 піну на L298N для замикання ланцюга. Тепер вам знадобиться 6 цифрових пінів на Arduino. Причому деякі піни повинні підтримувати ШІМ-модуляцію.

ШІМ-піни позначені знаком "~" поруч з порядковим номером.

Тепер підключіть цифрові піни Arduino до драйверу. У нашому прикладі два двигуна постійного струму, так що цифрові піни D9, D8, D7 і D6 будуть підключені до пінів IN1, IN2, IN3 і IN4 відповідно. Після цього підключіть пін D10 до піну 7 на L298N (попередньо забравши конектор) і D5 до піну 12 (знову таки, прибравши конектор).

Напрямок обертання ротора двигуна управляється сигналами HIGH або LOW на кожен привід (або канал). Наприклад, для першого мотора, HIGH на IN1 і LOW на IN2 забезпечить обертання в одному напрямку, а LOW і HIGH змусить обертатися в протилежному напрямку.

При цьому двигуни не будуть обертатися, поки не буде сигналу HIGH на піні 7 для першого двигуна або на 12 піні для другого. Зупинити їх обертання можна подачею сигналу LOW на ті ж зазначені вище піни. Для керування швидкістю обертання використовується ШІМ-сигнал.

Скетч наведений нижче, спрацьовує у відповідності зі схемою підключення, яку ми розглядали вище. Двигуни постійного струму і Arduino живляться від зовнішнього джерела живлення.

```
// підключіть піни контролера до цифрових пінів Arduino
```

```
// перший двигун
```

```
int enA = 10;
```

```
int in1 = 9;
```

```
int in2 = 8;
```

```
// другий двигун
```

```
int enB = 5;
```

```
int in3 = 7;
```

```
int in4 = 6;
```

```
void setup ()
```

```
{
```

```
// ініціалізувати всі піни для управління двигунами як outputs
```

```

pinMode (enA, OUTPUT);
pinMode (enB, OUTPUT);
pinMode (in1, OUTPUT);
pinMode (in2, OUTPUT);
pinMode (in3, OUTPUT);
pinMode (in4, OUTPUT);
}
Void demoOne ()
{
// ця функція забезпечить обертання двигунів в двох напрямках на встановленій
швидкості
// запуск двигуна А
digitalWrite (in1, HIGH);
digitalWrite (in2, LOW);
// встановлюємо швидкість 200 з доступного діапазону 0 ~ 255
analogWrite (enA, 200);
// запуск двигуна В
digitalWrite (in3, HIGH);
digitalWrite (in4, LOW);
// встановлюємо швидкість 200 з доступного діапазону 0 ~ 255
analogWrite (enB, 200);
delay (2000);
// міняємо напрям обертання двигунів
digitalWrite (in1, LOW);
digitalWrite (in2, HIGH);
digitalWrite (in3, LOW);
digitalWrite (in4, HIGH);
delay (2000);
// вимикаємо двигуни
digitalWrite (in1, LOW);
digitalWrite (in2, LOW);
digitalWrite (in3, LOW);
digitalWrite (in4, LOW);
}
Void demoTwo ()
{
// ця функція забезпечує роботу двигунів у всьому діапазоні можливих
швидкостей
// зверніть увагу, що максимальна швидкість визначається самим двигуном і

```

```

напругою живлення
// ШІМ-значення генеруються функцією analogWrite ()
// і залежать від вашої плати управління
// запускають двигуни
digitalWrite ( in1, LOW);
digitalWrite (in2, HIGH);
digitalWrite (in3, LOW);
digitalWrite (in4, HIGH);
// прискорення від нуля до максимального значення
for (int i = 0; i <256; i ++)
{
analogWrite (enA, i);
analogWrite (enB, i);
delay (20);
}
// гальмування від максимального значення до мінімального
for (int i = 255; i >= 0; --i)
{
analogWrite (enA, i);
analogWrite (enB, i);
delay (20);
}
// тепер відключаємо мотори
digitalWrite (in1, LOW);
digitalWrite (in2, LOW);
digitalWrite (in3, LOW);
digitalWrite (in4, LOW);
}
Void loop ()
{
demoOne ();
delay (1000);
demoTwo ();delay (1000);
}

```

Пояснення до скетчу для керування двигунами постійного струму.

У тілі функції demoOne () ми включаємо двигуни і починаємо з ними працювати при ШІМ-значенні 200.

Через деякий час двигуни починають обертатися в протилежному напрямку (завдяки зміні HIGH і LOW в тілі функції digitalWrite ()). Для

демонстрації можливостей зміни швидкості обертання, використовуємо доступний ШІМ-діапазон в тілі функції `demoTwo()`. Сигнал на піні змінюється від нуля до 255 і знову до нуля.

Підключення крокового двигуна до плати Arduino Uno за допомогою модуля L298N

Використовуємо кроковий двигун Nema 17, у якого чотири кабелі для підключення.

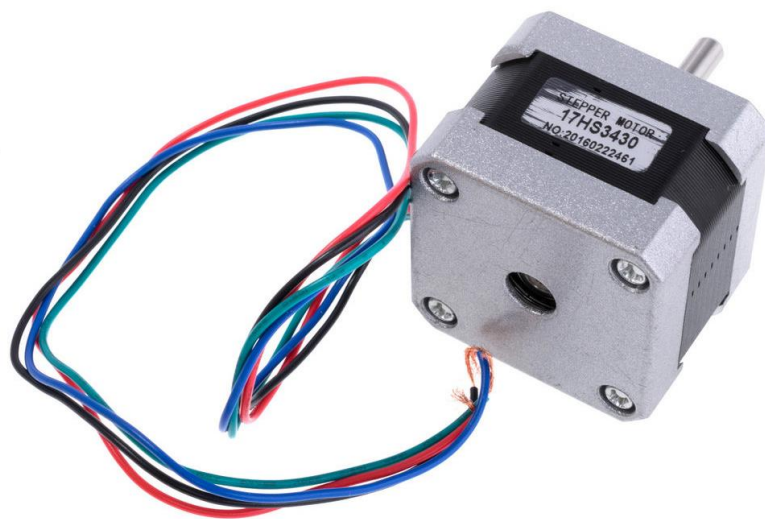


Рис. 7.6 – Загальний вигляд крокового двигуна Nema 17

Цей двигун має 200 кроків на оберт і може працювати з частотою обертання 60 об/хв. Якщо використовується інший кроковий двигун, уточніть його крок і максимальну частоту обертання. Ці параметри знадобляться при програмуванні Arduino.

Ще один важливий момент – визначити які саме кабелі відповідають A +, A–, B + і B–. У нашому прикладі відповідні кольори кабелів: червоний, зелений, жовтий і блакитний. Переходимо до підключення.

Кабелі A +, A–, B + і B– від крокової двигуна підключаємо до пінів 1, 2, 13 і 14 відповідно. Контакти на конекторах 7 і 12 на контролері L298N залиште замкнутими. Після цього підключіть джерело живлення до піну 4 (плюс) і 5 (мінус) на контролері.

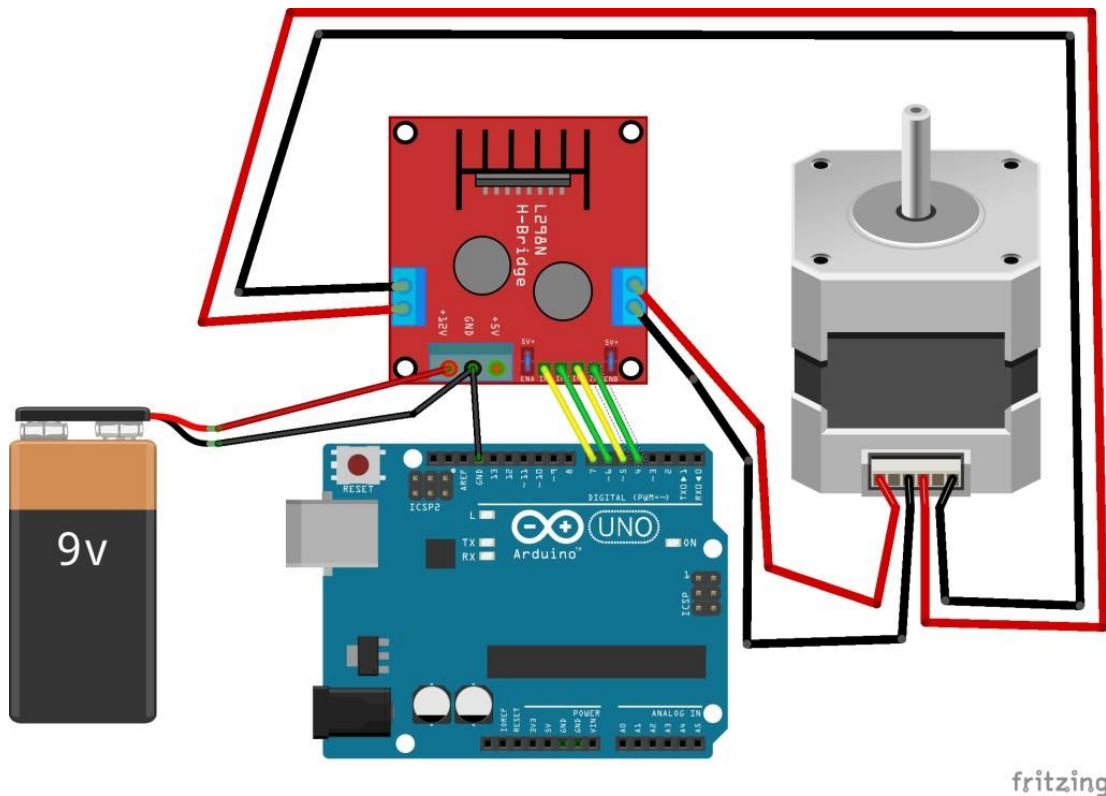


Рис. 7.7 – Схема підключення крокового двигуна Nema 17 і модуля L298N до плати Arduino Uno

Знову ж таки, якщо джерело живлення менше 12 вольт, контакт, зазначений 3 модуля, можна залишити замкнутим. Після цього, підключіть піни модуля L298N IN1, IN2, IN3 і IN4 до відповідних цифровим пінів D8, D9, D10 і D11 на Arduino.

Тепер підключаємо GND пін з Arduino до піну 5 на контролері, а 5V до 6 піну на модулі. З управлінням крокового двигуна проблем бути не повинно завдяки вбудованій в Arduino IDE бібліотеці Stepper Library.

Для перевірки працездатності просто завантажте скетч `stepper_oneRevolution`, який входить до складу бібліотеки. Даний приклад знаходиться в меню `File > Examples > Stepper` в Arduino IDE.

Пояснення до скетчу для керування кроковим двигуном уточніть значення `const int stepsPerRevolution = 200;` в скетчі та змініть значення 200 на вашу кількість кроків за один поворот двигуна валу і швидкість обертання в рядку `myStepper.setSpeed(60)`.

Тепер можете зберегти і завантажити скетч, який реалізує обертання на один оборот валу, а потім у протилежному напрямку. Це реалізується за допомогою функції

```
myStepper.step(stepsPerRevolution); // обертання за годинниковою стрілкою
```

```
myStepper.step(-stepsPerRevolution); // обертання проти годинникової стрілки.
```

Підключення сервоприводів до плати Arduino Uno

Сервопривід – це привід, вал якого може встати в задане положення або підтримувати задану швидкість обертання. Іншими словами, валом сервоприводу можна управляти, наприклад, задаючи йому положення в градусах або певну частоту обертання.

Сервоприводи використовуються в самих різних областях, наприклад, в робототехніці вони допомагають моделювати різні рухи роботів.

Сервоприводи – ефективне рішення для переміщення механізмів в просторі.

Для лабораторної роботи нам знадобитися: Arduino UNO або Arduino Nano; плата макетна; резистор 220 Ом; з'єднувальні дроти «тато-тато», світлодіод 3 або 5 мм, кнопка, Servo (сервопривід).

Для досягнення самих різних цілей робототехніки до програмованого контролера Arduino може бути підключений сервопривід. Підключення здійснюється через кабелі, які виходять з сервоприводу. Зазвичай це три дроти: червоний; коричневий або чорний; жовтий, помаранчевий або білий.

Підключення сервоприводу до плати Arduino проводиться через ШІМ-виводи.

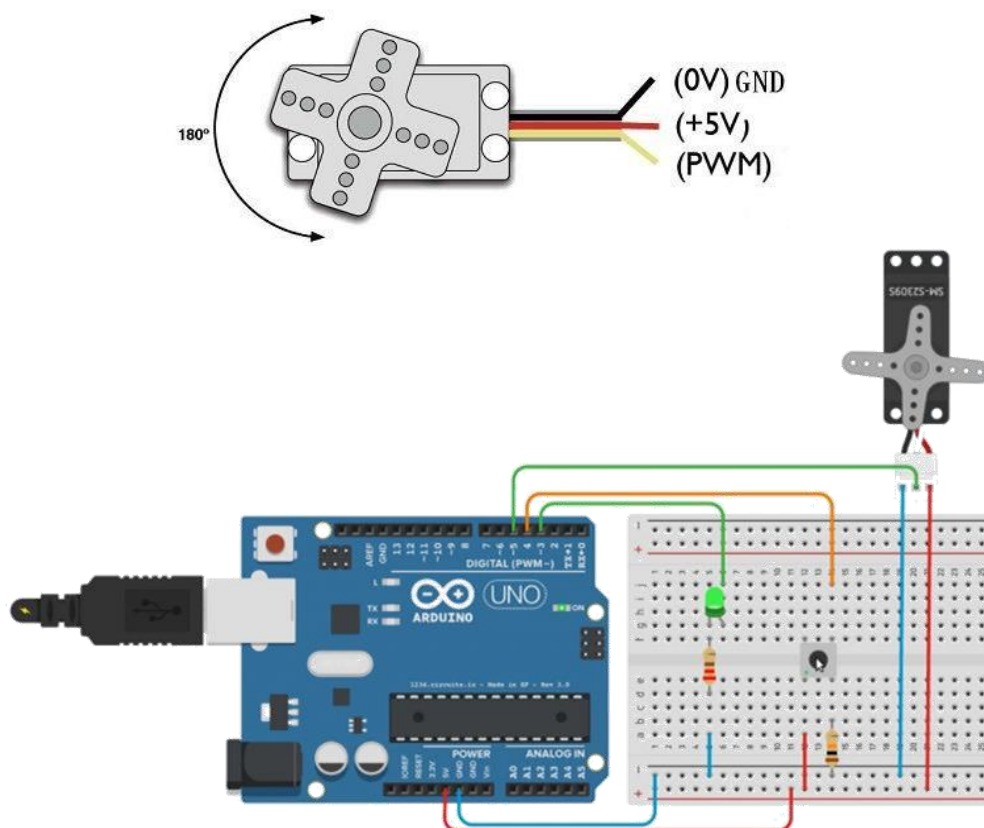


Рис. 7.8 – Схема сервопривода та схема його підключення до плати Arduino Uno

Код програми наступний:

```
#include <Servo.h> // підключаємо бібліотеку для роботи з сервоприводом
Servo servo; // оголошуємо змінну servo типу "servo"
int led_pin=3; // пін підключення
int button_pin = 4; // пін кнопки
// змінні
int buttonState = 0; // змінна для зберігання стану кнопки
void setup() {
  pinMode(led_pin, OUTPUT); // Ініціюємо цифровий вхід / вихід в режимі
виходу.
  pinMode(button_pin, INPUT); // Ініціюємо цифровий вхід / вихід в режимі
входу.
  servo.attach(5); // прив'язуємо сервопривід до аналогового виходу 10
}
void loop() {
  buttonState = digitalRead(button_pin); // зчитуємо значення з входу кнопки
  if (buttonState == HIGH) {
    digitalWrite(led_pin, HIGH); // запалюємо світлодіод
    servo.write(0); // ставимо вал на 180
    delay (1000); // затримка в 1 секунду
  }
  else {
    digitalWrite(led_pin, LOW); // вимикаємо світлодіод
    servo.write(180); // ставимо вал на 0
    delay (1000); // затримка в 1 секунду
  }
}
```

Завдання і зміст звіту

Завдання: побудувати представлені вище моделі і запрограмувати Arduino для виконання приведених операцій.

Звіт повинен містити:

- назву та мету роботи;
- стислі теоретичні відомості;
- файли моделі;
- схеми підключення моделей;
- висновки до роботи.

Контрольні питання

1. Застосування електроприводів в машинах та обладнаннях сільськогосподарського виробництва.
2. Відомості про електроприводи.
3. Керування двигуном постійного струму.
4. Керування кроковим двигуном.
5. Керування севоприводом.

Список рекомендованих джерел

1. John Nussey. Arduino For Dummies (For Dummies (Computer/Tech)). 2018. 400 p.
2. Simon Monk. Programming Arduino: Getting Started with Sketches (Tab). 2016. 192 p.
3. Massimo Banzi, Michael Shiloh. Make: Getting Started with Arduino: The Open Source Electronics Prototyping Platform. 2015. 260 p.
4. Jeremy Blum. Exploring Arduino: Tools and Techniques for Engineering Wizardry. 2019. 512 p.
5. Richard Blum. Arduino Programming in 24 Hours, Sams Teach Yourself (Sams Teach Yourself: In 24 Hours). 2014. 432 p.
6. John Boxall. Arduino Workshop, 2nd Edition: A Hands-on Introduction with 65 Projects. 2021. 432 p.

Лабораторна робота № 8

Мехатронна установка для вивчення кінематики ротаційних робочих органів сільськогосподарських машин

Мета роботи – засвоєння і поглиблення теоретичних знань, набуття практичних навиків та вмінь щодо аналізу мехатронних пристроїв.

Обладнання, прилади, інструменти і ТЗН: установка для вивчення ротаційних робочих органів.

Короткі теоретичні відомості

Ротаційні робочі органи застосовуються в ґрунтообробних сільськогосподарських машинах та приводяться до обертального руху від двигуна трактора (активний тип) та від зчеплення з ґрунтом (пасивний тип).

Схематичне зображення ротаційних робочих органів різного типу наведено на рис. 8.1, зокрема:

- ґрунтообробних фрез (активний тип) (рис.8.1, а);
- голчастих ґрунторозпушувальних (активний тип) (рис.8.1, б);

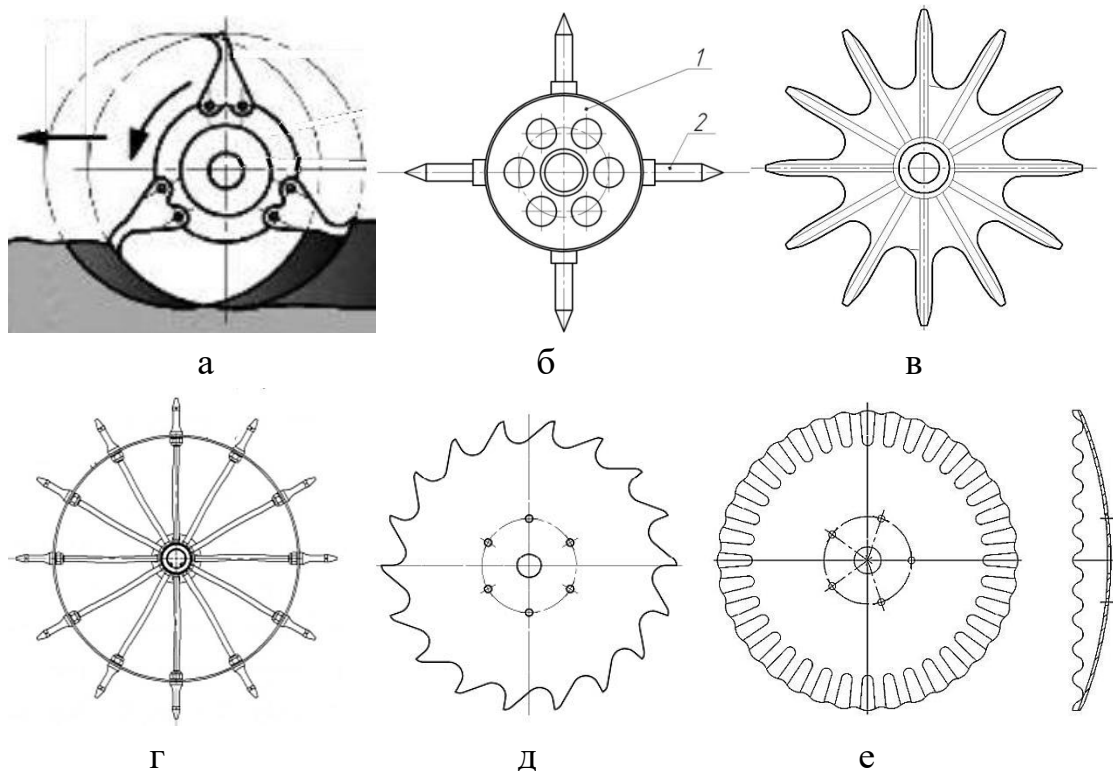


Рис. 8.1 – Схеми ротаційних робочих органів:

а – фрезерний ґрунтообробний; б – робочий орган барабана для передпосівного обробітку ґрунту (1 – барабан; 2 – зуб); в – голчастий диск; г – інжекторне колесо для внесення рідких добрив; д – плоский диск з дрібними асиметричними вирізами; е – сферичний диск з дрібними гофрами.

- голчастих для розпушування ґрунту та знищення бур'янів (пасивний тип) (рис.8.1, в);
- голчастих для внесення рідких добрив (пасивний тип) (рис.8.1, г);
- дискових (пасивний тип) (рис.8.1, д, е).

Механіка взаємодії з ґрунтом ротаційних робочих органів пасивного та активного типів близька між собою, тому вони математично описуються подібними моделями. Для наочної ілюстрації та аналізу траєкторій руху точок робочих органів можливо використати навчально-дослідницьку установку фізичного та графічного моделювання. Установка сумісно розроблена та виготовлена викладачами Полтавського державного аграрного університету та Центральноукраїнського національного технічного університету під керівництвом проф. Ветохіна В.І. [1, 2]

Активний та пасивний режими роботи ротаційних знарядь відрізняється значенням кінематичного параметра. Можливість завдання різних значень кінематичного параметра забезпечена конструкцією Установки.

Навчально-дослідницька Установка для вивчення ротаційних робочих органів схематично зображена на рис. 8.2.

Установка забезпечує можливість візуального спостереження та оцінки траєкторій руху точок ротаційного робочого органа при різних значеннях кінематичного параметра, одночасно з графічною фіксацією траєкторій на екрані самописцями.

Отримана на екрані графічна інформація придатна для подальшого вивчення без додаткової обробки, але, за необхідності, може бути оброблена кількісними методами.

Моделювання руху різних точок робочого органа при різних кінематичних параметрах обертання робочого органа ротаційного ґрунтообробного знаряддя забезпечується перестановкою ланцюга у зачеплення з зубчастими зірочками різного діаметра.

Установка (рис. 8.2) складається з рами 1, напрямних 2, візка 3 з екраном 4. На загальному валу 5 встановлені обертовий робочий орган 6 та ведучий ротор 7. Візок 3 з екраном 4 встановлено з можливістю повздовжнього переміщення приводом 8 по напрямним 2. Ведучий ротор 7 кінематично зв'язано з повздовжнім переміщенням візка 3 ланцюгом 9.

Опора 10 вала 5 обертання робочого органа 6 закріплена нерухомо відносно рами 1, причому ведучий ротор 7 виконано у вигляді зірочок 11 різного діаметра з можливістю з'єднання з візком 3 ланцюгом 9 у точках приєднання 12.

Привід 8 через шестерню 13 з'єднано зубчастим пасом 14 з візком 3 у точках кріплення 15. Відповідний зубчастий профіль має шестерня

електропривода 13. Опорні ролики 16 мають V-подібний профіль, закріплені на рамі 1, та входять в зчеплення з напрямними 2. Візок 3 має декілька точок приєднання 12 ланцюга 9 відповідно до діаметра шківів 11. Для зміни кінематичного режиму руху робочого органа 6 необхідно перемістити ланцюг 9 на зірочку 11 іншого діаметра та відповідно змінити пару точок приєднання 12.

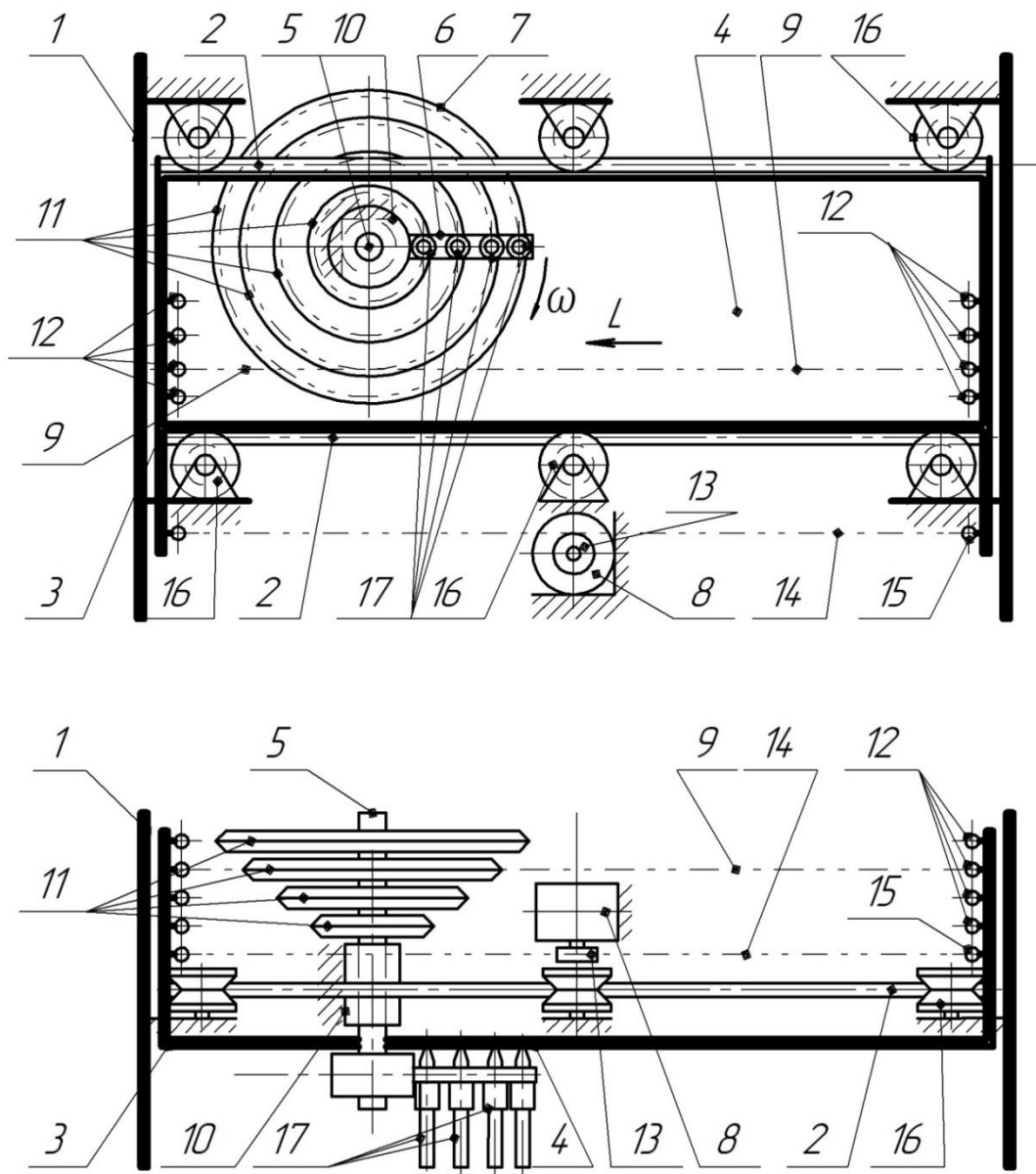


Рис. 8.2 – Схема установки для вивчення ротаційних робочих органів

На вал 5 установки можуть бути встановлені робочі органи 6 ротаційних знарядь різного типу. Наприклад, типів фрези, голчастих коліс, зубчастої ротаційної борони, диска та інші. У ході експериментального вивчення фіксується форма та інші параметри траєкторій, що відобразилися на екрані 4. З метою спрощення, замість робочого органа може бути використана його

масштабна модель або макет. Засоби для фіксації результату дії робочого органа виконані як поєднання екрана 4 та встановленого на моделі робочого органа 6 набору самописців 17. Пишучі елементи самописців 17 звернені до екрана 4 та контактують з ним.

При роботі установки для вивчення ротаційних робочих органів, візок 3 з екраном 4, приводиться до руху приводом 8, завдяки приєднанню до візка 3 паса 14 та його зчеплення зі шківом 13. Завдяки кінематичному зв'язку візка 3 та ротора 7 за допомогою ланцюга 9, повздовжнє переміщення візка 3 у напрямку L призводить до примусового обертання ротора 7 у напрямку ω . Встановлені на загальному валу 5, привідний ротор 7 та робочий орган 6 обертаються з однаковою кутовою швидкістю. Таким чином, одночасно відбувається обертання робочого органа 6 та повздовжнє переміщення L екрана 4 відносно робочого органа 6. Пишучі елементи самописців 17 звернені до екрана 4 та здійснюють рух у його площині.

Контакт екрана 4 та набору самописців 17 призводить до утворення на екрані 4 зображення сукупності ліній n, m, l, k (рис. 8.3), відповідно траєкторій руху окремих точок p_1, p_2, p_3, p_4 робочого органа 6. Форма та параметри ліній залежать від співвідношення повздовжнього лінійного переміщення L візка 3, та кутового переміщення φ точок p_1, p_2, p_3, p_4 моделі робочого органа 6 відносно екрана 4.

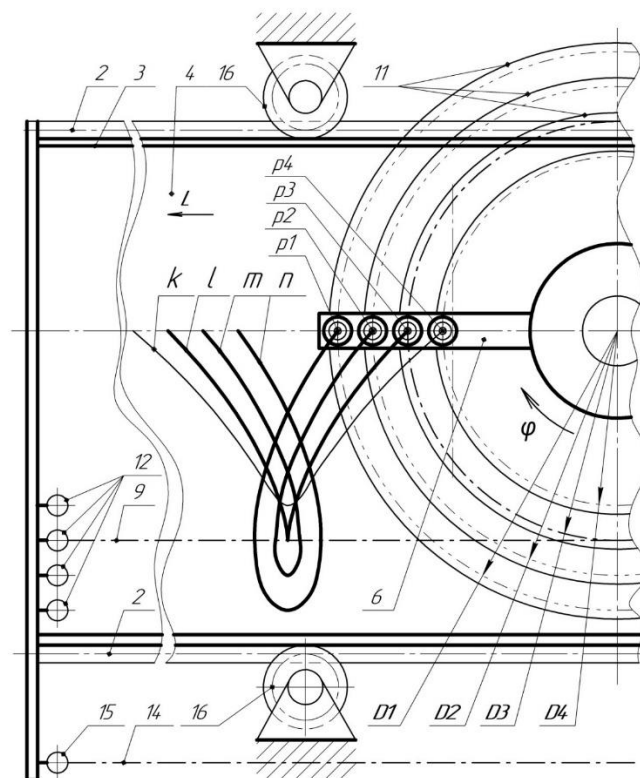


Рис. 8.3 – Схематичне зображення фрагмента установки з графічним зображенням сліду самописців на екрані

Зазначене співвідношення визначає значення кінематичного параметра λ , який розраховують за формулою

$$\lambda = \omega \cdot R / \vartheta = \varphi \cdot D / (2 \cdot L),$$

де ω – кутова швидкість обертання робочого органа, 1/с;

R – радіус шківів ($R = D/2$), м;

ϑ – лінійна швидкість руху візка, м/с.

Кінематичний параметр λ змінюється перестановкою ланцюга 9 у зачеплення з зірочками 11 різного діаметра D . Така перестановка, при однаковому лінійному переміщенні візка 3, забезпечує різне кутове обертання робочого органа 6.

У ході вивчення ланцюг 9 може бути переставлений по точкам приєднання 12, та, відповідно, входить у зачеплення зі зірочками 11 різного діаметра $D1, D2, D3, D4$. Робочий орган 6 здійснює обертання з кутовим переміщенням φ та повздовжнім переміщенням L відповідно різним довжинам кіл діаметрів $D1, D2, D3, D4$. Зображення на рис. 8.2 відповідає зчепленню ланцюга 9 з зірочкою 11 діаметра $D3$ та обертанню моделі робочого органа 6 на півоберта, тобто кутове переміщення $\varphi = \pi$.

Точки $p1, p2$ здійснюють рух з пришвидшеним обертанням ($\lambda > 1$), та утворюють траєкторії, що фіксується самописцями 17 на екрані 4 як лінії n, m .

Точка $p3$ здійснює рух з кінематичним параметром $\lambda = 1$ та утворює траєкторію, що фіксується самописцем 17 як лінія l .

Точка $p4$ здійснює рух з пригальмованим обертанням ($\lambda < 1$) та утворює траєкторію, що фіксується самописцем 17 на екрані 4 як лінія k .

Таким чином, конструкція установки забезпечує вивчення при різних співвідношеннях повздовжнього руху та обертання робочого органа, тобто при різних значеннях кінематичного параметра λ , що задається дослідником в процесі моделювання.

Фіксація траєкторій руху різних точок робочого органа забезпечується набором самописців 17, встановлених на моделі робочого органа 6 та взаємодією з екраном 4 їх пишучих елементів.

Спрощення моделювання руху різних точок робочого органа при різних кінематичних параметрах обертання ротаційного ґрунтообробного знаряддя забезпечується простотою перестановки ланцюга 9 у зачеплення з зірочками 11 різного діаметра D .

Полегшення вивчення результату дії робочого органа забезпечується можливістю візуального спостереження та оцінки траєкторій руху точок ротаційного робочого органа 6 при різних значеннях кінематичного параметра,

одночасно з графічною фіксацією траєкторій на екрані 4 самописцями 17. Отримана на екрані 4 графічна інформація придатна для подальшого вивчення без додаткової обробки, але за необхідності може бути оброблена кількісними методами.

Методика і порядок проведення роботи

Для проведення роботи використовувати мехатронну установку для вивчення ротаційних робочих органів (рис. 8.4), яка складається з рами 1, напрямних 2, візка 3, електропривода 4, пульта управління (рис. 8.5). На загальному валу 5 (рис. 8.4) встановлені обертовий робочий орган 6 та блок з чотирьох ведучих зірочок 7. Візок 3 встановлено з можливістю повздовжнього переміщення приводом 8 по напрямним 2. Ведуча зірочка 7 кінематично зв'язана з повздовжнім переміщенням візка 3 ланцюгом 9.

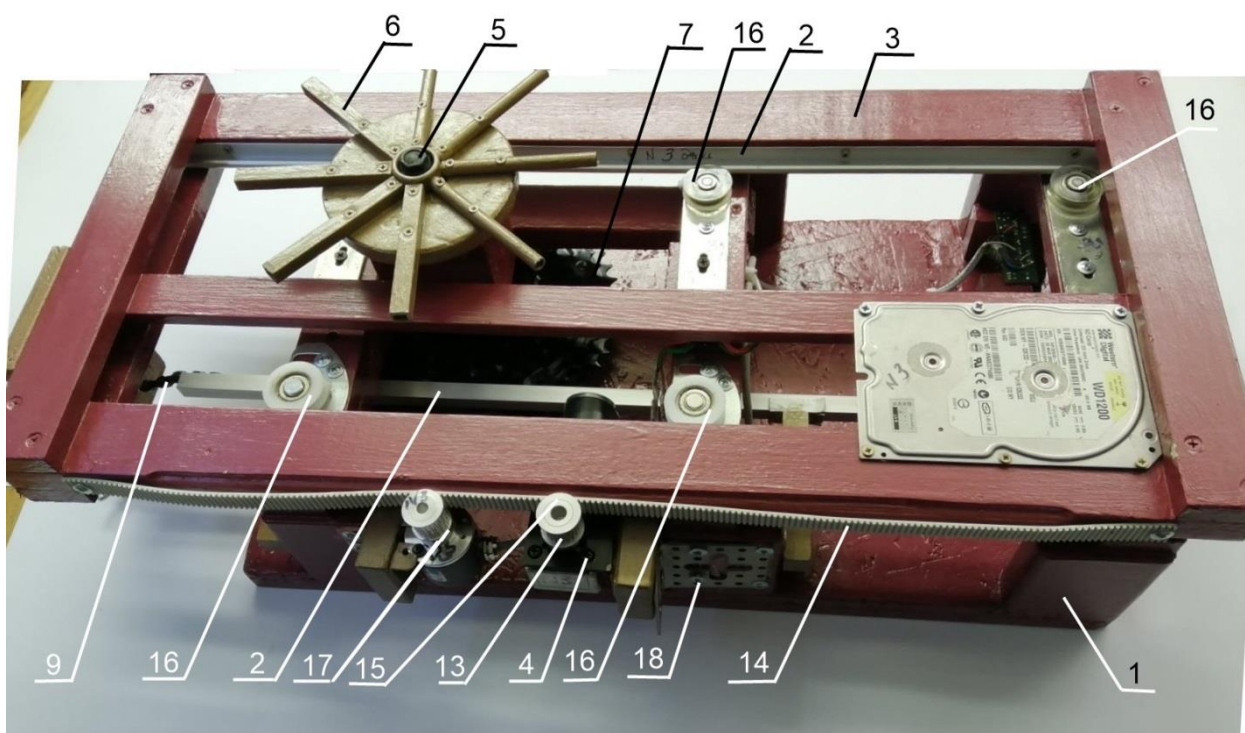


Рис. 8.4 – Мехатронна установка для вивчення ротаційних робочих органів

Привід 4 через шестерню 13 з'єднано зубчастим пасом 14 з візком 3 у точках кріплення 15. Відповідний зубчастий профіль має шестерня електропривода 13. Опорні ролики 16 мають V-подібний профіль, закріплені на рамі 1, та входять в зчеплення з напрямними 2. Візок 3 має декілька точок приєднання 12 ланцюга 9 відповідно до діаметра шківів 11. Для зміни кінематичного режиму руху робочого органа 6 необхідно перемістити ланцюг 9

на зірочку 11 іншого діаметра та відповідно змінити пару точок приєднання 12 та опор спрямовуючого профілю ланцюга.

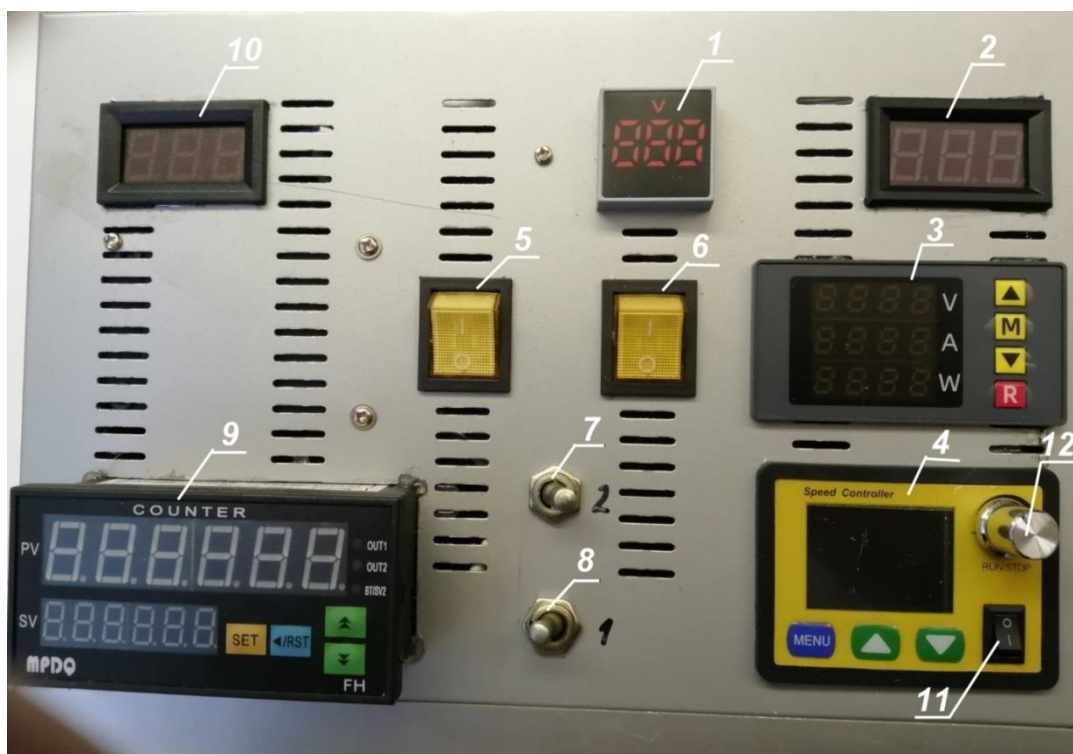


Рис. 8.5 – Пульт управління мехатронної установки для вивчення ротаційних робочих органів:

1 – індикатор сітрової напруги; 2 – індикатор живлення приводу візка; 3 – комплексний індикатор напруги, струму та потужності живлення приводу; 4 – регулятор електричного струму живлення приводу (контролер двигуна приводу візка); 5 – тумблер включення живлення лічильника імпульсів; 6 – тумблер включення живлення приводу візка; 7 – резервний тумблер; 8 – тумблер переключення режимів приводу візка; 9 – лічильник імпульсів енкодера; 10 – індикатор живлення лічильника; 11 – тумблер включення регулятора електричного струму живлення приводу; 12 – кнопка регулятора живлення приводу.

Методика проведення роботи

1. Встановити ланцюг зі спрямовуючим профілем на потрібній зірочці та відповідній парі отворів кріплення ланцюга на рамі (1 – для зірочки мінімального діаметра, 4 – для максимального).
2. Закріпити на приводному валу макет ротаційного робочого органа або важіль з самописцем.

3. Для вивчення взаємодії макета ротаційного робочого органа з робочим середовищем (пісок, глина, чорнозем) встановити змінну кювету (місткість з прозорою стінкою для спостереження та відеозйомки процесу) на установку.
4. Для побудови траєкторії абсолютного руху робочого органа закріпити замість нього важіль з самописцем та екран з аркушем щільного паперу (замість кювети).
5. Ввімкнути тумблер на бічній поверхні пульта (засвічується індикатор сітьової напруги 1).
6. Встановити режим руху візка (положення тумблера 8 вправо – привод візка 3 включено без використання реле лічильника; положення тумблера 8 вліво – привод візка 3 включено із використанням реле лічильника).
7. Подати напругу на привод візка тумблером 6 (засвічується індикатор напруги 2).
8. Подати напругу на лічильник-вимірювач відстані тумблером 5 (засвічуються індикатори 10 та 9). Записати показник індикатора 9 (координата початкової точки руху візка).
9. Ввімкнути тумблер 11 регулятора-вимірювача швидкості руху візка 4 (засвічується індикатор 3).
10. Привести до руху візок, натиснувши кнопку-регулятор 12 (засвічується індикатор 4). Відрегулювати швидкість руху візка (відображена на індикаторі 4 у верхньому рядку) обертанням кнопки-регулятора 12.
11. Зафіксувати візуально або відеозйомкою напругу (V), струм (A) та потужність (W), які споживає привід візка (індикатор 3).
12. Зупинити рух візка, натиснувши кнопку-регулятор 12.
13. Зафіксувати візуально та записати показник індикатора 9 (координата кінцевої точки руху візка).
14. Вимкнути тумблери 11, 5 та 6, а також тумблер на бічній поверхні пульта.
15. Відпустити шурупи кріплення шестерні електропривода 18 (рис.1), вивести її зі з'єднання з зубчастим пасом 14 та вручну перевести візок 3 у вихідне положення. Затиснути шурупи.

Порядок виконання роботи

1. Вивчити теоретичні відомості.
2. Встановити ланцюг зі спрямовуючим профілем на зірочці мінімального діаметра та відповідній парі отворів кріплення ланцюга на рамі. Відповідно змінити положення опор спрямовуючого профілю.
3. Виконати пункти 1–12 «Методики проведення роботи».

4. Переставити ланцюг зі спрямовуючим профілем на зірочку більшого діаметра з відповідними змінами отворів кріплення ланцюга та опор спрямовуючого профілю.
5. Виконати пункти 1–12 «Методики проведення роботи».
6. Дати відповіді на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. На яких сільськогосподарських машинах використовуються ротаційні робочі органи?
2. Назвіть два типи ротаційних робочих органів.
3. Яка назва кривої, що утворюється при побудові траєкторії крайньої точки робочого органа?
4. На якому діаметрі ($D1$ або $D2$ або $D3$ або $D4$) перебуває точка $p1$?
5. Яку лінію (n або m або l або k) малює точка $p3$?
6. При зачепленні шківа якого діаметра ($D1$ або $D2$ або $D3$ або $D4$) з пасом утворюється лінія l ?

Список рекомендованих джерел

1. Установка для моделювання ротаційних робочих органів: пат. 158228 Україна: G01M 7/00, G01P 13/00 (2024.01). № и 2024 03223; заявл. 18.06.2024; опубл. 08.01.2025, Бюл. № 2.
2. Ветохін, В. І., Попов, С. В., Рижкова, Т. Ю., Негребецький, І. С., Лещенко, С. М., Амосов, В. В., Мачок, Ю. В., & Петренко, Д. І. (2024). Удосконалення ґрунтового каналу для дослідження ротаційних знарядь з урахуванням кінематичних особливостей взаємодії з ґрунтом. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(1 (132)), 31–40. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.315127>

Навчально-методичне видання

Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт

Освітньо-професійна програма: "Агроінженерія"

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Спеціальність: Н7 Агроінженерія

Галузь знань: Н «Сільське, лісове, рибне господарство та ветеринарна медицина»

Укладачі:

Петренко Д.І.

Лещенко С.М.

Васильковський О.М.

Амосов В.В.

Мачок Ю.В.