

Міністерство освіти і науки України
Національний університет водного господарства
та природокористування
Кафедра агроінженерії

02-07-71М

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання практичних робіт та самостійної роботи
з дисципліни
«Системи точного землеробства та мехатронні системи»
для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня
за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія»
спеціальності Н7 «Агроінженерія»
денної та заочної форм навчання

Рекомендовано науково-методичною
радою з якості ННМІ
Протокол № 10 від 19 травня 2026 р.

Рівне – 2026

Методичні вказівки до виконання практичних робіт та самостійної роботи з дисципліни «Системи точного землеробства та мехатронні системи» для здобувачів вищої освіти другого (магістерського) рівня за освітньо-професійною програмою «Агроінженерія» спеціальності Н7 «Агроінженерія» денної та заочної форм навчання [Електронне видання] /Голотюк М. В., Валецька О. В., Пилипака Т. С., Полевик О. А., Михайлов А. О. – Рівне : НУВГП, 2026. –33 с.

Укладачі:

Голотюк М. В. – к.т.н., доцент кафедри агроінженерії;
Валецька О. В., к.с/г.н., доцент кафедри агроінженерії;
Пилипака Т. С., к.т.н., доцент кафедри агроінженерії;
Полевик О. А. – старший викладач кафедри агроінженерії;
Михайлов А. О. – асистент кафедри агроінженерії.

Відповідальний за випуск: Налобіна О. О., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри агроінженерії.

Керівник групи забезпечення спеціальності
Н7 «Агроінженерія»

Налобіна О. О.

Методичні вказівки схвалено на засіданні кафедри агроінженерії
Протокол №10 від 06 квітня 2026 року

Попередня версія 02-07-16 М

© М. В. Голотюк,
О. В. Валецька,
Т. С. Пилипака, О. А. Полевик,
А. О. Михайлов, 2026
© НУВГП, 2026

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 1

Тема: Мехатронні системи сільськогосподарських машин: типи шин даних та принцип їх роботи

Мета роботи: вивчити будову та принцип функціонування шин даних.

Теоретичні передумови.

Обладнання сучасних транспортних засобів поєднує у собі велику кількість електронних блоків, кожен із яких відповідає за функціонування певного елемента електрообладнання. Тому постає необхідність у поєднанні всіх цих електронних блоків у загальну мережу, для можливості передачі даних між собою. З другої сторони, ця мережа повинна містити мінімальну кількість дротів та забезпечувати надійний зв'язок. Ці вимоги задовольняє CAN (Controller-Area-Network) шина.

Локальна мережа контролерів CAN - це стандарт серійної шини, розроблений у 80-х роках Robert Bosch GmbH, для з'єднання електронних блоків управління. CAN був спеціально розроблений для стабільної роботи в умовах насичених радіоперешкодами у навколишньому середовищі, із застосуванням різнобічно збалансованої лінії. З'єднання може бути більш стійким до перешкод при використанні витой пари. Спочатку ця мережа створювалася для автомобільного призначення, але в даний час використовується в різноманітних системах управління, в т.ч. промислових. Швидкість обміну даними до 1 Mbit/s можлива в мережах довжиною не більше 40 м. Зниження швидкості обміну дозволяє збільшити довжину мережі, наприклад - 250 Kbit / s при 250 м. Існують різні CAN мережі. Наприклад, в автомобілях CAN мережі розділені на дві категорії, засновані на принципі передачі даних по мережі. Мережі контролю систем комфорту і зручностей, з великою кількістю ідентифікаторів інформації, які передаються без дотримання визначеного порядку або частоти. Мережі контролю силової установки, управляють інформацією що відноситься до двигуна і трансмісії. Містять меншу кількість інформації, але інформація передається організовано та швидко.

Переваги CAN:

- Доступність для споживача. CAN протокол успішно

застосовується протягом більше 15 років, з 1986 року. Існує багатий вибір CAN продуктів і пристроїв у відкритому продажі.

- Реалізація протоколу на апаратному рівні. Протокол базується на апаратному рівні. Це дає можливість комбінувати здатність розпізнавати і контролювати помилки зі здатністю високошвидкісної передачі даних.

- Примітивна лінія передачі. Лінія передачі даних, в більшості випадків, вита пара. Але зв'язок з CAN протоколу так само може здійснюватися по одному дроті. У різних випадках можливе застосування найбільш відповідних каналів зв'язку, оптичного або радіоканалу.

- Чудова здатність виявлення помилок та локалізація несправностей. Здатність виявляти помилки та збої є суттєвою перевагою CAN протоколу. Механізм виявлення помилок побудований на екстенсивному принципі, так самонадійна і добре розроблена система перевірки і підтвердження помилок і збоїв. Система визначення несправностей і повторна передача даних виконується автоматично на апаратному рівні.

- Система виявлення та перевірки несправностей. Несправне джерело в системі здатне дезорганізувати всю систему, тобто зайняти всі канали зв'язку. CAN протокол має вбудовану можливість яка оберігає систему від джерела несправності. Джерело помилки відсторонюється від прийому і передачі даних по CAN шині.

Принцип функціонування. CAN шина складається із двох дротів – CAN- High та CAN-Low. Оскільки інформація передається у цифровому форматі, то значення можуть мати лише два стани: рецесивний (логічна одиниця) та доміантний (логічний нуль). При рецесивному стані лінії напруга на дротах CAN-High та CAN-Low приймає значення 2,5В. Тобто різниця напруг рівна

0. При доміантному стані напруга на CAN-High є рівною 3,5В, а на CAN-Low – 1,5В. Тобто різниця напруг становить 2 В. Завдяки застосуванню витої пари нівелюється вплив радіоперешкод на шину даних, оскільки тут враховується диференціальна напруга.

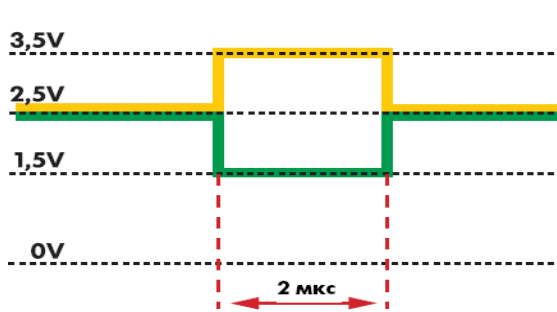


Рис. 15.1 Сигнал CAN-шини

Практична частина

1. Ознайомитись за із загальною будовою шини даних CAN- ком-форт.
2. Виміряти опір при вимкненому живленні між дротами високого та низького рівнів.
3. За допомогою цифрового осцилографа виміряти зміну напруги під час передачі даних та замалювати фрагмент передачі даних.
4. Симулювати несправність шини даних при замиканні дротів низького та високого рівнів між собою та на «масу». Замалювати фрагмент кожного із випадків.
5. Проаналізувати кожен із випадків та чисельно визначити швидкість передачі даних.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 2

Тема: Системи диференціальної корекції

Мета роботи: ознайомитись із базовими принципами роботи систем диференціальної корекції. визначити сферу застосування, переваги та недоліки базових систем корекції.

Теоретична частина

Супутникові системи навігації під час роботи в абсолютному режимі дозволяють визначати розташування об'єктів з точністю близько 3-10 м. Однак для багатьох завдань потрібна метрова, дециметрова і навіть сантиметрова точність. Основним способом підвищення точності позиціонування є принцип диференціальних навігаційних вимірювань (кодових і фазових). Система диференціальної корекції за кодovими вимірами заснована на вимірі та обробці псевдодальностей. Цей вид корекції дозволяє отримати субметрову точність розташування з областю дії до 500 км і більше. Система диференціальної корекції за фазовими вимірами характеризується більш високою точністю (дециметровою та сантиметровою), проте має обмежену область дії (10-20 км) та вимагає застосування більш складних алгоритмів обробки даних. Зокрема, при фазових вимірах необхідно виконувати роздільну здатність неоднозначності фази.

У диференціальному режимі використовуються два навігаційних приймачі, що вимірюють псевдодальність. Один із приймачів, встановлений у місці з відомими координатами, називається базовою станцією (БС). Другий приймач (ровер) визначає свої координати, використовуючи коригуючу інформацію (КІ), одержувану від БС. Суть даного методу полягає в тому, що БС визначає та передає роверу поправки для псевдодальностей.

Ровер, використовуючи поправки від БС, коригує свої параметри та отримує координати з вищою точністю. Коригуюча інформація БС виходить шляхом порівняння поточних вимірів псевдодальностей з точними даними координат БС, отриманих при геодезичній прив'язці. Якщо БС і ровер знаходяться досить близько, то виміряні псевдодальності містять однакові складові систематичних похибок, що повільно змінюються. Цей режим дозволяє ефективно компенсувати похибки

ефемерид, помилки шкали часу, а також вплив затримок сигналу в тропосфері та іоносфері.

Для обчислення поправок існує метод корекції координат та метод корекції за параметром навігації. У методі корекції координат як поправки БС передає добавки до вимірних координат. Даний метод відрізняється простотою, але його недоліком є необхідність використання одного і того ж сузір'я супутників для БС та ровера, що складно здійснити на практиці. Тому цей метод у реальних умовах застосовується рідко.

У методі корекції за навігаційним параметром БС визначає та передає поправки до псевдодальностей для всіх супутників, які можуть використовуватися ровером. У цьому відпадає необхідність використання однієї й того ж сузір'я. Ровер використовує необхідний набір поправок і застосовує його для уточнення своєї позиції. Даний метод використовується у більшості систем диференціальної корекції. Ступінь підвищення точності позиціонування безпосередньо залежить від дистанції між ровером і БС. При збільшенні відстані зменшується рівень кореляції систематичних похибок БС і ровера і знижується ефект коригування даних. За експериментальними даними, БС повинна розташовуватись не далі 500 км від ровера.

У диференціальному режимі БС і ровер виконують вимір псевдодальностей щодо однакових умов. Похибки шкали часу компенсуються практично повністю. Ступінь компенсації тропосферних та іоносферних похибок залежить від ідентичності умов проходження супутникових сигналів БС та ровера. Типова залишкова іоносферна похибка для супутників поблизу зеніту становить 0,1-1 м на дистанції 100 км. Залишкова тропосферна похибка залежить від профілю щільності повітря вздовж шляху розповсюдження сигналу, і вона зазвичай більша для супутників з малим кутом піднесення. Зі збільшенням відстані відбувається ослаблення кореляції (декореляція) помилок ефемерид через різниці в кутах, під якими спостерігаються супутники з різних точок. Так, при дистанції 100 км та помилці ефемерид 10 м некомпенсована помилка на відстані буде менше 5 см.

Похибки, пов'язані з шумами приймача та багатопрореневістю, є некорельованими і не можуть компенсуватися. За звичайних умов вважається, що диференціальна система дозволяє визначити місце

розташування ровера з точністю 1,5-2 м у динамічних умовах та близько 1 м у статиці.

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичною інформацією. В навчальній аудиторії визначити свої відносні координати, відповідно до розмітки.
2. За допомогою мірної стрічки визначити відстань від свого місцезнаходження до заданого викладачем шуканого об'єкта в тривимірній системі координат. Визначити також висоту об'єкта над умовним рівнем нуля.
3. Розрахувати лінійну відстань від свого місця до шуканого об'єкта розрахунковим методом.
4. На міліметровому папері розмітити систему координат, аналогічно до заданої в аудиторії, відобразити в намальованій системі координат своє місцезнаходження, тарадіус перебування шуканого об'єкта.
5. Визначити точне розташування двох БС за заданими даними викладача. Розрахувати лінійну відстань від кожної з БС до шуканого об'єкта.
6. Нанести іншим кольором на міліметровому папері місцезнаходження БС та відобразити радіусами відстані від них, до шуканого об'єкта.
7. Визначити точне місцезнаходження шуканого об'єкта.
8. Аналогічно нанести відстані від інших учасників, перевірити збіжність результату. Зробити відповідні висновки.

Запитання для самоконтролю:

1. Чим зумовлена необхідність застосування систем диференціальної корекції?
2. Які типи помилок визначення місцезнаходження можуть бути компенсовані за рахунок диференціальної корекції?
3. Які особливості обладнання для диференціальної корекції навігаційного сигналу?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 3

Тема: Планування та моделювання польоту БПЛА в ArduPilot Mission Planner

Теоретичні відомості

ArduPilot Mission Planner використовується для керування та налаштування автономних польотів з використанням автопілотної системи ArduPilot. ArduPilot – це відкрите програмне забезпечення для автопілотів, розроблене спеціально для безпілотників, дронів та інших безпілотних рухомих платформ.

ArduPilot Mission Planner дозволяє планувати місії, встановлювати параметри автопілота, керувати БПЛА та візуалізувати дані польоту. Ця програма забезпечує повний спектр функцій для керування автономними польотами, зокрема налаштування шляхів, керування точками маршруту, планування місій з додатковими параметрами (наприклад, часом, висотою і т. д.), режими автопілота та інші функції. Підтримується керування додатковим обладнанням, наприклад камерою (збільшення, напрям, вкл./викл), розприскувачем [4], сервоприводами, що можуть змінювати положення клапана чи люка розвантаження.

ArduPilot Mission Planner може працювати з різними типами автопілотів, такими як ArduPilot Mega (APM), Pixhawk і Cube. Він підтримує підключення до автопілота через USB, бездротове з'єднання або за допомогою телеметричних модулів.

Автопілот ArduPilot (контролер на борту БПЛА) також підтримує різноманітні типи дронів, включаючи квадрокоптери, гексакоптери, вертольоти, літаки та багато інших.

ArduPilot надає широкий спектр функцій і можливостей для автономного польоту. Він підтримує точне GPS-позиціонування, автоматичні режими стабілізації, навігацію, збереження маршрутів, планування місій, автоматичний зліт і посадку, управління камерами, телеметрію і багато іншого.

План роботи

1. Запланувати в ArduPilot Mission Planner політ БПЛА під керуванням ArduPilot за простим маршрутом.
2. Змоделювати зліт й політ БПЛА в ArduPilot Mission Planner.
3. Запланувати й змоделювати політ БПЛА над заданою ділянкою для задач спостереження.

Порядок виконання роботи

1. Запустити ArduPilot Mission Planner.

2. Перейти в режим «План» для планування маршруту (1 на рис.

1). Обрати режим відліку висоти (абсолютна над рівнем моря, від поверхні землі, відносно місця старту), обравши потрібний варіант зі списку (2 на рис.1). Задати не менше 4 точок маршруту над ділянкою з координатами 50.682537 пн.ш., 26.278592 сх.д.

Для додавання точки маршруту клацніть по точці на карті з потрібними координатами, в контекстному меню оберіть «Вставити Wp» (3 на рис. 1). Також точки маршруту можна додавати, клацнувши по «+» на лінії між двома точками. Список доданих точок відобразиться нижче (4 на рис. 1). Для точки маршруту можна обрати іншу роль (наприклад, точка ввімкнення камери, зміни швидкості, ввімкнення розбризкувача тощо). За потреби в цьому ж списку можна змінити висоту літального апарату в точці (5 на рис. 1). Отриманий маршрут зберегти в файл.

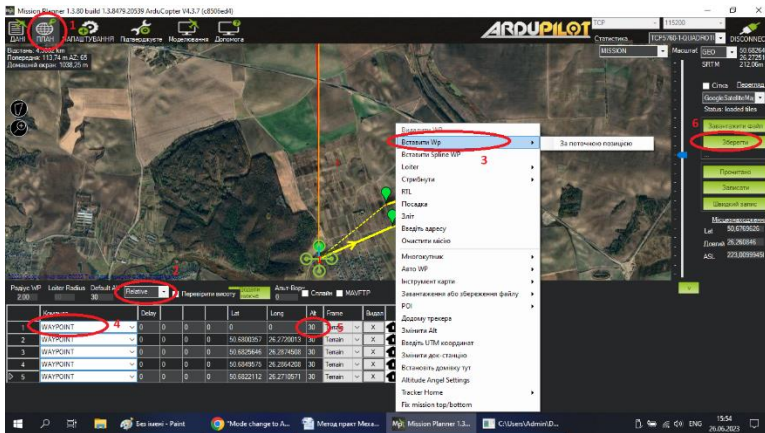


Рис. 1. Планування маршруту польоту в ArduPilot Mission Planner

3. Перейти в режим «Модельовання» (1 на рис.2). Перемістити базу (2 на рис. 2) ближче до земельної ділянки, над якою планувався політ (за замовчуванням у версії 1.3.80 вона знаходиться в Австралії). В списку «Модель» обрати вид безпілотної апарату під керуванням ArduPilot, який планується використовувати – квадрокоптер (3 на рис.

3). Лишається завантажити й запустити симулятор для відповідного типу безпілотної апаратури – обираємо «мультикоптер» (4 на рис. 3) і в діалоговому вікні з запитанням, яку версію симулятора використовувати, відповідаємо «Stable» (стабільну). Зачекати, доки завантажиться і запуститься симулятор.



Рис. 2. Налаштування моделювання в ArduPilot Mission Planner

4. Перейти в режим «Дані». Ліворуч на вкладці «Дії» змінити режим на QSTABILIZE або Stabilize (рис. 3), підтвердити зміну натисканням кнопки поряд «Режим набору», натиснути «Арм» (запустити двигуни), після чого клацнути правою кнопкою по карті й обрати «Зліт».

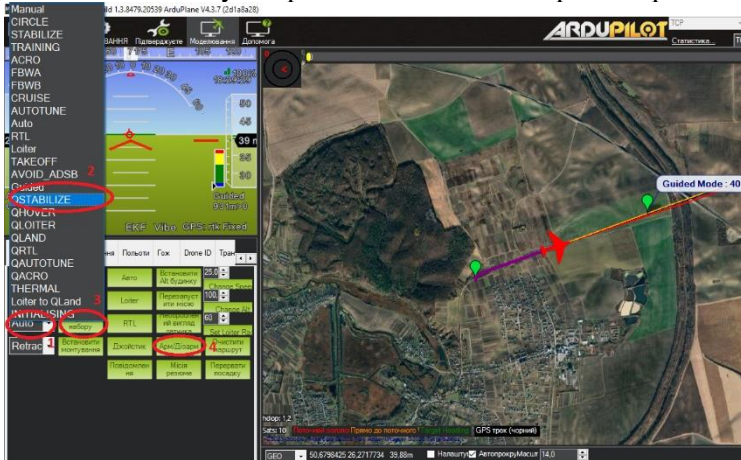


Рис. 3. Моделювання зльоту в ArduPilot Mission Planner

Увага! Якщо після ввімкнення двигунів впродовж декількох секунд не надходить жодних команд, двигуни вимикаються і відображається статус «Disarmed».

Далі змінюємо режим на «Auto», в якому літальний апарат виконуватиме наперед задану місію з обльоту ранішезаданих точок.

В режимі «Guided» БПЛА виконуватиме команди (летіти в точку, змінити висоту) від ArduPilot Mission Planner у реальному часі.

5. Вибрати довільну земельну ділянку з врахуванням обмежень для літальних апаратів масою до 20 кг згідно пункту 4 розділу II. Регулювання використання повітряного простору Авіаційних правил України «Правила використання повітряного простору України» [5] (рис. 4).

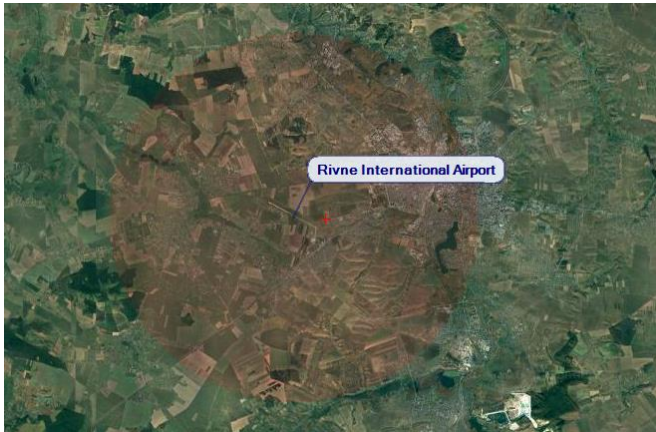


Рис. 7.4. П'ятикілометрова зона обмеження польотів безпілотних літальних апаратів навколо Міжнародного аеропорту «Рівне» в ArduPilot Mission Planner

6. На вибраній ділянці побудувати полігон (многокутник), в контекстному меню обрати «Авто WP» – «спостереження/опитування (сітка)» (рис. 5). Прийняти параметри сітки за замовчуванням.

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 4

Тема: Дослідження точності розв'язку оберненої задачі кінематики маніпулятора

Мета роботи: ознайомитися з принципами розв'язування оберненої задачі кінематики маніпулятора. Перевірити точність програмної реалізації розв'язку оберненої задачі кінематики маніпулятора.

Теоретичні відомості

Успішне планування заданого руху промислового робота (ПР) потребує розв'язання оберненої задачі про стан механізму. Суть цієї задачі полягає у визначенні необхідних переміщень ланок системи за заданим рухом робочого органу.

Для маніпулятора промислового робота з шістьма ступенями рухливості (рис. 1) постановка оберненої задачі про стан робочого органу зводиться до наступного. За заданою траєкторією руху робочого органу P необхідно розрахувати узагальнені координати ступенів рухливості q_1-q_6 маніпулятора.

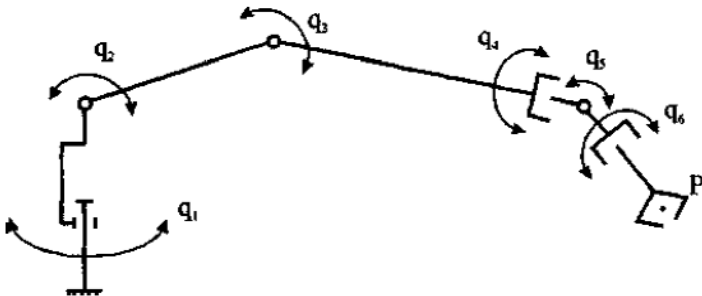


Рис. 1. Схема шарнірного робота-маніпулятора

Під час розв'язання задачі необхідно враховувати обмеження на узагальнені координати і відповідно на розміри робочої зони і кути сервісу механізму.

Таким чином, положення кінематичного ланцюга в просторі визначається за допомогою узагальнених координат $q_v, v = \overline{1, n}$, які характеризують відносні переміщення у кінематичних парах, а для визначення положення робочого органу у просторі вводяться координати $r_j, j = \overline{1, m}$, де $m \leq 6$.

Така геометрична інтерпретація маніпуляційної системи (МС) робота дає змогу розглядати за допомогою матричного зображення положення робочих органів МС дві найбільш характерні задачі кінематики МС: пряму задачу – керування орієнтувальними і транспортними рухами робочих органів за відомих структури (склад ланок та їх розташування у МС), компоновання МС та обмежень у робочій зоні; обернену задачу – визначення конфігурації робота, за допомогою якої можна реалізувати сукупність та послідовність заданих рухів робочих органів із врахуванням обмежень, що накладаються на робочу зону.

Під час розв'язування оберненої задачі кінематики МС лінійне та кутове положення окремих ланок МС можуть бути визначені графічно із врахуванням обмежень, що накладаються на кінематичні ланки. Процедура синтезу конфігурації МС робота при цьому зводиться до наступного: визначається оптимальна траєкторія руху робочого органа ПР від завантаження (захвату) до видачі об'єкта маніпулювання в орієнтованому положенні на позиції розвантаження та виділяються характерні точки цієї траєкторії, у кожній з яких формуються матриці переміщень T та обертання R ; далі для кожної вибраної точки траєкторії розв'язується обернена задача – формується матриця узагальнених координат, яка дає змогу визначити (вибрати) вид кінематичних з'єднань та ланцюга (наприклад, таких, які забезпечують траєкторію найшвидшої дії із врахуванням заданих обмежень); виконується оптимізація траєкторії за динамічними параметрами (швидкодією, швидкістю, прискоренням окремих елементів кінематичного ланцюга) МС; проводиться формування керуючих сигналів у часі. Необхідно, однак, пам'ятати, що всі рухомі з'єднання системи допускають відносні переміщення в обмеженому діапазоні; тому після всіх розрахунків необхідно переконатись, що знайдений розв'язок відповідає заданим зображенням.

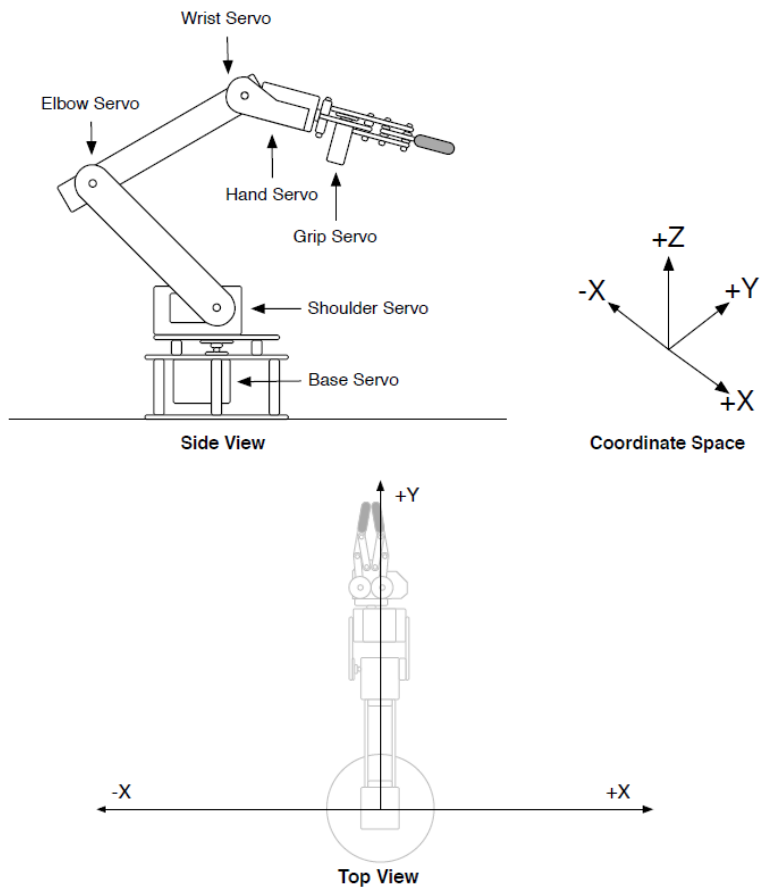


Рис. 2. Схематичне зображення маніпулятора в декартовій системі координат

Для позиціонування маніпулятора у тривимірному просторі має бути заданий кут кожного суглоба. Якщо відомі фізичні розміри ланок маніпулятора і кути всіх суглобів, то положення будь-якої точки в робота-маніпулятора можна розрахувати, виходячи з основи і обчислюючи положення кожного суглоба послідовно, поки не буде знайдено шукані координати x , y , z . Це буде розв'язком прямої задачі кінематики.

Протилежний розрахунок, що полягає у знаходженні потрібного значення узагальнених координат (кутів повороту) для кожного суглоба маніпулятора при заданих координатах захвата x , y , z , називають оберненою кінематикою маніпулятора.

Знайдемо розв’язок оберненої задачі кінематики для маніпулятора, що використовується в лабораторній роботі.

Задано наступні величини:

- x , y , z – координати точки захоплення об’єкта;
- кут нахилу захвата від горизонталі;
- ширина захвату.

Відомими є такі величини:

- основа (база) маніпулятора розташована в координатах $0, 0, 0$;
- висота основи l_0 ;
- довжина плеча l_1 ;
- довжина передпліччя l_2 .

3-вимірна обернена задача кінематики може бути зведена до 2-вимірних розрахунків, якщо розглядати маніпулятор у площині z , перпендикулярній до площини x, y .

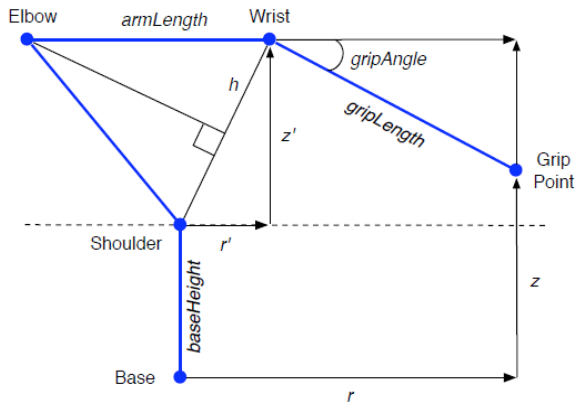


Рис. 3. Схема для розв’язку оберненої задачі кінематики

Приклад програми, що реалізує розв’язок оберненої задачі кінематики маніпулятора:

```
/* Arm dimensions ( mm ) */
#define BASE_HGT //base height
#define HUMERUS //shoulder-to-elbow
#define ULNA //elbow-to-wrist
```

```

#define GRIPPER //gripper (incl.heavy duty wrist
rotate mechanism) length

#define ftl(x) ((x)>=0?(long)((x)+0.5):(long)((x)-
0.5)) //float to long conversion

/* Servo names/numbers */
/* Base servo */
#define BAS_SERVO 0
/* Shoulder Servo */
#define SHL_SERVO 1
/* Elbow Servo */
#define ELB_SERVO 2
/* Wrist servo */
#define WRI_SERVO 3
/* Wrist rotate servo */
#define WRO_SERVO 4
/* Gripper servo */
#define GRI_SERVO 5

#include <VarSpeedServo.h>
VarSpeedServo myservo1, myservo2, myservo3, myservo4,
myservo5, myservo6; // create servo object to
control a servo
byte a1,a2,a3,a4,a5,a6; //angle of Servo
byte oa1,oa2,oa3,oa4,oa5,oa6; //Old angle of Servo
boolean serialflag = 0; //

/* pre-calculations */
float hum_sq = HUMERUS*HUMERUS;
float uln_sq = ULNA*ULNA;

void setup()
{
Serial.begin(9600);

myservo1.attach(2,740,2365); // attaches the servo
on pin 2 to the servo object

```

```

myservo2.attach(3,760,2365); // attaches the servo
    on pin 3 to the servo object
myservo3.attach(4,720,2365); // attaches the servo
    on pin 4 to the servo object
myservo4.attach(5,720,2300); // attaches the servo
    on pin 5 to the servo object
myservo5.attach(10,670,2300); // attaches the servo
    on pin 10 to the servo object
myservo6.attach(11,720,2300); // attaches the servo
    on pin 11 to the servo object
oa1 = myservo1.read();
oa2 = myservo2.read();
oa3 = myservo3.read();
oa4 = myservo4.read();
oa5 = myservo5.read();
oa6 = myservo6.read();

servo_park();
Serial.println("Start");
delay( 500 );
}

void loop()
{
    //zero_x();
    //line();
    circle();
}

/* arm positioning routine utilizing inverse
kinematics */
/* z is height, y is distance from base center out, x
is side to side. y,z can only be positive */
//void set_arm( uint16_t x, uint16_t y, uint16_t z,
uint16_t grip_angle )
void set_arm( float x, float y, float z, float
grip_angle_d )
{

```

```

float grip_angle_r = radians( grip_angle_d );
//grip angle in radians for use in calculations
/* Base angle and radial distance from x,y
coordinates */
float bas_angle_r = atan2( x, y );
float rdist = sqrt(( x * x ) + ( y * y ));
/* rdist is y coordinate for the arm */
y = rdist;
/* Grip offsets calculated based on grip angle */
float grip_off_z = ( sin( grip_angle_r ) ) *
GRIPPER;
float grip_off_y = ( cos( grip_angle_r ) ) *
GRIPPER;
/* Wrist position */
float wrist_z = ( z - grip_off_z ) - BASE_HGT;
float wrist_y = y - grip_off_y;
/* Shoulder to wrist distance ( AKA sw ) */
float s_w = ( wrist_z * wrist_z ) + ( wrist_y *
wrist_y );
float s_w_sqrt = sqrt( s_w );
/* s_w angle to ground */
//float a1 = atan2( wrist_y, wrist_z );
float a1 = atan2( wrist_z, wrist_y );
/* s_w angle to humerus */
float a2 = acos((( hum_sq - uln_sq ) + s_w ) / ( 2
* HUMERUS * s_w_sqrt ));
/* shoulder angle */
float shl_angle_r = a1 + a2;
float shl_angle_d = degrees( shl_angle_r );
/* elbow angle */
float elb_angle_r = acos(( hum_sq + uln_sq - s_w )
/ ( 2 * HUMERUS * ULNA ));
float elb_angle_d = degrees( elb_angle_r );
float elb_angle_dn = -( 180.0 - elb_angle_d );
/* wrist angle */
float wri_angle_d = ( grip_angle_d - elb_angle_dn )
- shl_angle_d;

/* Servo pulses */

```

```

float bas_servopulse = 1500.0 - (( degrees (
bas_angle_r )) * 11.11 );
float shl_servopulse = 1500.0 + (( shl_angle_d -
90.0 ) * 6.6 );
float elb_servopulse = 1500.0 - (( elb_angle_d -
90.0 ) * 6.6 );
float wri_servopulse = 1500 + ( wri_angle_d * 11.1
);

setPosServo(my servo1,bas_angle_r*180/3.14);
setPosServo(my servo2,shl_angle_d);
setPosServo(my servo3,elb_angle_d);
setPosServo(my servo4,wri_angle_d);
}

void setPosServo(VarSpeedServo my servo,int angle){
int i = 1;
int oldangle = my servo.read();
if (oldangle > angle) {i=-1;}
for (int a = oldangle; a!= angle; a += i ){
my servo.slowmove(a,15); // tell servo to go to
position in variable 'pos'
delay(15);
}
}

/* move servos to parking position */
void servo_park()
{
my servo1.slowmove(0,15);
my servo2.slowmove(0,15);
my servo3.slowmove(0,15);
my servo4.slowmove(0,15);
my servo5.slowmove(0,15);
my servo6.slowmove(0,15);
return;
}

void zero_x()

```

```

{
  for( double yaxis = 150.0; yaxis < 356.0; yaxis +=
1 ) {
    set_arm( 0, yaxis, 127.0, 0 );
    delay( 10 );
  }
  for( double yaxis = 356.0; yaxis > 150.0; yaxis -=
1 ) {
    set_arm( 0, yaxis, 127.0, 0 );
    delay( 10 );
  }
}

/* moves arm in a straight line */
void line()
{
  for( double xaxis = -100.0; xaxis < 100.0; xaxis
+= 0.5 ) {
    set_arm( xaxis, 250, 100, 0 );
    delay( 10 );
  }
  for( float xaxis = 100.0; xaxis > -100.0; xaxis -
= 0.5 ) {
    set_arm( xaxis, 250, 100, 0 );
    delay( 10 );
  }
}

void circle()
{
  #define RADIUS 80.0
  //float angle = 0;
  float zaxis,yaxis;
  for( float angle = 0.0; angle < 360.0; angle += 1.0
) {
    yaxis = RADIUS * sin( radians( angle )) + 200;
    zaxis = RADIUS * cos( radians( angle )) + 200;
    set_arm( 0, yaxis, zaxis, 0 );
    delay( 1 );
  }
}

```

}
}

План роботи

1. Ознайомитися з принципами розв'язування оберненої задачі кінематики маніпулятора.
2. Скласти програму для автоматичного позиціювання захвата маніпулятора в задану точку.
3. Перевірити точність програмної реалізації розв'язку оберненої задачі кінематики маніпулятора.

Порядок виконання роботи

1. Завантажити середовище Arduino IDE.
2. Створити нову програму для автоматичного позиціювання захвата маніпулятора в задану точку, використовуючи зворотну кінематику маніпулятора.
4. Скопіювати програму та переконатися у відсутності помилок.
5. Підключити мікроконтролерну плату до USB-порту комп'ютера.
6. У середовищі Arduino IDE вибрати тип плати та порт, до якого вона підключена. Завантажити створену програму в мікроконтролер.
8. З дозволу викладача увімкнути живлення стенда.
9. Переконатися у працездатності програми.
10. Оцінити точність позиціювання захватного пристрою маніпулятора по кожній з координат (x, y, z) для 5 різних заданих точок.
11. Вимкніть живлення стенда.
12. Від'єднайте плату Arduino від комп'ютера.
13. Оформити звіт про виконання лабораторної роботи. Звіт повинен містити: назву та мету лабораторної роботи; тексти програм з коментарями; висновок про виконання роботи.

Контрольні запитання

1. У чому полягає пряма задача кінематики маніпулятора?
2. У чому полягає обернена задача кінематики маніпулятора?
3. Які існують способи розв'язування оберненої задачі кінематики роботів-маніпуляторів?
4. Що таке узагальнені координати?

5. Яка функція в програмі реалізує перехід від декартових до кутових координат?

6. У яких одиницях в програмі задаються розміри ланок маніпулятора?

ПРАКТИЧНА РОБОТА № 5

Тема: Економічна ефективність технологій прецизійного землеробства. Комплексна оцінка ефективності прецизійного виробництва

Мета роботи: набути навичок об'єктивної оцінки господарської, економічної, екологічної ефективності технологій прецизійного землеробства.

Теоретичні відомості.

Технології точного землеробства вносять значний вклад в підвищення врожайності основних культур.

В точному землеробстві використовуються технології для підвищення стійкості за рахунок більш ефективного використання критично важливих ресурсів, таких як земля, вода, паливо, добрива та пестициди. Фермери, які купляють обладнання для точного землеробства, використовують менше, щоб вирощувати більше.

Ключові екологічні переваги

П'ять ключових переваг раціонального використання природних ресурсів, що досягаються за рахунок впровадження технологій точного землеробства, в тому числі:

- Зростання врожайності за рахунок підвищення ефективності
- Зменшення кількості добрив за рахунок більш точного внесення
- Зменшення кількості пестицидів за рахунок більш точного внесення
- Економія палива за рахунок меншого покриття і кращого контролю
- Економія води за рахунок більш точного визначення потреб

Одна тільки економія палива за рахунок інструментів точного землеробства еквівалентна щорічному зняттю з дороги (в США) майже 200 000 автомобілів.

Ключові економічні переваги:

У міру того, як обладнання та технології точного землеробства отримують все більш широке поширення, це призведе до ще більшого збільшення врожайності і подальшої економії витрат, а саме:

- Продуктивність збільшилася приблизно на 4% і може вирости на 6% при більш широкому впровадженні .
- Точне землеробство підвищило ефективність внесення добрив приблизно на 7% і має потенціал для подальшого підвищення ще на 14%.
- Використання гербіцидів було скорочено приблизно на 9% і може

ще більше знизитися на 15% при повному впровадженні.

- Використання викопного палива зменшилася приблизно на 6% з потенціалом подальшого скорочення на 16%.

- Використання води знизилося приблизно на 4% при нинішньому рівні впровадження точного землеробства з потенціалом подальшого скорочення на 21% при повному впровадженні.

Основні переваги були визначені кількісно в результаті дослідження впровадження технологій точного землеробства:

Прямі	Врожайність	Використання добрив	Використання гербіцидів	Використання палива	Використання води
Непрямі	Підвищення врожайності за рахунок точного інтервалу (від проходу до проходу, ряди кшцевих точок) і швидкості виконання робіт.	Оптимізація внесення добрив (зменшення перекриттів, запобігання пропусків, оптимальне розміщення і норма внесення).	Оптимізація внесення гербіцидів (зменшення перекриттів, запобігання пропусків, оптимальне розміщення і швидкість введення).	Економія палива за рахунок меншої кількості проходів по полю, змінної глибини обробку ґрунту і/або більш ефективного збору врожаю.	Вияток застосування води завдяки дистанційному відключення центральних шарнірів, а також вибіркового застосування.
	Дас змогу уникати використання непродуктивних / охоронюваних земель в процесі виробництва. Знижується ущільнення ґрунту.	Поліпшення якості води (зменшення стоку шкідливих речовин) Поліпшення здоров'я ґрунту. Чисте скорочення викидів парникових газів (в тому числі при виробництві ресурсів).	Поліпшення стану ґрунту і зниження ерозії за рахунок меншої обробки ґрунту. Чисте скорочення викидів парникових газів (в тому числі при виробництві ресурсів). Поліпшення якості води. Зниження розвитку стійкості до бур'янів.	Чисте скорочення викидів парникових газів.	Поліпшення якості води за рахунок зменшення стоку. Менше енергоспоживання за рахунок меншої кількості годин роботи насосів.

Ступінь впровадження технологій точного землеробства в США в даний час

Автоматичне рульове управління 25% to 80%

- Управління секціями машин

Добрива: від 10% до 45%. Гербіциди: від 5% до 22%.

- Диференційоване вплив

Добрива: від 15% до 54%. Гербіциди: від 2% до 13%.

- Аналітика автопарку, телематика 12%
- Точне зрошення від 0% до 22%

Сприятливі фактори для розвитку галузі:

- Політика, що заохочує інновації
- Поліпшення допоміжної інфраструктури
- Бездротовий зв'язок на орних землях
- Збільшення доходу ферми – це капітал для інвестування у виробничу діяльність
- Поліпшення взаємодії зі споживачами
- Зміцнення довіри до науки

Практична частина

1. Ознайомитись із теоретичним матеріалом
2. Провести розрахунок економічної ефективності диференційованого внесення матеріалів в порівнянні із суцільним за даними практичних робіт 8-10. Розрахунки виконати для обох варіантів індивідуальних полів та оформити за прикладом таблиць 5-8.
3. Сформулювати відповідні висновки.
4. Скласти підсумковий звіт про виконання практичного курсу відповідно до таблиці 9.
5. Написати загальний висновок щодо комплексної ефективності впровадження прецизійних технологій для умов ділянки, що була досліджена.

Таблиця 5

Приклад розрахунку економічної ефективності застосування змінних норм висіву

Зона	Покриття, %	Площа, га	Норма посіву, млн./га	Норма посіву кг/га	Потреба насіння, т	Вартість насіння, тис. грн	Із врахуванням логістичних витрат, тис. грн
1	1	0,24	5,0	225	0,05		
2	5	1,25	5,0	225	0,28		
3	16	3,93	3,4	153	0,60		
4	44	10,82	3,4	153	1,66		
5	34	8,36	4,2	189	1,58		
Разом					4,17	43,78	50,34
Суцільно	100	24,6	4,2	189	4,65	48,83	56,15

Таблиця 6

Приклад розрахунку економічної ефективності застосування змінних норм азотних добрив

Зона	Покриття, %	Площа, га	Норма внесення, кг./га	Потреба добрива, т	Вартість добрива, тис. грн. за 1 т.	Вартість на площу, тис. грн
1	2	0,49	126	0,06		
2	7	1,72	142	0,24		
3	24	5,90	160	0,94		
4	41	10,09	178	1,80		
5	26	6,40	194	1,24		
Разом				4,29	28,10	120,47
Суцільно	100	24,6	160	3,94	28,10	110,60

Таблиця 7

Приклад розрахунку економічної ефективності застосування змінних норм засобів захисту рослин

Зона	Покриття, %	Площа, га	Норма препарату, л(кг)/га	Потреба препарату, л(кг)	Вартість препарату, тис. грн./л (кг)	На площу, тис.грн.
1	12	2,95	0,6	1,77		
2	7	1,72	0,9	1,55		
3	31	7,63	1,1	8,39		
4	14	3,44	1,25	4,31		
5	36	8,86	1,5	13,28		
Разом				29,30	0,81	23,73
Суцільно	100	24,6	1,2	29,52	0,81	23,91

Таблиця 8

Приклад розрахунку сумарної економічної ефективності застосування диференційованих технологій, тис. грн

Варіант технології	Традиційна	Диференційована
Площа, га	24,6	24,6
Вартість посівного матеріалу	56,15	50,34
Вартість внесення азоту	110,6	120,46
Вартість герб. обробки	23,91	23,73
Вартість фунгіцидної обробки	41,24	36,21
РАЗОМ	231,9	230,74
Затрати на 1 га, тис. грн	9,43	9,38
Врожайність, т/га	5,34	5,71
Вартість врожаю грн./т	8600	8600
Вартість додаткового врожаю, грн		78,28

Вартість додаткового врожаю на 1 га, грн		3,18
Додатковий прибуток, грн/га		3230

Таблиця 9

Структура підсумкового звіту із виконання практичного курсу освітньої компоненти «Технології прецизійного землеробства»

№	Структурний елемент
1	Титульний лист
2	Вихідні дані відповідно до індивідуального завдання
3	Міліметровий папір із розміткою ПР 1
4	Міліметровий папір із розміткою ПР2
5	Два варіанти схеми відбору проб ґрунту ПР6
6	Звіт диф. внесення азоту ПР8 (2 вар.)
7	Звіт диф. посів ПР9 (2 вар.)
8	Звіт двократне диф. внесення ЗЗР ПР10 (2 вар.)
9	Звіт карта ущільнення ПР13
10	Таблиця порівняння метеоданих ПР16
11	Економічна оцінка ПР17 (таблиці 5-8) 2 варіанти

Рекомендації до виконання самостійної роботи

Розподіл годин самостійної роботи для здобувачів освіти денної форми навчання:

- підготовка до аудиторних занять – $0,5 \text{ год./1 год. занять} = 0,5 \cdot (50) = 25 \text{ год.}$

- підготовка до контрольних заходів – $6 \text{ год. на 1 кредит ЄКТС} = 6 \cdot 5 = 30 \text{ год.}$

- опрацювання окремих тем програми або її частин, які не розглядаються на лекціях – $100 - 25 - 30 = 45 \text{ год.}$

Теми для самостійної роботи

№	Теми самостійної роботи	Кількість годин
1	Мехатронні системи тракторів і автомобілів	5
2	Сівалки точно висіву у системі точного землеробства	5
3	Програмно-технічний комплекс GreenStar фірми JohnDeere	5
4	Програмно-технічний комплекс AFS фірми Case та EASY фірми Claas	5
5	Рушії мобільних роботів: колісні мобільні роботи	5
6	Сучасні мехатронні системи управління в АПК	5
7	Прилади та обладнання для одержання інформації в системі точного землеробства та керування МТА	5
8	Автоматизовані системи керування обприскувачів	5
9	Система картографування врожайності Harvest Doc	5
	Всього	45

Оцінка рівня освоєння здобувачами освіти питань, які виносяться на самостійне опрацювання проводиться на модульних контролях.

Список рекомендованої літератури

1. Система точного землеробства : підручник / Л. В. Аніскевич та ін. Київ : НУБіП України, 2018. 566 с.
2. Адаптивні системи землеробства : підручник / В. П. Гудзь та ін. ; за ред. В. П. Гудзя. Київ : Центр учбової літератури, 2014. 336 с.
3. Машиновикористання в землеробстві / В. Ю. Ільченко та ін. ; за ред. В. Ю. Ільченка, Ю. П. Нагірного. Київ : Урожай, 1996. 384 с.
4. Механізація, електрифікація та автоматизація сільськогосподарського виробництва : підручник : у 2 т. Т. 2 / за ред. А. В. Рудя. Київ : Агроосвіта, 2012. 434 с.
5. Основи застосування високоточних технологій рослинництва : монографія / Л. В. Аніскевич та ін. Київ : НУБіП України, 2020. 405 с.
6. Сільськогосподарські машини : підручник / Д. Г. Войтюк та ін. ; за ред. Д. Г. Войтюка. Київ : Агроосвіта, 2015. 679 с.
7. Виробнича експлуатація і ремонт машин та обладнання : навч. посібник / В. І. Романюк та ін. Рівне : НУВГП, 2016. 290 с.
8. Голотюк М. В., Дорошук В. О., Пахаренко В. Л., Кучерук М. О. Моделювання управління транспортними потоками з використанням інтелектуальних транспортних систем. *Вісник НУВГП. Серія: Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2018. Вип. 3(83). С. 110–118.
9. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з освітньої компоненти «Технології прецизійного землеробства» для здобувачів вищої освіти другого рівня за освітньо-професійною програмою «Агрохімія і ґрунтознавство» спеціальності 201 «Агрономія» денної та заочної форм навчання з елементами дуальної освіти [Електронний ресурс] / уклад.: С. І. Веремеєнко, О. А. Фурманець. Рівне : НУВГП, 2023. 88 с.
10. Голотюк М. В., Налобіна О. О., Бундза О. З., Тхорук Є. І., Дорошук В. О. Мехатроніка в системах точного землеробства. *Вісник НУВГП. Серія: Технічні науки*. Рівне : НУВГП, 2022. Вип. 4(100). С. 114–123.