

РОБОЧИЙ ЗОШИТ

ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ
(для самостійної роботи здобувачів освіти)

з дисципліни «Основи робототехніки та кінематики»

Рівень освіти: Фахова передвища освіта (ОПС
«Фаховий молодший бакалавр»)

Галузь знань: 13 Механічна інженерія

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація: Верстати та інструменти

Викладач: Володимир ПУСТОВОЙТ

Вступ та Методичні вказівки

Цей робочий зошит містить комплекс індивідуальних завдань для самостійної роботи здобувачів (СРС) з навчальної дисципліни «Основи робототехніки та кінематики». Виконання цих завдань є обов'язковою складовою освітнього процесу, спрямованою на закріплення теоретичного матеріалу, розвиток інженерно-розрахункових навичок та вміння вирішувати прикладні задачі автоматизації.

Структура зошита

Зошит складається з 8 комплексних індивідуальних завдань, які поділені на 3 змістові модулі згідно з Робочою програмою:

- **Модуль 1:** Архітектура та сенсорики робототехнічних систем (СРС №1-2).
- **Модуль 2:** Виконавчі механізми та приводи (СРС №3-4).
- **Модуль 3:** Кінематика, локалізація та керування (СРС №5-8).

Кожне завдання містить теоретичну постановку (опис ситуації/кейсу, мета, алгоритм) та спеціальний Бланк виконання. Здобувач повинен заповнювати таблиці, виконувати розрахунки, креслити схеми та вписувати інженерні рішення безпосередньо у бланки цього зошита.

Критерії оцінювання (макс. 20 балів за семестр)

За виконання повного комплексу завдань СРС здобувач може отримати до 20 балів, які додаються до поточної успішності перед підсумковим диференційованим заліком.

Критерій	Опис вимог	Частка балів
Повнота розкриття	Точність виконання заданого алгоритму, розв'язання всіх пунктів кейсу без пропусків та математичних помилок.	До 40%
Застосування теорії	Глибина опрацювання теоретичного матеріалу, правильність вибору формул, логіка побудови структурних і кінематичних схем.	До 40%
Оформлення	Акуратність виконання ескізів, наявність розмірностей у відповідях, обґрунтованість кінцевих висновків.	До 20%

Важливе зауваження щодо безпеки!

Промислові роботи та маніпулятори є джерелами підвищеної небезпеки. При розробці алгоритмів керування, виборі сенсорики та розрахунку робочих зон обов'язково враховуйте наявність "мертвих зон", можливість аварійного знеструмлення (E-Stop) та правила техніки безпеки при роботі з високовольтними

СРС №1: Вибір сенсорного забезпечення роботизованої лінії

1. Мета завдання

Навчитися аналізувати технологічні завдання та здійснювати оптимальний вибір датчиків (сенсорної підсистеми) для забезпечення процесу машинного сприйняття навколишнього середовища.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Автоматизація лінії сортування деталей

На конвеєр надходять деталі з різних матеріалів (метал, пластик) різного кольору. Маніпулятор повинен скидати браковані (пошкоджені) деталі та сортувати придатні за кольором у різні контейнери. Вам необхідно обрати оптимальний набір сенсорів для ідентифікації типу матеріалу, кольору та наявності деталі в зоні захоплення.

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Аналіз базових датчиків.** Проаналізуйте властивості індуктивних, ємнісних та ультразвукових датчиків наближення. Заповніть порівняльну таблицю у бланку.
- **Крок 2. Системи технічного зору (СТЗ).** Обґрунтуйте необхідність використання СТЗ (камери) для розпізнавання кольору та геометрії браку. Вкажіть, яку колірну модель (RGB чи HSV) краще використовувати для фільтрації кольору в умовах нестабільного освітлення цеху.
- **Крок 3. Структурна блок-схема.** Намалюйте просту блок-схему підключення обраних сенсорів до мікроконтролера керуючої системи.

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №1

Крок 1. Порівняльний аналіз датчиків наближення (ідентифікація матеріалу):

Тип датчика	Принцип дії (коротко)	Чи реагує на метал?	Чи реагує на пластик?
Індуктивний			
Ємнісний			
Ультразвуковий			

Крок 2. Обґрунтування застосування систем технічного зору:

Для визначення кольору та дефектів форми обрано систему технічного зору, оскільки...

В умовах цеху з нестабільним освітленням для сегментації кольору доцільно використовувати колірну модель _____, тому що...

Крок 3. Блок-схема підключення інформаційно-вимірювальної системи:

ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №2: Вимірювання переміщень. Розрахунок енкодера

1. Мета завдання

Засвоїти принцип роботи оптичних інкрементних енкодерів. Навчитися розраховувати роздільну здатність системи та переводити кутові переміщення вала в лінійні координати мобільного робота.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Позиціонування мобільної платформи

Колесо мобільного робота-доставника має зовнішній діаметр $D = 100$ мм. На валу колеса безпосередньо встановлено оптичний інкрементний енкодер із роздільною здатністю $N = 500$ імпульсів на один повний оберт. Роботу надійшла команда проїхати рівно $S = 2$ метри прямолінійно.

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Розрахунок довжини кола.** Визначте довжину кола колеса C (відстань, яку робот долає за один повний оберт колеса).
- **Крок 2. Лінійна роздільна здатність.** Обчисліть, якій лінійній відстані ΔS відповідає один імпульс енкодера.
- **Крок 3. Кількість імпульсів.** Розрахуйте загальну кількість імпульсів P , яку повинен нарахувати мікроконтролер, щоб зупинити двигуни після проходження заданої відстані S .
- **Крок 4. Аналіз похибок.** Опишіть, які механічні фактори можуть призвести до того, що робот проїде меншу або більшу відстань, незважаючи на точний підрахунок імпульсів.

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №2

Вихідні дані:

Діаметр колеса $D = 100 \text{ мм} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ м}$.

Роздільна здатність енкодера $N = 500$ імп/оберт.

Задана відстань $S = 2.0$ м.

Крок 1. Довжина кола (шлях за один оберт):

Формула: $C = \pi \cdot D$

Розрахунок:

Крок 2. Лінійна роздільна здатність (шлях за один імпульс):

Формула: $\Delta S = C / N$

Розрахунок:

Крок 3. Необхідна кількість імпульсів:

Формула: $P = S / \Delta S$ (або $P = S \cdot N / C$)

Розрахунок:

Відповідь: Мікроконтролер повинен нарахувати _____ імпульсів.

Крок 4. Аналіз можливих похибок одометрії:

Навіть при ідеальній роботі енкодера, фактичний шлях робота може відрізнятись від розрахункового через такі фізичні фактори:

- 1.
- 2.
- 3.

ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №3: Вибір типу приводу та трансмісії для маніпулятора

1. Мета завдання

Навчитися здійснювати раціональний вибір актуаторів та передавальних механізмів на основі заданих технологічних вимог, використовуючи порівняльний аналіз пневматичних, гідравлічних та електричних систем.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Проектування зварювального робота

Необхідно спроектувати 6-осьовий антропоморфний маніпулятор для точкового зварювання кузовів автомобілів. Робочий орган (зварювальні кліщі) має масу 50 кг. Технологічний процес вимагає високої жорсткості системи, плавності контурного руху, точного позиціонування (похибка не більше 0.1 мм) та повної відсутності люфтів у шарнірах. Швидкодія є важливою, але точність стоїть на першому місці.

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Вибір базового приводу.** Проаналізуйте пневматичний, гідравлічний та електричний приводи (серводвигуни). Заповніть матрицю рішень у бланку та зробіть обґрунтований вибір.
- **Крок 2. Вибір передавального механізму.** З огляду на вимогу "повної відсутності люфтів" та високого передавального відношення в одному ступені, оберіть оптимальний тип редуктора (зубчастий циліндричний, планетарний чи хвильовий).
- **Крок 3. Замкнений контур.** Поясніть, що таке "сервопривід" і чому кроковий двигун без зворотного зв'язку не підходить для цієї задачі.

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №3

Крок 1. Матриця порівняння приводів для зварювального робота (50 кг):

Критерій оцінки	Пневматичний	Гідравлічний	Електричний (Серво)
Точність та плавність	Низька (стисливість повітря)		
Вантажопідйомність		Дуже висока	
Складність обслуговування		Ризик витоку мастила	
Висновок (Підходить?)	Ні		

Крок 2. Вибір передавального механізму (трансмисії):

Для забезпечення обертального руху в суглобах з умовою **відсутності люфтів** та високої точності позиціонування я обираю _____ передачу.

Її головні переваги для робототехніки:

- 1.
- 2.

Крок 3. Обґрунтування системи керування (Серво vs Кроковий):

Сервопривід обов'язково включає в себе контур зворотного зв'язку (енкодер або резольвер). Це важливо тому, що...

Використання розімкненої системи з кроковим двигуном є недопустимим через ризик...

ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №4: Розрахунок вакуумного захватного пристрою

1. Мета завдання

Вивчити принципи роботи притягувальних (вакуумних) робочих органів. Навчитися розраховувати підйомну силу присосок та їх необхідну площу для надійного утримання вантажу.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Проектування захвату для листового металу

Робот (наприклад, порталного типу) повинен переносити плоску металеву пластину. Маса пластини $m = 15$ кг. У розпорядженні підприємства є ежекторна вакуумна система, яка стабільно забезпечує робоче розрідження (різницю тисків) $\Delta p = 0.05$ МПа (що дорівнює 50000 Н/м²). Згідно з правилами безпеки, для запобігання відриву деталі при прискореннях, необхідно забезпечити коефіцієнт запасу утримання $k = 2.0$.

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Розрахунок сили тяжіння.** Визначте силу тяжіння вантажу P (прийняти $g = 9.81$ м/с²).
- **Крок 2. Розрахункова сила утримання.** Визначте необхідну підйомну силу $F_{\text{необх}}$ з урахуванням коефіцієнта запасу k .
- **Крок 3. Визначення площі.** Обчисліть загальну активну площу вакуумних присосок S , необхідну для створення такої сили.
- **Крок 4. Компонування.** Запропонуйте кількість присосок (наприклад, 4 шт.) та розрахуйте діаметр однієї присоски. Намалюйте схему їх розміщення на пластині.

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №4

Вихідні дані:

Маса $m = 15$ кг.

Вакуум $\Delta p = 50000$ Па (Н/м²).

Коефіцієнт $k = 2.0$.

Формули:

Сила тяжіння: $P = m \cdot g$

Розрахункова сила: $F_{\text{необх}} = P \cdot k$

Площа: $S = F_{\text{необх}} / \Delta p$

Крок 1-2. Розрахунок сил:

$P =$

$F_{\text{необх}} =$

Крок 3. Загальна необхідна площа вакуумування:

$S =$ _____ м² = _____ см².

Крок 4. Вибір кількості та діаметра присосок (Схема):

Обираємо кількість присосок: $n = 4$ шт.

Площа однієї присоски $S_1 = S / 4 =$ _____ см².

Діаметр однієї присоски (з формули кола $S_1 = \pi d^2 / 4$): $d =$ _____ см.

Ескіз розміщення на прямокутній деталі:

(Схематично зобразити пластину та точки захоплення для стабільності)

ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №5: Структурні схеми та ступені рухливості

1. Мета завдання

Опанувати методику визначення числа ступенів вільності просторових механізмів з розімкненим кінематичним ланцюгом. Навчитися візуалізувати робочу зону маніпулятора за його структурною формулою.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Аналіз робочої зони маніпулятора

Задано структурну формулу робота-маніпулятора, який складається з трьох рухомих ланок, з'єднаних кінематичними парами V класу (з одним ступенем вільності кожна). Послідовність пар від основи до захвату: **Обертальна (навколо вертикальної осі Z) + Поступальна (по горизонталі радіально) + Поступальна (по вертикалі Z)**. Запис: О-П-П (або В-П-П).

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Ступені рухливості.** Застосуйте формулу Малишева-Сомова $W = 6n - 5p_5$ (де n - кількість рухомих ланок, p_5 - кількість пар V класу) для розрахунку переносних ступенів вільності.
- **Крок 2. Тип координатної системи.** Визначте, в якій базовій системі координат працює даний маніпулятор (Декартова, Циліндрична, Сферична чи Антропоморфна).
- **Крок 3. Ескіз робочої зони.** Накресліть кінематичну схему цього маніпулятора та штрихуванням покажіть геометричну форму його робочої зони (простору досяжності).

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №5

Крок 1. Розрахунок ступенів рухливості за Малишевим-Сомовим:

Кількість рухомих ланок (n) = ____

Кількість кінематичних пар 5-го класу (p_5) = ____

$$W = 6 \cdot n - 5 \cdot p_5 =$$

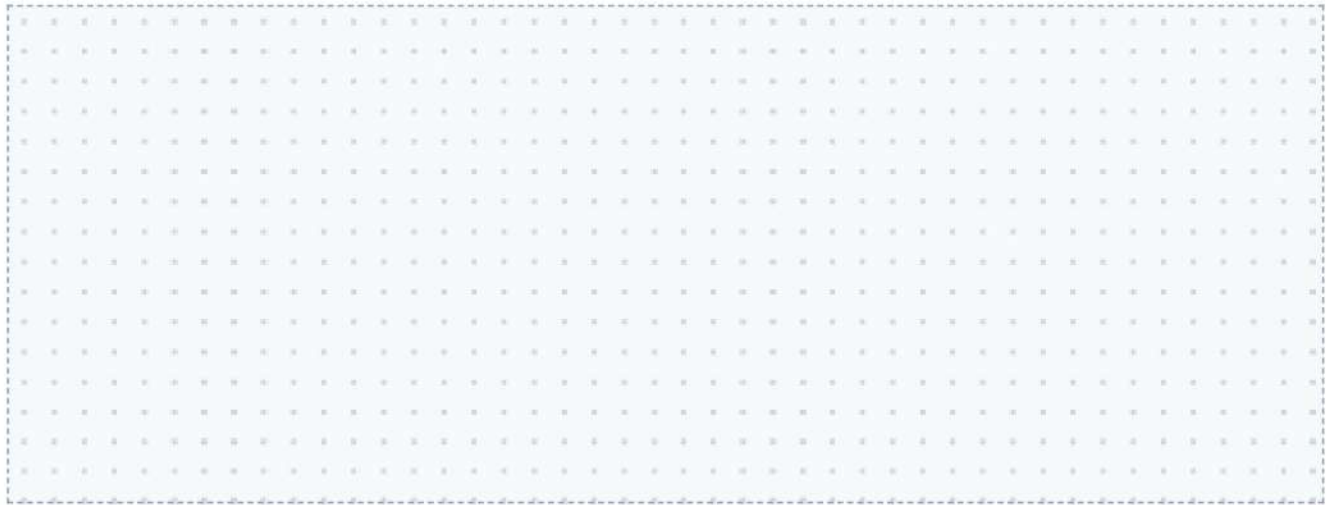
Висновок: Маніпулятор має ____ переносних ступенів вільності (рухливості).

Крок 2. Ідентифікація системи координат:

Комбінація рухів "Обертання + Поступальний радіальний + Поступальний вертикальний" утворює _____ систему координат.

Крок 3. Кінематична схема та робоча зона:

(Накресліть схему механізму та форму об'єму простору, до якого може дотягнутися захват: паралелепіпед, частина циліндра, сфера тощо)



ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №6: Пряма задача кінематики (ПЗК)

1. Мета завдання

Навчитися складати рівняння прямої кінематики для плоских механізмів з використанням тригонометричних функцій та визначати координати робочого органу.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Розрахунок положення захвату SCARA-робота

Розглядається плоский дволанковий маніпулятор (працює в горизонтальній площині XY).

Довжина першої ланки (плеча): $L_1 = 400$ мм.

Довжина другої ланки (передпліччя): $L_2 = 300$ мм.

Датчики в суглобах (енкодери) показують поточні кути:

Кут повороту 1-ї ланки відносно осі X основи: $Q_1 = 30^\circ$.

Кут повороту 2-ї ланки **відносно продовження 1-ї ланки**: $Q_2 = 45^\circ$.

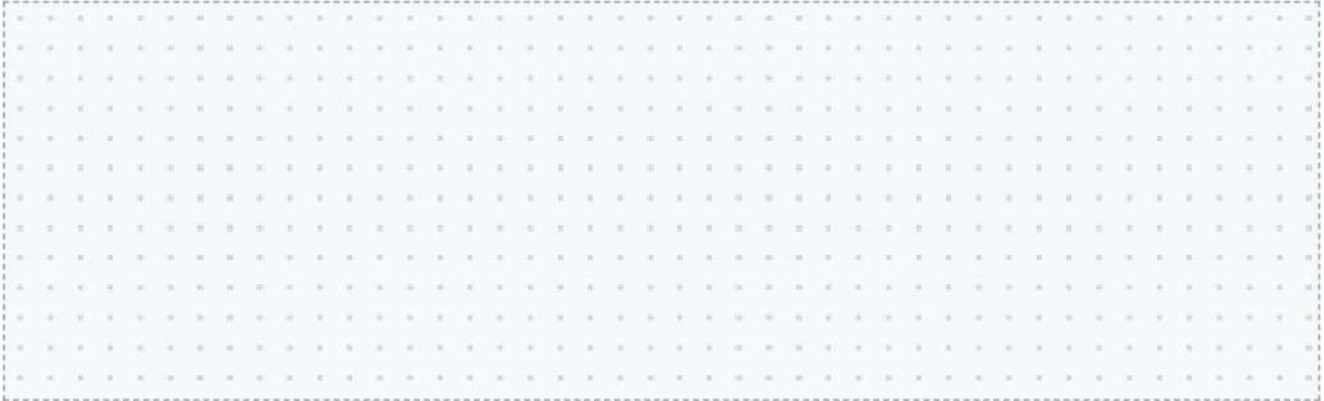
Завдання контролера: обчислити поточні глобальні координати (X , Y) кінцевої точки (захвату).

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Аналіз геометрії.** Зобразіть кінематичну схему в системі координат. Позначте L_1 , L_2 , Q_1 , Q_2 . Зверніть увагу, що абсолютний кут нахилу другої ланки до осі X становить $(Q_1 + Q_2)$.
- **Крок 2. Запис рівнянь ПЗК.** Складіть алгебраїчні рівняння для координат X та Y як суму проєкцій двох ланок на відповідні осі.
- **Крок 3. Обчислення.** Підставте числові значення та знайдіть координати X та Y (використовуйте $\cos(30^\circ) \approx 0.866$, $\sin(30^\circ) = 0.5$, $\cos(75^\circ) \approx 0.259$, $\sin(75^\circ) \approx 0.966$).

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №6

Крок 1. Геометрична схема механізму:



Крок 2. Рівняння Прямої задачі кінематики:

$$X = L_1 \cdot \cos(...) + L_2 \cdot \cos(...)$$
$$Y = L_1 \cdot \sin(...) + L_2 \cdot \sin(...)$$

Крок 3. Підстановка значень та розрахунок:

Абсолютний кут 2-ї ланки: $Q_{\{1+2\}} = 30^\circ + 45^\circ = 75^\circ$.

$$X = 400 \cdot \cos(30^\circ) + 300 \cdot \cos(75^\circ) =$$

$$Y = 400 \cdot \sin(30^\circ) + 300 \cdot \sin(75^\circ) =$$

Відповідь: Захват знаходиться в точці з координатами $X = \underline{\hspace{2cm}}$ мм, $Y = \underline{\hspace{2cm}}$ мм.

ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №7: Зворотна задача кінематики (ЗЗК) та сингулярності

1. Мета завдання

Зрозуміти проблематику зворотної задачі кінематики (визначення кутів у суглобах за заданими координатами цілі). Засвоїти геометричний метод вирішення (через теорему косинусів) та поняття "мертвих зон".

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Позиціонування на деталь

Для того ж плоского дволанкового маніпулятора ($L_1 = 400$ мм, $L_2 = 300$ мм) система технічного зору виявила деталь у точці з координатами цілі $X = 500$ мм, $Y = 200$ мм. Контролеру потрібно розрахувати необхідні кути поворотів Q_1 та Q_2 , щоб надіслати завдання на сервоприводи суглобів.

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Перевірка досяжності.** Знайдіть відстань D від основи $(0,0)$ до цілі за теоремою Піфагора. Перевірте, чи не перевищує вона максимальну довжину витягнутої руки ($L_1 + L_2$).
- **Крок 2. Розрахунок кута ліктя (Q_2).** З'єднайте основу та ціль відрізком D . Утвориться трикутник зі сторонами L_1, L_2, D . Використовуючи теорему косинусів $D^2 = L_1^2 + L_2^2 - 2 \cdot L_1 \cdot L_2 \cdot \cos(\pi - Q_2)$, складіть формулу для $\cos(Q_2)$.
- **Крок 3. Множинність рішень.** Поясніть, чому розв'язок через $\arccos$ дає два можливих значення кута Q_2 (так звані конфігурації "лікоть вгору" та "лікоть вниз").

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №7

Крок 1. Перевірка досяжності цілі:

Відстань до цілі: $D = \sqrt{X^2 + Y^2} = \sqrt{500^2 + 200^2} = \underline{\hspace{2cm}}$ мм.
Максимальний радіус робочої зони: $R_{\text{max}} = L_1 + L_2 = 400 + 300 = 700$ мм.
Умова досяжності: $D \leq R_{\text{max}}$. Висновок: Ціль _____ (досяжна /
недосяжна).

Максимальний радіус робочої зони: $R_{\{max\}} = L_1 + L_2 = 400 + 300 = 700$ мм.

Умова досяжності: $D \setminus \{R_{\max}\}$. **Висновок:** Ціль _____ (досяжна /
недосяжна).

Крок 2. Аналітичне знаходження косинуса кута Q2:

З теореми косинусів: $\cos(Q_2) = \frac{X^2 + Y^2 - L_1^2 - L_2^2}{2 \cdot L_1 \cdot L_2}$

Підстановка:

$$\cos(Q_2) = \frac{500^2 + 200^2 - 400^2 - 300^2}{2 \cdot 400 \cdot 300} = \frac{290000 - 250000}{240000} = \frac{40000}{240000} \approx 0.166$$

(Отже, кут $Q_2 \approx \arccos(0.166)$)

Підстановка:

$$\cos(Q_2) = \frac{500^2 + 200^2 - 400^2 - 300^2}{2 \cdot 400 \cdot 300} = \frac{290000 - 250000}{240000} = \frac{40000}{240000} \approx 0.166$$

(Отже, кут $Q_2 \approx \arccos(0.166)$)

Крок 3. Аналіз множинності рішень (сингулярність):

Рівняння має два дзеркальні розв'язки: $+Q_2$ та $-Q_2$. На практиці це означає, що маніпулятор може досягти однієї і тієї ж точки двома конфігураціями: "лікоть вгору" та "лікоть вниз".

Яку конфігурацію має обрати контролер і чому?

Яку конфігурацію має обрати контролер і чому?

ПІБ Здобувача: _____

Оцінка: _____

СРС №8: Локалізація мобільних роботів (Одометрія)

1. Мета завдання

Засвоїти базові принципи розрахунку траєкторії мобільного робота на основі даних пробігу окремих коліс (диференційний привід). Зрозуміти причини накопичення похибок одометрії.

2. Виробнича ситуація (Кейс)

Навігація складського робота (AGV)

Двоколійний мобільний робот (диференційний привід, два ведучих колеса на одній осі) має відстань між колесами (колійну базу) $B = 300$ мм. За певний такт часу енкадер лівого колеса зафіксував пройдений шлях $S_L = 100$ мм, а енкадер правого колеса зафіксував шлях $S_R = 150$ мм. Робот рухався по дузі.

3. Алгоритм виконання

- **Крок 1. Переміщення центру.** Розрахуйте відстань S_C , яку проїхав геометричний центр робота (точка посередині між колесами). Це середнє арифметичне пробігів коліс.
- **Крок 2. Кут повороту.** Обчисліть кут $\Delta \theta$ (у радіанах), на який повернувся корпус робота відносно свого початкового напрямку руху. Формула: $\Delta \theta = (S_R - S_L) / B$. Переведіть результат у градуси ($1 \text{ рад} \approx 57.3^\circ$).
- **Крок 3. Накопичення помилки.** Поясніть, чому метод "чистої" одометрії без зовнішніх датчиків (без лідарів чи камер, без фільтра Калмана) неминуче призведе до втрати робота у просторі (збивання з курсу) через тривалий час роботи.

БЛАНК ВИКОНАННЯ СРС №8

Вихідні дані:

Колісна база $B = 300$ мм.

Пробіг лівого колеса $S_L = 100$ мм.

Пробіг правого колеса $S_R = 150$ мм.

Крок 1. Шлях центру має робота:

Формула: $S_C = \frac{S_R + S_L}{2}$

Розрахунок: $S_C = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ мм.

Крок 2. Зміна курсового кута робота:

Формула в радіанах: $\Delta \theta = \frac{S_R - S_L}{B}$

Розрахунок (рад): $\Delta \theta = \underline{\hspace{2cm}} = \underline{\hspace{2cm}}$ рад.

Переведення в градуси: $\Delta \theta_{deg} = \Delta \theta \cdot 57.3^\circ = \underline{\hspace{2cm}}$ градусів.

Висновок: Робот повернув ліворуч (бо праве колесо проїхало більше) на $\underline{\hspace{2cm}}$ градусів.

Крок 3. Проблема накопичення похибок (Дрейф одометрії):

Одометрія є відносним методом локалізації. Основні причини, через які розраховані координати з часом почнуть розходитися з реальними:

1. Проковзування коліс (наприклад, пил на підлозі). Енкодер рахує оберти, а робот стоїть на місці.

2.

3.

Саме тому сучасні системи використовують алгоритми SLAM (злиття даних одометрії з лазерними далекомірами через фільтр Калмана).

ПІБ Здобувача: $\underline{\hspace{2cm}}$

Оцінка: $\underline{\hspace{2cm}}$