

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(повна назва факультету)

кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв

(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: «Розробка та дослідження алгоритмів керування автоматизованим
транспортним засобом».

Виконав(ла): студент(ка) VI курсу, групи КАМ-61
спеціальності 151 «Автоматизація
та комп'ютерно-інтегровані технології»

(шифр і назва спеціальності)

(підпис)

Науменко М.О.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Капаціла Ю.Б.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Козбур І.Р.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Савків В.Б.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Тотосько О.В.

(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

кваліфікаційної роботи на тему:

«Розробка та дослідження алгоритмів керування автоматизованим транспортним засобом» студента групи КАм-61 Науменко М.О.

Розрахунково-пояснювальна записка: 75 аркушів формату А4, 32 рисунків, 99 формул, 17 літературних джерел, графічна частина – 6 аркушів формату А1

Мета роботи: розробка алгоритмів керування автоматизованим транспортним засобом, отримання аналітичних залежностей, які описують моделі управління, моделювання системи керування.

Для досягнення поставленої мети виконано завдання:

- вивчено сучасний стан питання, виконано літературний огляд за темою роботи, сформульовано висновки та основні завдання;
- розглянуто питання керування автоматизованим транспортним засобом при прямолінійному русі, виконанні поворотів та комплексне керування;
- розроблено алгоритм керування автоматизованим транспортним засобом;
- виведено рівняння прямолінійного руху та поворотів;
- отримано залежності для визначення помилок положення та орієнтації відносно поточної ділянки траєкторії;
- виконано дослідження прямолінійного руху, поворотів та загального руху;
- розглянуто динаміку транспортного засобу;
- розроблено геометричну модель транспортного засобу;
- розглянуто питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Методи виконання роботи: економіко-статистичний, графічний, порівняльний, математичного моделювання; теоретико-емпіричний.

Ключові слова: АВТОМАТИЗАЦІЯ, ТРАНСПОРТ, АЛГОРИТМ, КЕРУВАННЯ, ТРАЄКТОРІЯ, ДИНАМІКА

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1 Загальні відомості про автоматизовані транспортні засоби (АТЗ).....	9
1.2 Типи автоматизованих транспортних засобів	10
1.3 Системи керування автоматизованими транспортними засобами	13
1.4 Висновки та постановка задачі на кваліфікаційну роботу.....	15
2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА	16
2.1 Керування прямолінійним рухом	16
2.2 Керування поворотом.....	18
2.3 Загальне керування АТЗ	21
2.4 Динаміка транспортного засобу	24
2.5 Дослідження прямолінійного руху.....	29
2.6 Дослідження поворотів	34
2.7 Дослідження загального керування.....	36
3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	39
3.1 Ідентифікація ділянки траєкторії та рівняння положення ділянки траєкторії	39
3.2 Помилки положення та орієнтації відносно поточної ділянки траєкторії....	39
3.3 Визначення x^* і y^* заданих x , y , $PX(k)$, $PY(k)$ і θ	42
4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА	43
4.1 Розроблення геометричної моделі транспортного засобу	43
4.2 Кінематика транспортного засобу.....	44
5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	49
5.1 Виведення рівнянь прямолінійного руху.....	49

5.2 Розрахунок кореневого контуру	52
5.3 Виведення основних рівнянь	57
5.4 Визначення кута повороту рульового пристрою.....	58
5.6 Розробка моделі рульового керування	61
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ...	62
6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ	62
6.1.1 Аналіз потенційних небезпек.....	62
6.1.2 Заходи щодо забезпечення безпеки	63
6.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці	68
6.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	71
6.2.1 Організація життєзабезпечення населення у надзвичайних ситуаціях	71
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЩОДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	74

ВСТУП

Важливим елементом організаційно-технологічної структури автоматизованого виробництва є автоматизована транспортно-нагромаджувальна система (АТНС), яка призначена, зокрема, для переміщення матеріалів, заготовок, готових виробів, засобів технологічного забезпечення та інструментів між обладнанням, автоматизованими дільницями та складами для підтримки виробничих ліній і виробництва в цілому. В якості обладнання АТНС широко застосовуються різного роду автоматизовані та автоматичні транспортні засоби (АТЗ).

Системи відслідковування маршруту або, як їх ще називають системи наведення АТЗ можуть варіюватися від відносно простих електромеханічних, індукційних, оптоелектронних до складних навігаційних систем, які використовують елементи штучного інтелекту для навігації в навколишньому середовищі.

Одним з варіантів систем відслідковування маршруту є системи, які базуються на точному розрахунку траєкторії.

Метою дослідження методу точного розрахунку траєкторії є розроблення та моделювання алгоритмів, які можуть бути використані для реалізації такого методу керування.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про автоматизовані транспортні засоби (АТЗ)

Важливим елементом організаційно-технологічної структури автоматизованого виробництва є автоматизована транспортно-накопичувальна система (АТНС), яка призначена, зокрема, для переміщення матеріалів, заготовок, готових виробів, засобів технологічного забезпечення та інструментів між обладнанням, автоматизованими ділянками та складами для підтримки виробничих ліній і виробництва в цілому. В якості обладнання АТНС широко застосовуються різного роду автоматизовані та автоматичні транспортні засоби.

Автоматичні транспортні засоби (АТЗ) іноді називають самокерованими транспортними засобами або автономними транспортними засобами, але в будь-якому випадку – це транспортні засоби, які автономно пересуваються територією складу, виробничого приміщення чи іншого виробничого об'єкту без участі людини.

Існує декілька типів автоматизованих транспортних засобів. Більшість АТЗ подібні до транспортних засобів, які керуються людиною, але розроблені для роботи без прямого втручання людини. Більшість транспортних засобів спроектовані у вигляді триколісних шасі і приводяться в рух електродвигуном (рис. 1.1).

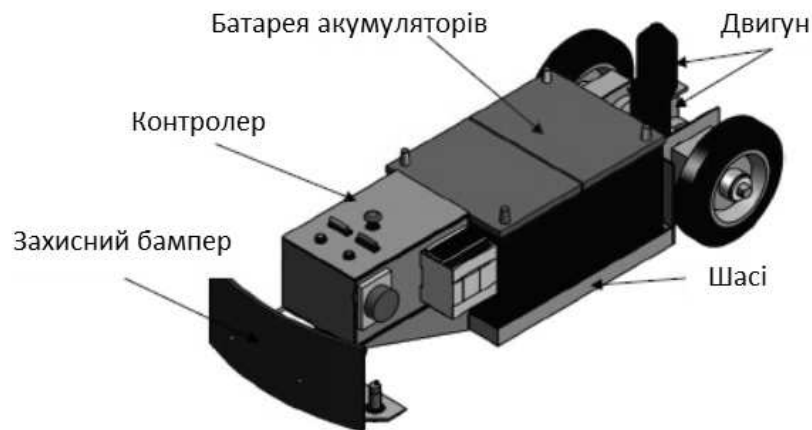


Рисунок 1.1 – Типова конструкція автоматизованого транспортного засобу

Використання АТЗ дозволяє досягти збільшення гнучкості гнучких виробничих систем, оскільки маршрут потоку матеріалів можна легко вибрати з числа альтернативних шляхів або оперативно переналаштувати для розміщення нових місць.

Крім того, застосування автоматизованих транспортних засобів має ще низку переваг, серед яких можна виділити такі:

- 1) зниження витрат на оплату праці;
- 2) підвищена точність і продуктивність;
- 3) висока доступність/надійність;
- 4) можливість швидкої зміни маршруту завдяки програмованості;
- 5) можливість інтеграції у всі ланки виробничого процесу.

1.2 Типи автоматизованих транспортних засобів

Весь комплекс автоматизованих транспортних засобів укрупнено можна розділити на декілька груп. Основними з них є вилкові підйомники, автоматизовані поїзди (буксири) і одиничні автоматизовані візки.

Автоматизовані вилкові підйомники (рис. 1.2) є відносно новим типом автоматизованих транспортних засобів. Керовані вилкові підйомники використовуються, коли система вимагає автоматичного підйому та скидання вантажів з рівня підлоги або стійки і коли висота перенесення вантажу змінюється в місцях зупинки.

Керований вилковий візок має можливість автоматично підбирати або розвантажувати вантаж без будь-якої участі людини. Навантажувач може піднімати вилки на висоту приблизно від одного до двох метрів, щоб можна було обслуговувати конвеєри або вантажні стійки різної висоти в даній системі.

АТЗ для буксирування (автоматичні поїзди) (рис. 1.3) являють собою робот-тягач, який тягне за собою (буксирує) декілька вантажних платформ є найчисленнішим типом АТЗ. Буксирування може включати масове переміщення продукції між складами або пряме обслуговування виробничого обладнання.



Рисунок 1.2 – Автоматизований вилковий підйомник

Системи поїздів зазвичай використовуються там, де переміщення продукту відбувається на великі відстані, іноді між будівлями, на відкритому повітрі або в дуже великих розподілених системах, де пробіги тривалі. Оскільки кожен поїзд може перевозити до 16 вантажів піддонів у певний час, це стає дуже ефективним методом, який зазвичай легко виправдовується, виключаючи вилкові навантажувачі або ручні поїзди та операторів.



Рисунок 1.3 – Автоматизовані транспортні засоби для буксирування

Одиничні автоматизовані візки (рис. 1.4) застосовують для індивідуального переміщення вантажів. Такі візки досить популярні в системах,

що об'єднують конвеєри з виробничими/складальними операціями або складськими системами.



Рисунок 1.4 – Автоматичний візок

Тут вони є дуже ефективним засобом для горизонтального транспортування між підсистемами обробки матеріалів, що інтенсивні до обладнання. На невеликі відстані візок може переміщувати великі обсяги матеріалу, з'єднуючи інші автоматизовані підсистеми в єдину інтегровану систему. Зазвичай системи одиничного завантаження передбачають автоматичний підбір і доставку товару з дистанційним керуванням транспортними засобами в системі. Навантажувачі зазвичай використовуються в системах складування та розподілу, де довжини напрямних шляхів відносно короткі, але обсяги великі.

Тут автоматичні візки мають можливість маневрувати в вузьких місцях, де буксируючі автоматизовані транспортні засоби з декількома вантажними платформами було б занадто незручно використовувати. Перенесення вантажу на конвеєри або стелажі легко виконується за допомогою вантажопідйомних платформ або за допомогою роликів настилів чи підйомних/опускаючих платформ.

Одиничні автоматизовані забезпечують хорошу універсальність системи для переміщення продукції, оскільки вони зазвичай працюють незалежно один від одного і можуть обходити один одного, щоб дістатися до певних місць призначення.

1.3 Системи керування автоматизованими транспортними засобами

Системи керування автоматизованими транспортними засобами призначені для автоматичного управління рухом транспортними засобами за заданим маршрутом. В загальному випадку автоматичне керування реалізується програмним забезпеченням і комплексом датчиків. Такі системи можуть варіюватися від відносно простих електромеханічних, індукційних, оптоелектронних до складних навігаційних систем, які використовують елементи штучного інтелекту для навігації в навколишньому середовищі.

Системи керування АТЗ можуть використовувати в своїй роботі декілька методів. В даний час з АТЗ використовується кілька систем наведення. Термін «система наведення» стосується методу, за допомогою якого визначається маршрут переміщення АТЗ і системи керування транспортним засобом.

Одним з найбільш поширених є метод керування за допомогою вмонтованого в підлогу проводу. Цей провід використовується для передачі керуючого сигналу. Датчик, встановлений на АТЗ, приймає керуючий сигнал і використовується для системи рульового керування, змушуючи АТЗ рухатися вздовж проводу.

Різновидом такої системи є пристрої, оснащені відповідними датчиками і які використовують магнітну або кольорову стрічку, закріплену на підлозі.

Однією з головних переваг таких систем є те, що її можна легко видалити та перемістити, якщо потрібно змінити маршрут. Крім того, такі системи значно дешевші, але і менш надійні, оскільки стрічка, закріплена на підлозі може бути легко пошкоджена або забруднена.

Іншим методом наведення АТЗ є інерційна (гіроскопічна) навігація. Комп'ютерна система управління з інерційним наведенням спрямовує та призначає завдання транспортним засобам, використовуючи транспондери. Гіроскоп виявляє найменшу зміну напрямку транспортного засобу та коригує це, щоб утримати АТЗ на маршруті.

Останнім часом широко почали використовуватися системи керування з лазерним наведенням. Навігація здійснюється шляхом кріплення

світловідбиваючої стрічки на стінах, стовпах або стаціонарних машинах. АТЗ має лазерний передавач і приймач на обертовій стійці. Кут і (іноді) відстань до будь-яких відбивачів, які знаходяться в прямій видимості та в радіусі дії, обчислюються автоматично. Ця інформація порівнюється з картою розташування відбивача, що зберігається в пам'яті АТЗ. Це дозволяє навігаційній системі коригувати поточне положення АТЗ.

Різновидом лазерних систем наведення є системи, які використовують технологію LiDAR (Light Detection and Ranging) – складну навігаційну технологію, що використовує датчики, які передають лазерні імпульси для вимірювання відстані між АТЗ та об'єктами в його оточенні. Ці дані збираються для створення 360-градусної карти навколишнього середовища, що дозволяє АТЗ орієнтуватися на об'єкті та уникати перешкод без потреби в будь-якій додатковій інфраструктурі.

Існують також системи так званого візуального керування, які використовують вбудовані відеокамери для відслідковування маршруту. Для таких систем не потрібно облаштовувати додаткового оснащення, камери записують об'єкти на маршруті і система використовує ці записані об'єкти для навігації.

Останнім часом з'явилися і набувають системи керування, які використовують в своїй роботі геонавігацію, зокрема технології GPS.

Окремим типом систем керування є системи, які базуються на точному розрахунку траєкторії. Точний розрахунок траєкторії відбувається за внутрішньо запам'ятованим шляхом і не використовує зовнішній зворотний зв'язок щодо положення, щоб слідувати заданому шляху. Сегменти прямолінійного шляху, які визначають бажану траєкторію, зберігаються в бортовій пам'яті транспортного засобу. Мікропроцесор обчислює положення та орієнтацію транспортного засобу за допомогою енкoderів валу заднього колеса; валові енкодери забезпечують кутове положення кожного заднього колеса. Алгоритми керування використовуються з даними енкодера для відстеження послідовних прямих ділянок траєкторії.

1.4 Висновки та постановка задачі на кваліфікаційну роботу

Одним з варіантів систем відслідковування маршруту є системи, які базуються на точному розрахунку траєкторії.

Точний розрахунок траєкторії не використовує зворотних зв'язків, але обчислює положення АТЗ і періодично оновлює абсолютне положення транспортного засобу.

Відрізки прямолінійного шляху, які визначають бажану траєкторію, зберігаються в бортовій пам'яті транспортного засобу. Мікропроцесор обчислює положення та орієнтацію транспортного засобу за допомогою енкoderів валу заднього колеса, які також контролюють кутове положення кожного заднього колеса. Алгоритми керування використовують дані з енкodера для відстеження послідовних прямих відрізків.

Контроль обчислення шляху можна покращити шляхом періодичного оновлення абсолютного положення транспортного засобу. Абсолютне оновлення позиції є обов'язковою умовою, оскільки на виході енкodера може бути похибка.

Метою дослідження методу точного розрахунку траєкторії є розроблення та моделювання алгоритмів, які можуть бути використані для реалізації такого методу керування. Для цього пропонується використати два окремих контролера: контролер прямої лінії для утримання АТЗ вздовж відрізка прямої лінії та контролер повороту, який направляє АТЗ від одного прямолінійного відрізка до наступного. Повний контроль реалізується шляхом поєднання двох окремих контролерів.

Розроблено два окремих контролера; контролер прямої лінії для утримання АТЗ вздовж відрізка прямої лінії та контролер повороту, який керує рухом АТЗ від одного прямолінійного сегмента до наступного. Повний контроль розрахунку був досягнутий шляхом поєднання двох окремих контролерів.

2 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

2.1 Керування прямолінійним рухом

Контролер прямолінійного руху призначений для утримання АТЗ на відрізку прямої лінії. Різні умови призводять до відхилення АТЗ від бажаного сегмента. Деформація матеріалу шини транспортного засобу змушує АТЗ рухатися в випадкових напрямках. Деформація колеса виникає через навантаження, яких зазнає транспортний засіб і відцентрову силу, що виникає під час поворотів. Фізична конфігурація транспортного засобу також створює відхилення від прямої лінії. Неточність кріплення задніх коліс, а також помилка в орієнтації переднього колеса викликають помилку відстеження прямої лінії.

Контролер прямої лінії моделює АТЗ як триколісне шасі. Детальний опис моделі транспортного засобу наведено в конструкторській частині.

Фактична фізична робота прямолінійного контролера полягає в тому, щоб мінімізувати помилку положення ε_d та орієнтації ε_θ . Контролер мінімізує ε_d і ε_θ та регулює кут повороту керма транспортного засобу α . Детальний опис ε_d і ε_θ наведено в технологічній частині.

Контролер прямої лінії – це контролер з одним виходом і подвійним входом. Двома виходами є $\varepsilon_d(s)$ і $\varepsilon_\theta(s)$, тоді як вхід $\alpha(s)$. Передатні функції установок системи, $G_1(s)$ і $G_2(s)$ отримані в спеціальній частині. Контролер є лише пропорційним, з обома $\varepsilon_d(s)$ і $\varepsilon_\theta(s)$ зворотним зв'язком.

Змінна, що керується, $C_\alpha(s)$ утворюється шляхом підсумовування величин $k_1(\varepsilon_{d(s)}^{set} - \varepsilon_{d(s)})$ і $k_2(\varepsilon_{\theta(s)}^{set} - \varepsilon_{\theta(s)})$. Керована змінна записується як:

$$C_{\alpha(s)} = k_1(\varepsilon_{d(s)}^{set} - \varepsilon_{d(s)}) + k_2(\varepsilon_{\theta(s)}^{set} - \varepsilon_{\theta(s)}). \quad (1)$$

Кут повороту $\alpha(s)$ утворюється шляхом множення керованої змінної на

наближення першого порядку рульового вузла. Зв'язок між $\alpha(s)$ і $C_\alpha(s)$ записується:

$$\frac{\alpha(s)}{C_\alpha(s)} = \frac{1}{1 + \tau s} = G_{V(s)}, \quad (2)$$

де τ – постійна часу рульових вузлів і використовується для визначення $G_{V(s)}$.

Задані $\varepsilon_{d(s)}^{set}$ і $\varepsilon_{\theta(s)}^{set}$ встановлені контролером завжди рівні нулю. Структура контролера прямої лінії зображена на рисунку 2.1.

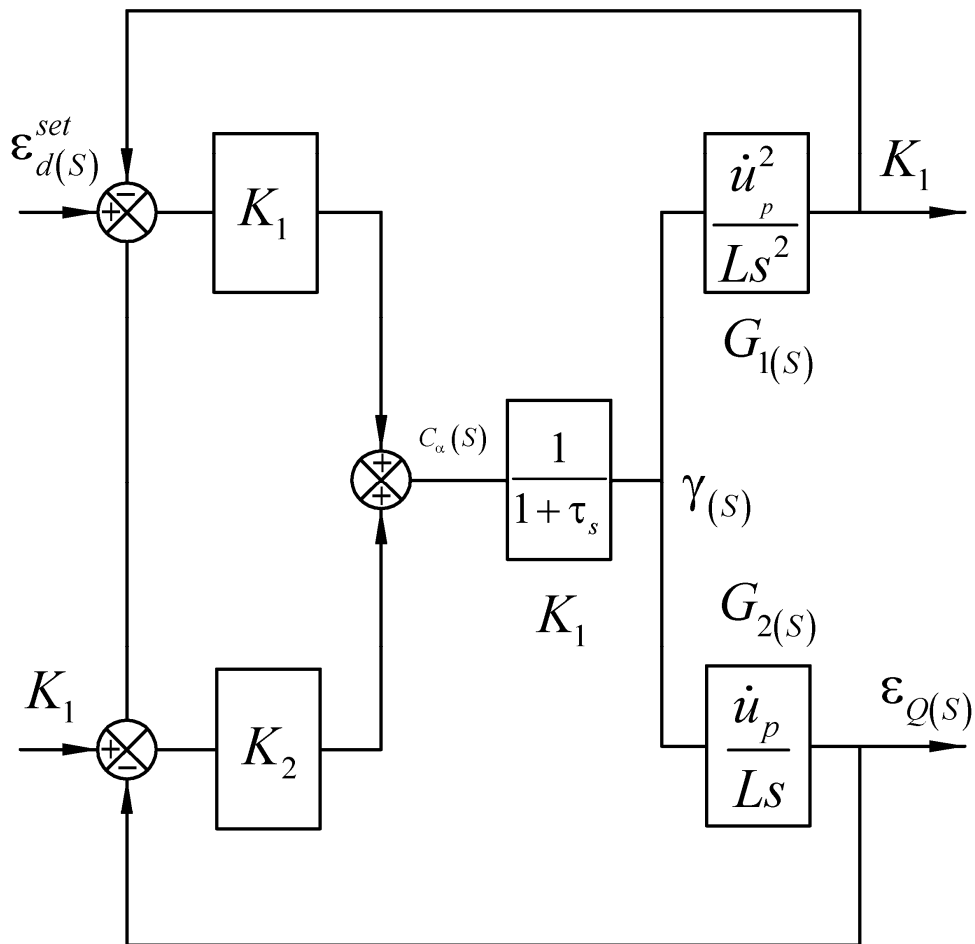


Рисунок 2.1 – Структурна схема контролера прямолінійного руху

Скорочення блок-схеми на рисунку 2.1 призводить до лінійного диференціального рівняння третього порядку, яке описує похибку положення

транспортного засобу ε_d як функцію часу:

$$\frac{\tau L_{\ddot{\varepsilon}}}{U_p^2} d + \frac{\tau L_{\dot{\varepsilon}}}{U_p^2} d + \frac{k_2 \varepsilon}{U_p} d + k_1 \varepsilon_d = 0, \quad (3)$$

де точки представляють диференціацію за часом. Рівняння третього порядку було зведено до системи з трьох пов'язаних рівнянь першого порядку. Для моделювання була використана система трьох рівнянь. Регулятор підсилює k_1 і k_2 які були розраховані за допомогою аналізу кореневого контуру.

Детальний виведення рівняння прямолінійного регулятора і обчислення підсилення кореневого контуру наведено в спеціальній частині.

2.2 Керування поворотом

Контроль поворотом або криволінійним рухом – це алгоритм, який відповідним чином змінює кут механізму керування для того, щоб реалізувати заданий поворот. Узгодження повороту складається з переходу від S_k сегмента шляху до S_{k+1} відрізка шляху. Точка p транспортного засобу проходить по плавній дузі кола при русі від відрізка S_k до відрізка S_{k+1} . Опис закону ідентифікації сегмента за допомогою відповідних рівнянь наведено в технологічній частині.

Для опису положення транспортного засобу використовуються три диференціальні рівняння першого порядку. Координати положення: орієнтація θ , положення осі x і y . Змінні положення θ , x та y вимірюються відносно фіксованої системи відліку.

Три основні рівняння:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\dot{u}_\varrho}{L} \sin(\alpha), \quad (4)$$

$$\frac{dx}{dt} = \dot{u}_Q \cos(\alpha) \cos(\theta), \quad (5)$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{u}_Q \cos(\alpha) \sin(\theta). \quad (6)$$

Рівняння 4, 5 і 6 виведені в конструкторській частині.

Положення транспортного засобу також вимірюється відносно систем координат, відмінних від фіксованої системи відліку. Положення транспортного засобу вимірюється відносно поточного сегмента шляху, а також відносно наступного сегмента. Діаграми систем координат, доданих до поточного та наступного відрізків шляху, наведено в технологічній частині.

Величина MT вимірюється відносно поточного сегмента шляху і використовується для сигналізації перемикання з прямого контролера на контролер повороту. Величина MT – це відстань від кінця поточного відрізка шляху до точки p на транспортному засобі. Коли транспортний засіб рухається в межах критичного значення MT , $MTCRT$, починається алгоритм повороту.

MT задається рівнянням:

$$MT = \left| \frac{\hat{\epsilon}_d}{\sin(\hat{\epsilon}_\theta)} \right|. \quad (7)$$

Щоб пройти певний поворот, необхідно розрахувати дві важливі величини: ANG , теоретичний кут повороту, необхідний для виконання даного повороту, і TT , теоретичну кількість часу для завершення повороту. Поворот завершено, коли точка транспортного засобу p перетинає S_{k+1} сегмент.

Рівняння для ANG і TT :

$$ANG = \tan^{-1} \left[\frac{L(1 - \cos \hat{\epsilon}_\theta)}{\hat{\epsilon}_d - \dot{u}_p \tau_D \sin \hat{\epsilon}_\theta} \right]. \quad (8)$$

$$TT = \frac{\hat{\varepsilon}_\theta (\hat{\varepsilon}_d - \dot{u}_p \tau_D \sin \hat{\varepsilon}_\theta)}{\dot{u}_p (1 - \cos \hat{\varepsilon}_\theta)}. \quad (9)$$

Рівняння 8 і 9 виведені в конструкторській частині.

Механізм керування АТЗ моделюється за допомогою простої моделі лінійного спаду. Щоб здійснити певний поворот, механізму керування розвертається до *ANG*, утримується постійним протягом встановленої кількості часу i , нарешті, зменшується до нульового кута повороту. Змінна τ_s , або час, необхідний для того, щоб механізм керування досягнув кута повороту в дев'яносто градусів, характеризує механізм керування. Передбачається, що механізм керування не здатний досягти кута повороту, що перевищує 90° . Рівняння, яке описує кількість часу, необхідного механізму керування для досягнення значення *ANG*:

$$T_1 = \frac{ANG \tau_s}{1,5708}. \quad (10)$$

Більш повний опис моделі механізму керування наведено в конструкторській частині. Щоб уникнути неточних поворотів, потрібна зміна алгоритму поворотів. Неточність повороту виникає через те, що рульовий вузол не досягає миттєво заданого теоретичного кута повороту, *ANG*. Дві проблеми, які виникають – це перевищення повороту та помилка орієнтації повороту. Перевищення повороту залишає точку p транспортного засобу з помилкою положення ε_d , тоді як помилка орієнтації повороту залишає ТЗ з помилкою орієнтації ε_θ .

Перевищення повороту усувається за допомогою параметра τ_D . Величина τ_D є відривом у часі, який визначає точку, з якої обчислюються *ANG* і *TT*. Чим більше τ_D , тим далі по відріжку S_k обчислюються *ANG* і *TT*. Встановлення більше нуля дає більші значення *ANG* і менші значення *TT*. по суті, транспортний засіб починає повертати на деякий час раніше, ніж це теоретично

необхідно. Значення τ_D пропорційне швидкості транспортного засобу та кутовій похибці між транспортним засобом і наступним сегментом шляху:

$$\tau_D = k i_p \hat{\epsilon}_0. \quad (11)$$

Константа пропорційності k встановлюється шляхом моделювання.

Помилка орієнтації повороту усувається шляхом утримання рульового управління на значенні ANG протягом часу, більшого, ніж це теоретично необхідно. Кількість T_2 або теоретична кількість часу, протягом якого збори проводяться в ANG, істотно збільшується на кількість часу, необхідного під час нарощування та зменшення зборів. Нове T_2 визначають за залежністю:

$$T_2 = T_2 + CON T_1, \quad (12)$$

де T_1 – час, необхідний для збільшення або зменшення від ANG, а CON встановлюється за допомогою моделювання.

2.3 Загальне керування АТЗ

Загальне управління транспортним засобом досягається шляхом поєднання контролера прямолінійного руху та контролера повороту. Повний контролер призначає кут керма відповідно до положення транспортного засобу. Кут розраховується за допомогою контролера прямої лінії або повороту.

Повна блок-схема алгоритму керування наведена на рисунку 2.2.

Алгоритм починається з ініціалізації таких параметрів:

- фізичні параметри транспортного засобу;
- підсилення контролера прямої лінії;
- критичне значення MT ;
- залежні змінні D_1 через D_6 ;
- довжини та орієнтації відрізків;

- позиційні змінні x^* , y^* і $\hat{\varepsilon}_d$.

Після ініціалізації розраховується положення транспортного засобу.

Розраховуються такі величини:

$$-u_p, \varepsilon_\theta, \hat{\varepsilon}_\theta, MT, x^*, y^*, \hat{\varepsilon}_d, \hat{y}.$$

Далі контролер запитує, чи значення MT транспортного засобу менше або дорівнює критичному значенню MT . якщо значення MT не менше критичного значення, контролер використовує пряму. З іншого боку, якщо значення MT менше, ніж критичне значення, повний контролер використовує контролер поворотів.

Нехай значення MT більше за критичне значення. Повний контролер спочатку обчислює кут керма відповідно до прямолінійного контролера, а потім інтегрує всі шість залежних змінних ($\varepsilon_d, \dot{\varepsilon}_d, \ddot{\varepsilon}_d, \theta, x, y$). Повний контролер рухається вперед у часі, обчислює нове положення транспортного засобу, і запитує, чи MT менше або дорівнює критичному значенню. Коли значення MT менше за критичне значення, повний контролер використовує контролер поворотів для керування транспортним засобом. Повний контролер запитує, чи потрібна ініціалізація повороту. Якщо потрібна ініціалізація повороту, повний контролер обчислює різницю кутів між поточним та наступним відрізком шляху (розрахунок орієнтації повороту); обчислює теоретичний кут керма для завершення бажаного повороту, ANG , і теоретичний час для завершення повороту, TT ; обчислює модифікований час повороту відповідно до того, як довго кут рульового колеса повинен залишатися незмінним протягом повороту. Абсолютне значення часу в кінці повороту обчислюється і позначається як TTT .

Повний контролер починає керування поворотом, вибираючи кут керма з імітатора рульового керування. Симулятор рульового керування відповідає за збільшення кута повороту вгору і вниз під час повороту. Після призначення кута повороту прямолінійний контролер інтегрує залежні змінні θ, x, y .

Далі контролер прямої лінії запитує, чи є час TTT більшим або рівним абсолютному часу в кінці повороту. Якщо час менший за TTT , весь контролер обчислює нове положення транспортного засобу і продовжує рухатися по дузі.

Якщо час більший або дорівнює ТТТ, контролер перевіряє, чи він не рухається до останнього відрізка траєкторії, а потім повторно ініціалізується для контролера прямої лінії. Для повторної ініціалізації обчислюються змінні $-\varepsilon_d, \dot{\varepsilon}_d, \ddot{\varepsilon}_d, \hat{\varepsilon}_0, x^*, y^*, MT$.

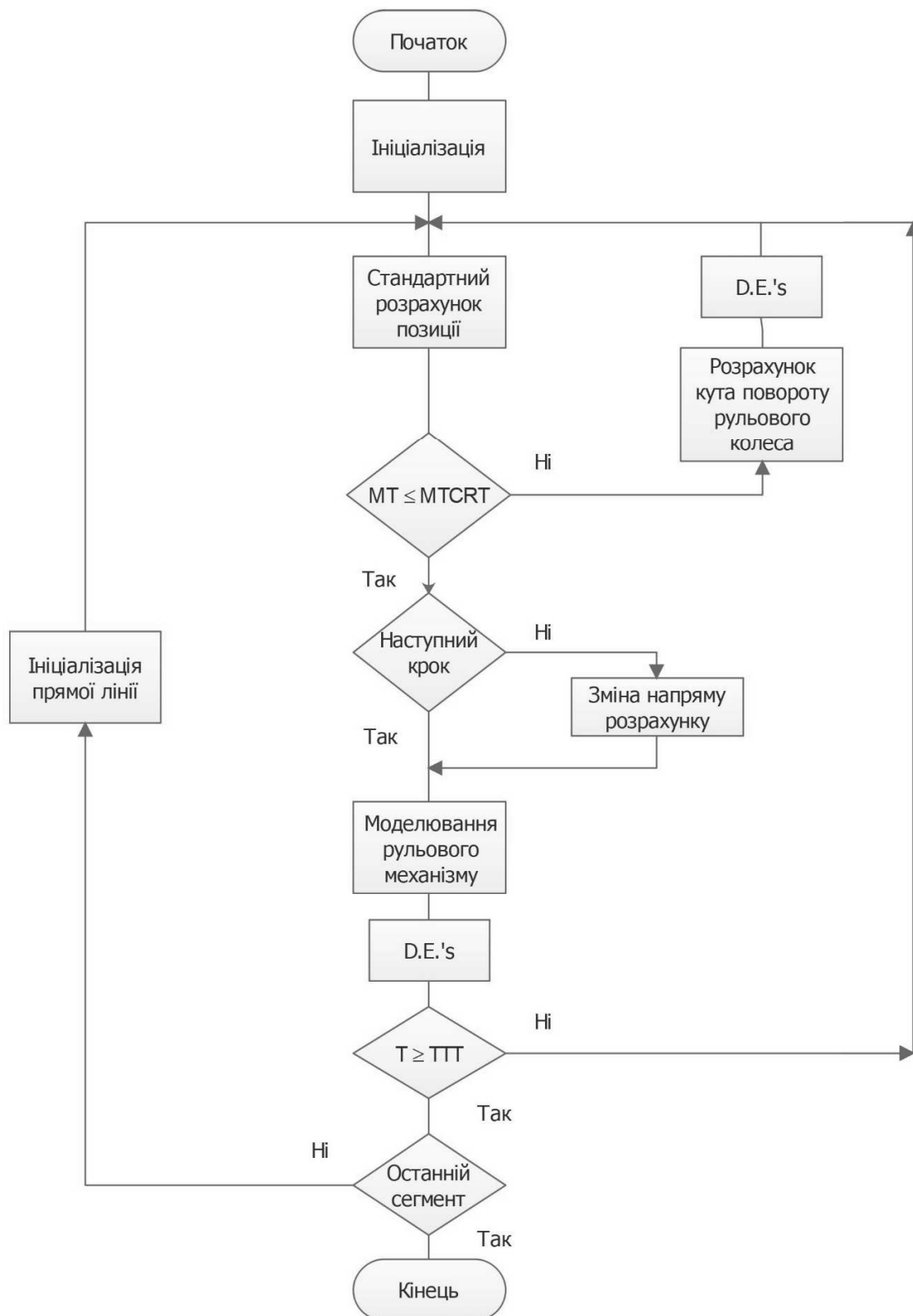


Рисунок 2.2 – Блок-схема повного алгоритму керування

Обчислення необхідні для ініціалізації ε_d . необхідно виконати відносно наступного сегмента шляху. Це реалізується шляхом нумерації сегментів і збільшення поточного значення сегмента, коли відбувається ініціалізація прямолінійної ділянки. Повний контроль починається знову з вершини алгоритму. Нарешті, якщо останній сегмент є поточним, контролер зупиняється. Якщо бажаний шлях транспортного засобу містить n сегментів, використовується $n+1$ або фіктивний сегмент.

Нарешті, якщо останній сегмент є поточним, контролер зупиняється. Якщо бажаний шлях транспортного засобу містить n сегментів, використовується $n+1$.

2.4 Динаміка транспортного засобу

Динаміка транспортного засобу може бути включена в алгоритми керування наведенням, щоб точніше передбачати положення та орієнтацію транспортного засобу під час розрахунку. Це моделювання не включає динаміку кочення транспортного засобу, але може бути включено за допомогою рівнянь, наведених нижче.

Основною причиною помилки динамічного відстеження є відцентрова сила, яку відчуває транспортний засіб під час руху через поворот. Відцентрова сила викликає деформацію матеріалу колеса. Деформація колеса змушує транспортний засіб рухатися по шляху, який не передбачений рівняннями геометричного положення.

Кут між геометричним шляхом і фактичним шляхом відомий як кут ковзання. Кути ковзання можна експериментально визначити для різних конфігурацій транспортних засобів і поворотів.

Кінематична модель, яка використовується з транспортним засобом, показана на рисунку 2.3. Модель є двовимірною з усіма рухами, що існують у площині xu . Краща динамічна модель розглядала б центр мас транспортного засобу в іншій площині та різні навантаження на колеса. Під час повороту на транспортний засіб масою M діє відцентрова сила C , і кожне колесо зазнає

впливу бічної сили. Бічні сили на лівому, правому та передньому колесах позначаються відповідно S_l, S_r і S_f . Переднє колесо транспортного засобу забезпечує тягове зусилля T , яке викликає рух транспортного засобу. Кожне колесо також відчуває силу опору коченню. Сили опору коченню зліва, справа, і передні колеса позначаються відповідно як R_{rl}, R_{rr} і R_{rf} .

Для визначення бічних сил колеса були використані три рівняння. Враховуючи конфігурацію транспортного засобу, кут повороту керма та значення опору коченню $S_l + S_r, T$ and S_f визначають за допомогою:

$$(S_l + S_r) = \frac{(1-a)C}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} + \frac{E}{2}(R_{rr} - R_{rl}), \quad (13)$$

$$T = R_{rf} + \frac{1}{2 \cos \alpha} \left[(R_{rl} + R_{rr}) - \frac{aC \tan \alpha}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} \right] + \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[\frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}) + \frac{aC}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} \right], \quad (14)$$

$$S_f = \frac{1}{2 \cos \alpha} \left[\frac{aC \tan \alpha}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} - (R_{rl} + R_{rr}) \right] + \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[\frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}) + \frac{aC}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} \right]. \quad (15)$$

Розробку рівнянь 13, 14 і 15 розглянуто в спеціальній частині.

Коли бічні сили розраховані, кути ковзання можна отримати з експериментальних даних, які пов'язують бічну силу та кут ковзання.

Коли транспортний засіб рухається через поворот, він геометрично або теоретично обертається навколо точки 0 , а насправді обертається навколо точки $0'$. Зміщення центру обертання від 0 до $0'$ відбувається через ковзання колеса або кутів ковзання. На рисунку 2.4 показано транспортний засіб, що рухається через поворот зі зміщеним центром обертання.

Зауважимо, що в наступних рівняннях динаміки бічні сили S_l і S_r , як передбачається, діють вздовж осі y , отже, обидва і дорівнюють нулю, а зміщена

відцентрова сила C стає C' . З цим припущенням ковзання транспортного засобу можна описати за допомогою γ_p і γ_f .

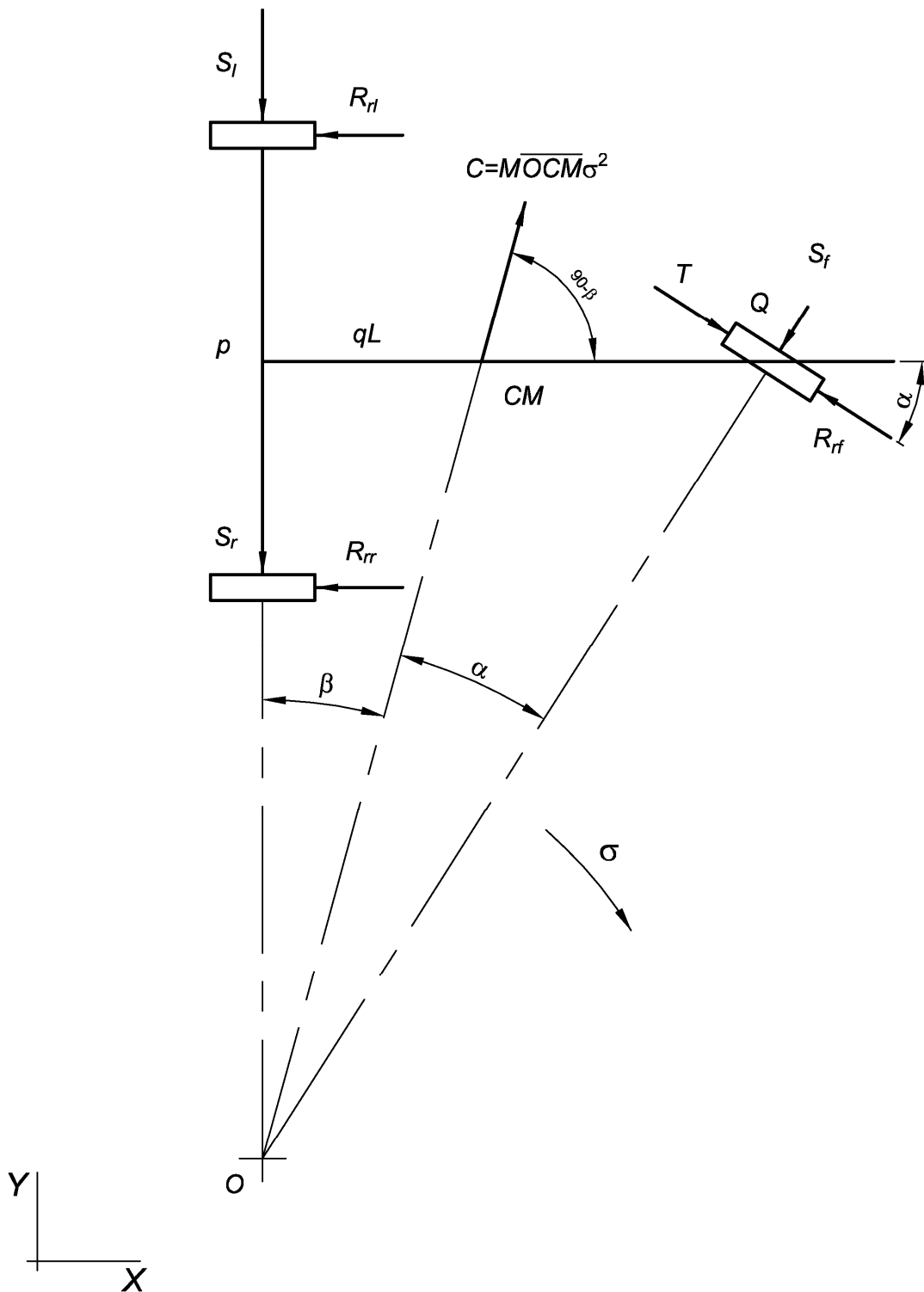


Рисунок 2.3 – Кінематична модель транспортного засобу

Новий центр обертання описується за допомогою

$$\overline{o'cm} = L \left\{ (l-a)^2 + \frac{\cos^2 \gamma_p}{\sin^2(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)} - 2(1-a) \frac{\cos \gamma_p \sin(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)} \right\}^{1/2}. \quad (16)$$

Кут ψ , який описує орієнтацію відцентрової сили, визначається як:

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\cos \gamma_p \cos(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f) R} \right], \quad (17)$$

де R визначається рівнянням 46.

Далі рівняння 13, 14 і 15 переписують через ψ :

$$(S_l + S_r) = (1-a)C \sin \psi + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}), \quad (18)$$

$$T = R_{rf} + \frac{(R_{rl} + R_{rr}) - C \cos \psi}{2 \cos \alpha} + \frac{aC \sin \psi + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl})}{2 \sin \alpha}, \quad (19)$$

$$S_f = \frac{aC \sin \psi + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl})}{2 \sin \alpha} - \frac{(R_{rl} + R_{rr}) - C \cos \psi}{2 \cos \alpha}. \quad (20)$$

Розробку рівнянь 18, 19, 20 див. у конструкторській частині.

Алгоритм обчислення кутів ковзання з динамічними ефектами:

Припустимо γ_p через $S_l + S_r$. Для обчислення $S_l + S_r$ і S_f використано рівняння 13 і 15.

1. Отримати γ_p і γ_f з експериментальних даних.
2. Обчислити $\overline{o'cm}$, використовуючи рівняння 16 і значення кута ковзання, знайдені в технологічній частині.
3. Обчислити ψ за рівнянням 17.
4. Обчислити C , використовуючи: $C = \overline{mo'cm\theta}^2$.

5. Обчислити $S_l + S_r$ і S_f за рівняннями 18 і 20.

6. Отримати ітерацію γ_p і γ_f з експериментальних даних.

Основними результатами дослідження є розробка повного алгоритму керування та комп'ютерне моделювання алгоритму.

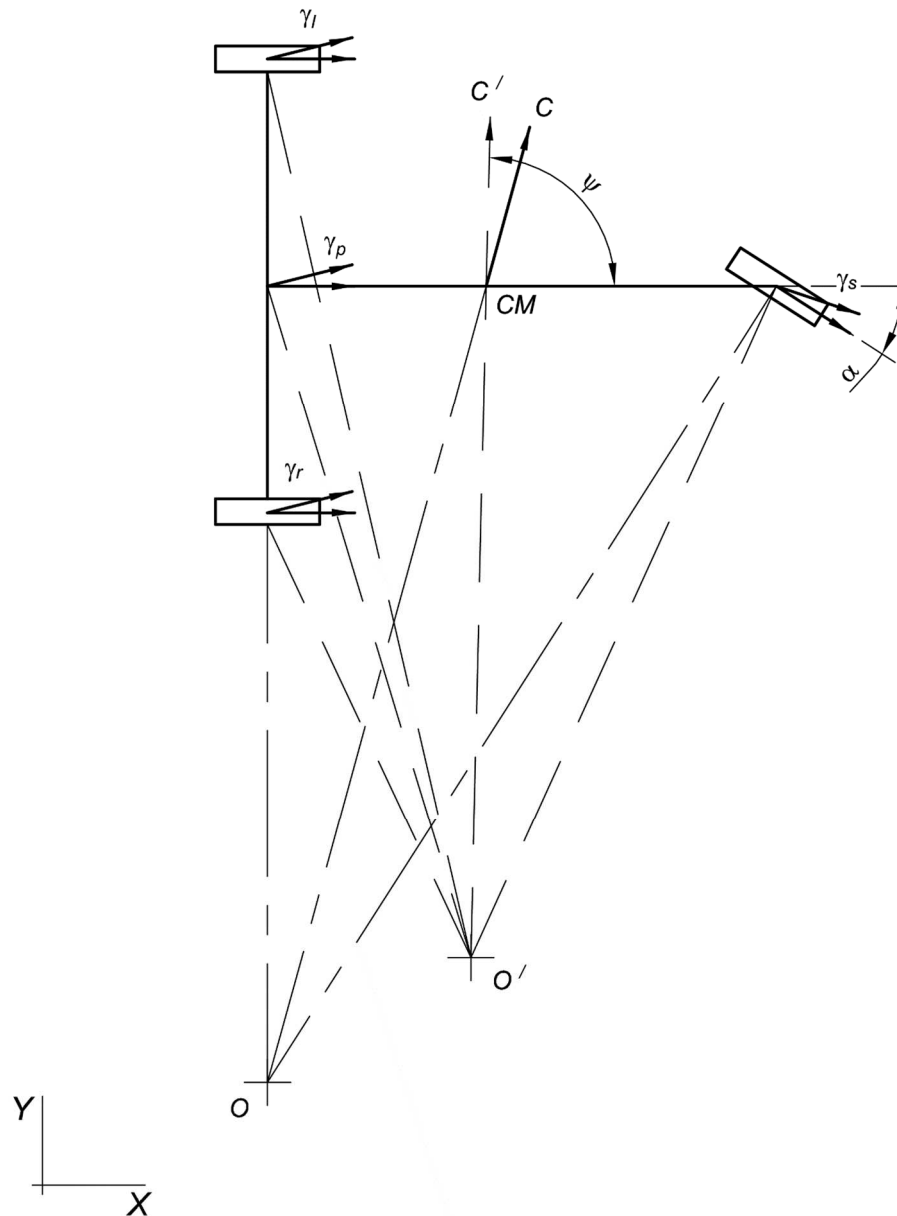


Рисунок 2.4 – Зміщений центр обертання через ковзання

Програмування повного алгоритму керування було здійснено шляхом спочатку окремого моделювання контролерів прямої лінії та повороту. Моделювання прямолінійного руху показує, що транспортний засіб повертається на прямий сегмент після того, як йому було присвоєно початкову

помилку положення, помилку орієнтації та кут керма.

Моделювання повороту показує, як транспортний засіб виконує потрібний поворот. Програма прямолінійного руху використовується для встановлення коефіцієнта підсилення регулятора прямої лінії, k_1 і k_2 , тоді як програма повороту використовується для встановлення i *CON*. Після того, як k_1, k_2, τ_D і *CON* були встановлені, виконується повна програма моделювання та оцінюється графічний результат.

2.5 Дослідження прямолінійного руху

Рисунок 2.5: похибка початкового положення – 0,15 м. Транспортний засіб плавно рухається назад до прямолінійної ділянки траєкторії в межах 3 м у напрямку y . Підсилення контролера $k_1 = 0,2$ і $k_2 = 1,25$.

Швидкість, з якою транспортний засіб повертається на прямий сегмент, можна зменшити або збільшити, змінюючи підсилення k_1 .

Рисунок 2.6: похибка початкового положення – 0,15 м. Транспортний засіб плавно рухається назад до прямолінійного сегмента в межах 6,0 м у напрямку осі y . Більш високий час встановлення було досягнуто встановленням коефіцієнта підсилення контролера на $k_1 = 0,1$ і $k_2 = 1,25$.

Рисунок 2.7: похибка початкового положення – 0,15 м. АТЗ повертається до прямолінійного сегмента з перевищенням. Транспортний засіб не повністю рухається на ділянці прямої лінії до 7,5 м в напрямку y . Перевищення досягнуто встановленням коефіцієнта підсилення контролера на $k_1 = 0,4$ і $k_2 = 1,25$. Контроль прямої лінії з перевищенням є бажаним для повного контролю.

Рисунок 2.8: похибка початкової орієнтації 20° . В кінці сегмента можна побачити невелику помилку орієнтації. Помилка виникає в результаті того, що контролер прямої лінії приймає постійну точкову швидкість p . Рівняння θ, x, y враховують зміну \dot{y}_p зі зміною α , але \dot{y}_p не можуть змінюватися в контролері прямої лінії.

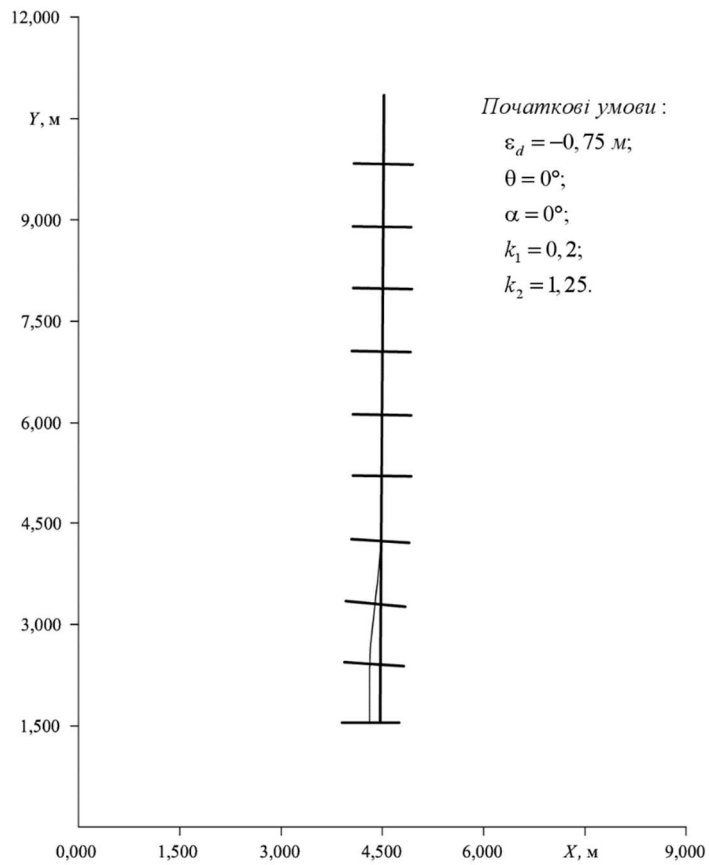


Рисунок 2.5 – Моделювання прямолінійного руху (1)

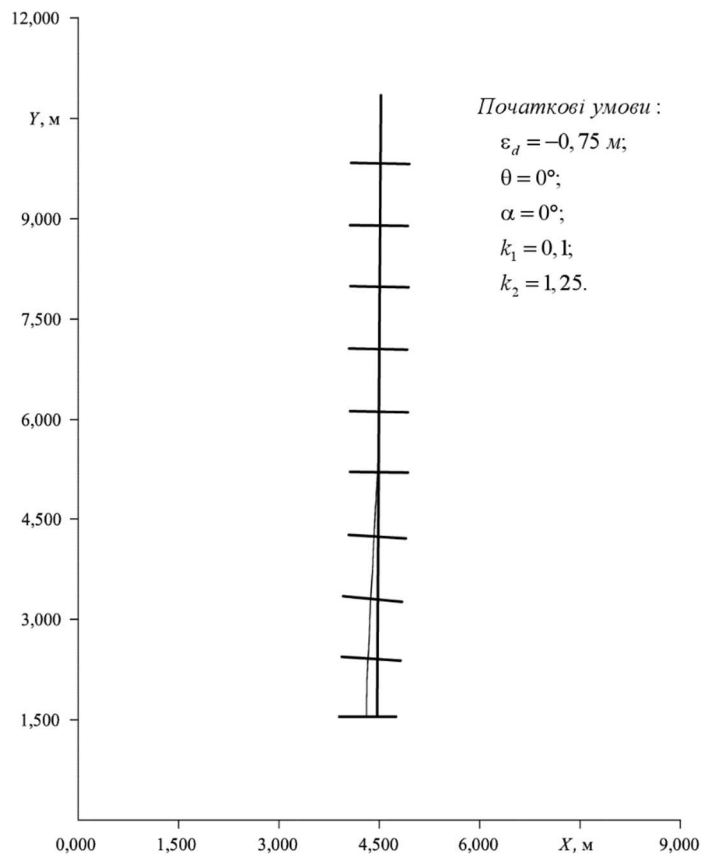


Рисунок 2.6 – Моделювання прямолінійного руху (2)

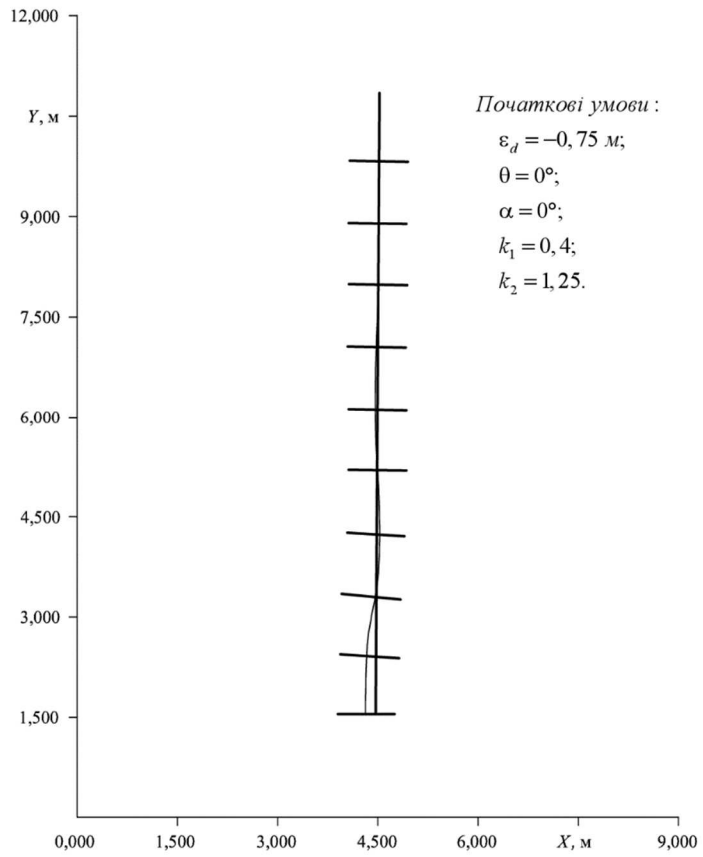


Рисунок 2.7 – Моделювання прямолінійного руху (3)

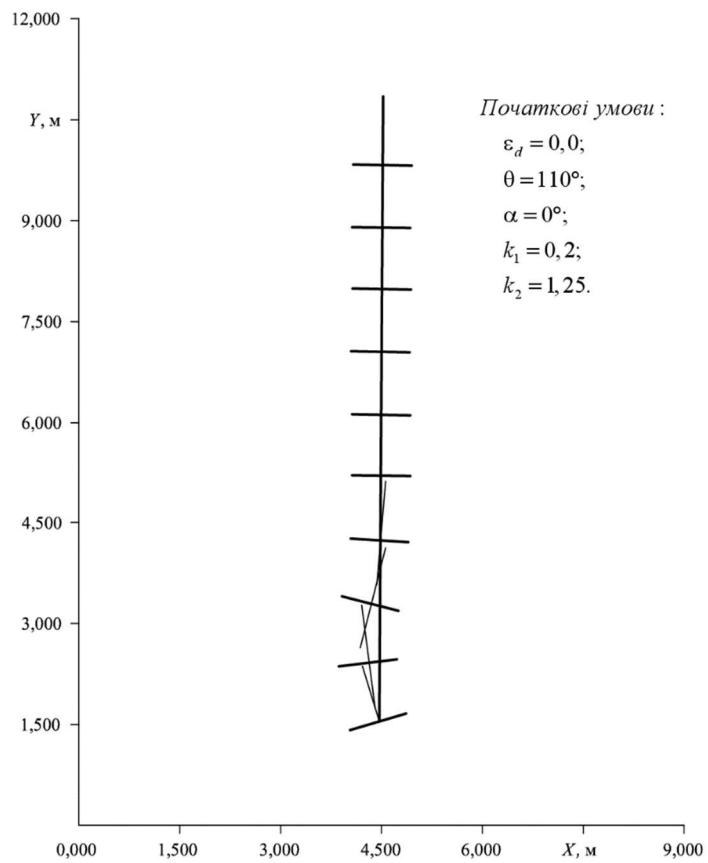


Рисунок 8 – Моделювання прямолінійного руху (4)

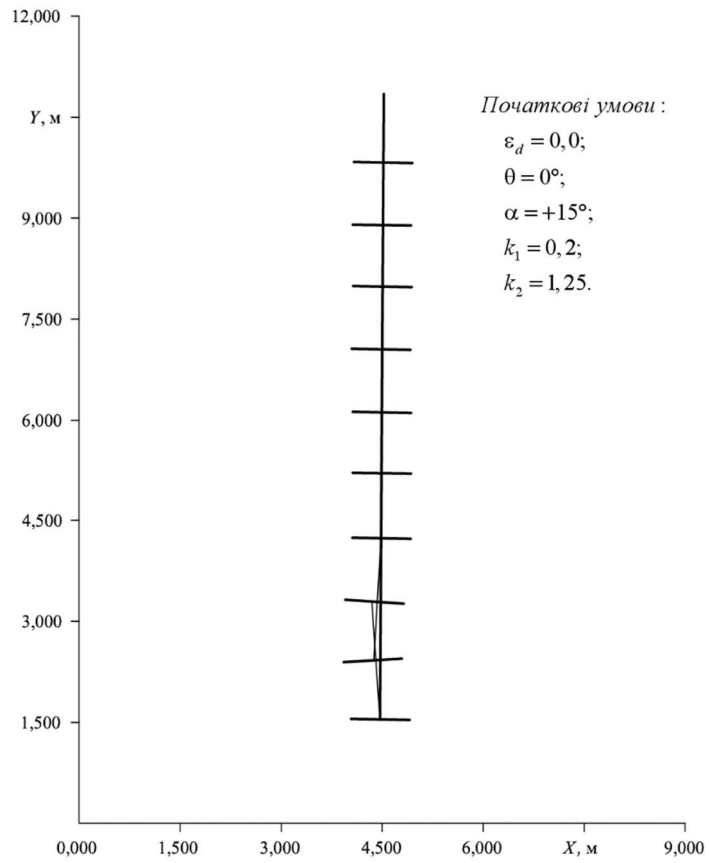


Рисунок 2.9 – Моделювання прямолінійного руху (5)

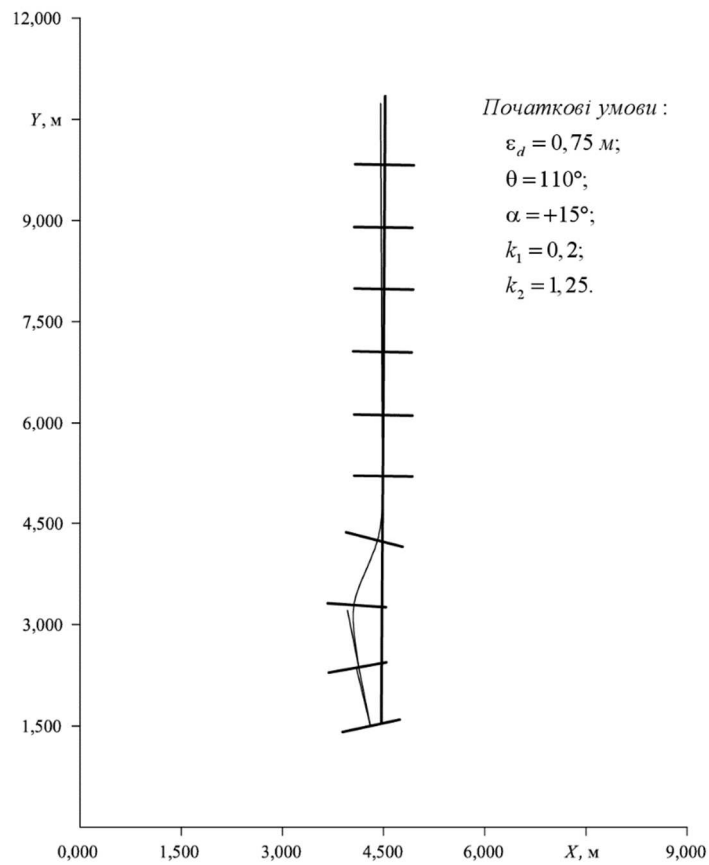


Рисунок 2.10 – Моделювання прямолінійного руху (6)

Контролер прямої лінії переміщується до сегмента прямої лінії зі значенням θ , яке дещо відрізняється від фактичного фізичного сегмента. Похибка зміщення зростає зі збільшенням значень, оскільки \dot{y}_p залежить від косинуса α . Перевірка вихідного значення ε_d відповідно до прямолінійного контролера показує, що значення стає нульовим, коли час йде до нескінченності.

Результати графічного моделювання прямої лінії можна використовувати, щоб визначити, як часто необхідно оновлювати абсолютне положення транспортного засобу.

Рисунок 2.9: початковий кут рульового колеса $+15^\circ$. Транспортний засіб плавно повертається до прямого відрізка в межах 4,5 м руху в напрямку осі y . Помилка зміщення відсутня, оскільки контролер прямої лінії не потребує великих значень для повернення до відрізка прямої лінії.

Рисунок 2.10: похибка початкового положення – 0,15 м. Похибка початкової орієнтації 20° і початковий кут рульового колеса 15° . Присутня суттєва помилка відстеження, оскільки потрібні великі значення α , щоб виправити положення транспортного засобу із початкового стану.

2.6 Дослідження поворотів

Рисунок 2.11: транспортний засіб намагається повернути на 90° , що викликає перевищення допустимого кута та помилку орієнтації. Обведена точка на рисунках 2.11, 2.12 і 2.13 показує положення точки p транспортного засобу в кінці теоретичного часу повороту.

Рисунок 2.12: параметр τ_D встановлюється як $k = 0,9$. Надлишкове переміщення транспортного засобу усувається, а помилка орієнтації залишається. Значення CON дорівнює нулю.

Рисунок 2.13: параметр CON встановлено на 2,54 і τ_D дорівнює нулю. Помилка орієнтації, по суті, усувається, поки перевищення все ще існує.

Рисунок 2.14: значення τ_D встановлюється при $k = 0,9$, CON приймається як 2,54. Усувається перевищення повороту та помилка орієнтації.

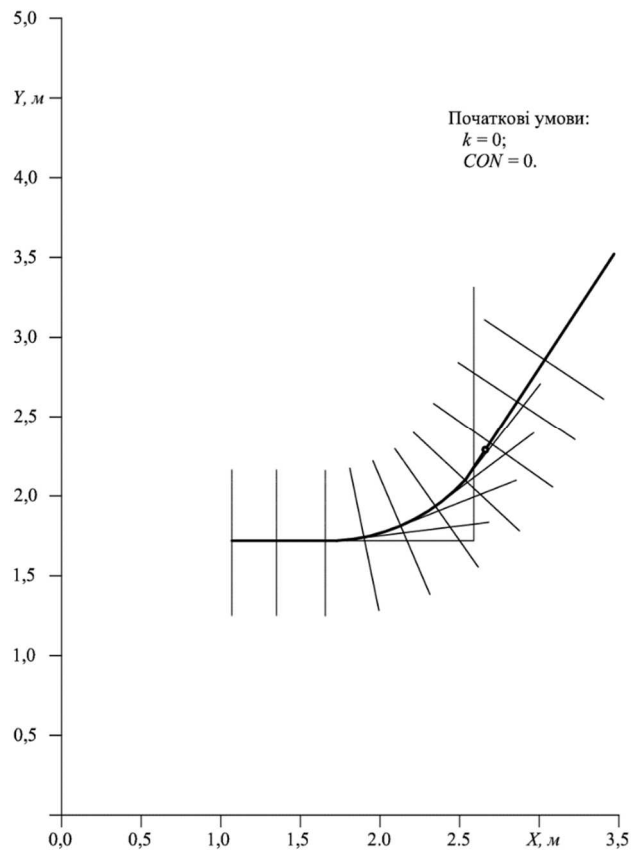


Рисунок 2.11 – Моделювання повороту (1)

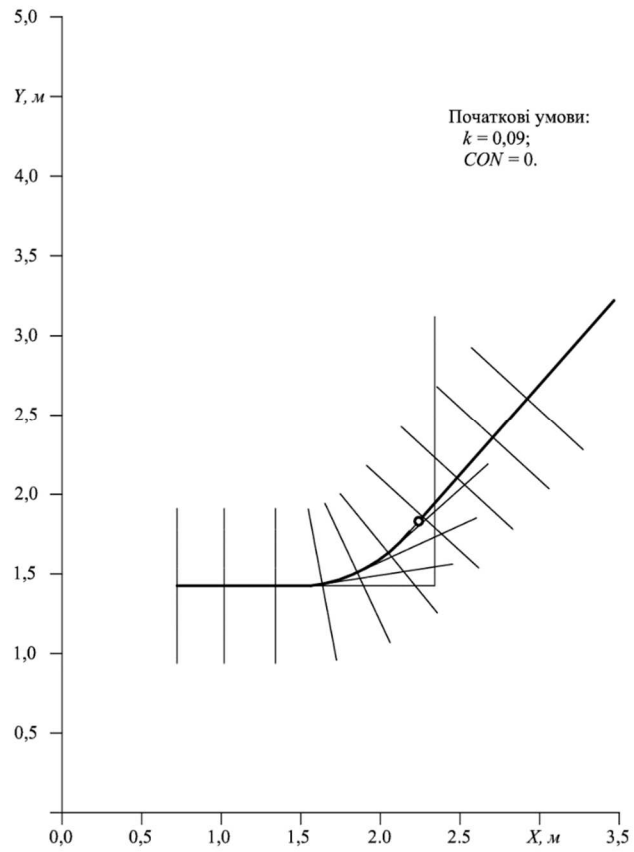


Рисунок 2.12 – Моделювання повороту (2)

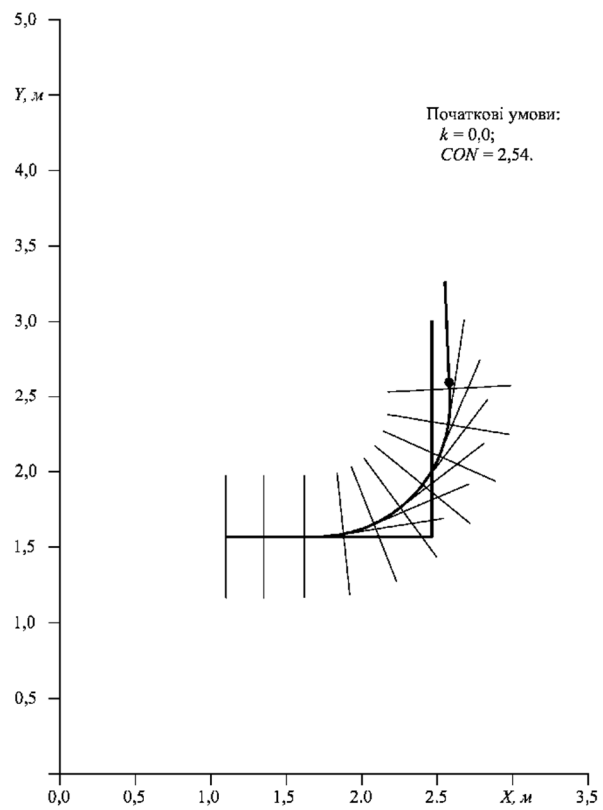


Рисунок 2.13 – Моделювання повороту (3)

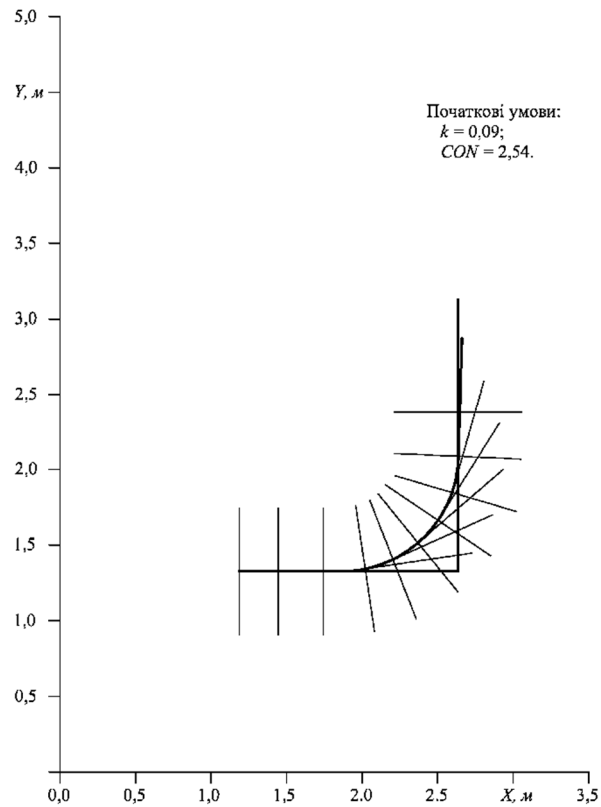


Рисунок 2.14 – Моделювання повороту (4)

2.7 Дослідження загального керування

Коефіцієнт підсилення контролера прямої лінії встановлюється як $k_1 = 0,2$ і $k_2 = 1,25$.

Рисунок 2.15: перехід між двома паралельними прямими відрізками. Рух транспортного засобу починається в точці 5,15.

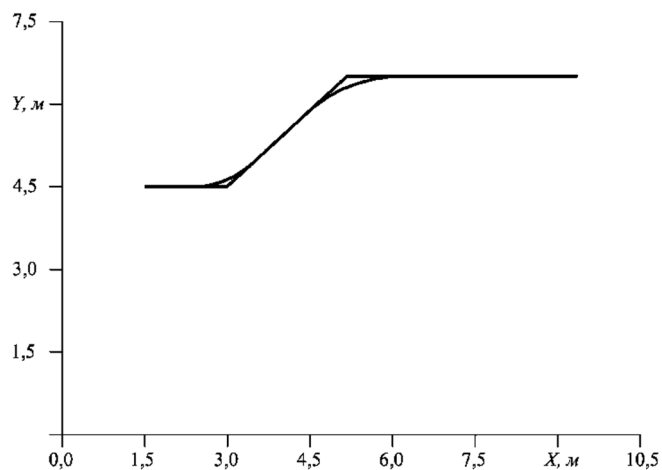


Рисунок 2.15 – Загальне керування. Перехідний стан паралельної ділянки

Рисунок 2.16: завершення повороту по дузі кола. Рух транспортного засобу починається в точці 10,5.

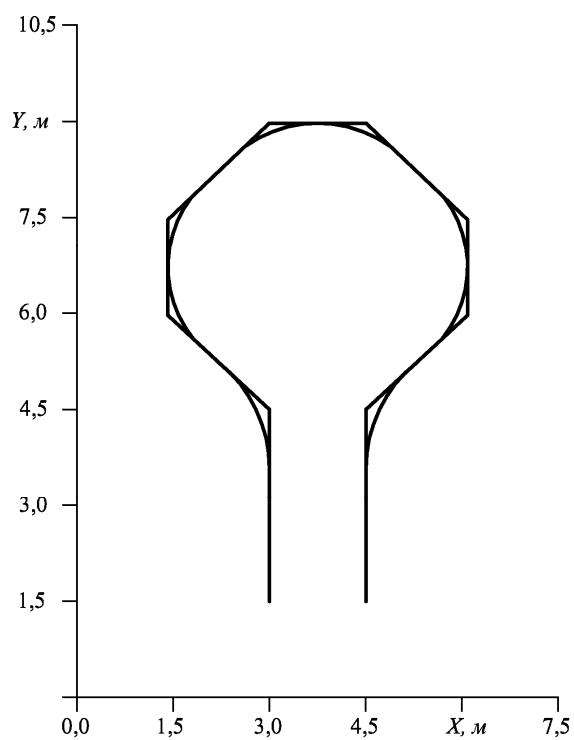


Рисунок 2.16 – Загальне керування (2). Рух по дузі кола

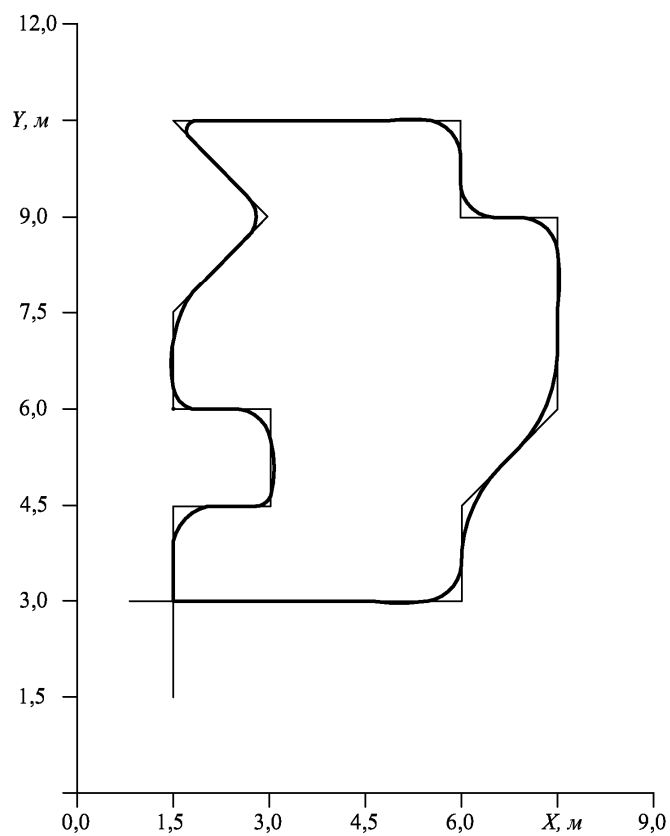


Рисунок 2.17 – Загальне керування (3). Типова виробнича траєкторія

Рисунок 2.17: завершення типової траєкторії. Рух транспортного засобу починається в точці 5,5. Похибка зміщення контролера прямої лінії на сегменті прямої лінії по осі y дорівнює 10 м. Похибка в кінцевому підсумку виправляється, оскільки змінні положення x , y і θ є абсолютними (включають помилку).

3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Ідентифікація ділянки траєкторії та рівняння положення ділянки траєкторії

Усі відрізки ідентифікуються початком і кінцевим значенням координати x і y , кутовою орієнтацією θ_k і довжиною L_k відносно фіксованої системи відліку. Орієнтація ділянки траєкторії визначається позитивно у напрямку проти годинникової стрілки:

$$0 < \theta_k < 2\pi.$$

Орієнтація ділянки траєкторії визначається як:

$$\theta_k = \tan^{-1} \frac{[PY(k+1) - PY(k)]}{[PX(k+1) - PX(k)]}. \quad (21)$$

Довжину ділянки траєкторії можна визначити як:

$$L_k^2 = (PY(k+1) - PY(k))^2 + (PX(k+1) - PX(k))^2. \quad (22)$$

Серія з n відрізків пронумерована від 1 до n . Умова ідентифікації ділянки траєкторії зображена на рисунку 3.1.

3.2 Помилки положення та орієнтації відносно поточної ділянки траєкторії

Похибка транспортного засобу з поточного сегмента шляху визначається похибкою положення, ε_d і помилкою орієнтації ε_θ . Похибка положення ε_d – це

довжина перпендикуляра від точки p до поточного відрізка шляху. Величина ε_d додатна праворуч від відрізка, а від'ємна – ліворуч від відрізка.

Похибка орієнтації визначається як:

$$\varepsilon_\theta = \theta_k - \theta.$$

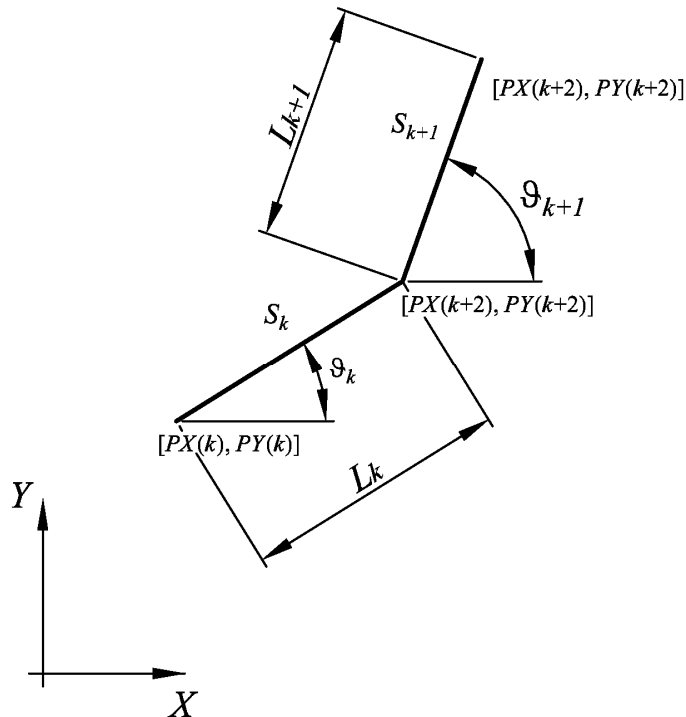


Рисунок 3.1 – Умови ідентифікації ділянки траєкторії

Похибки положення та орієнтації щодо поточної ділянки траєкторії шляху зображені на рисунку 3.2.

До кожного сегмента шляху додається інша система координат, яка називається системою координат із зірочками. Системи координат із зірочками дозволяють розрахувати положення транспортного засобу x - y відносно наступного сегмента шляху.

Орієнтація та положення системи координат із зірочкою показані на рисунку 3.3.

Похибка положення щодо наступного сегмента шляху $\hat{\varepsilon}_d$ визначається як:

$$\hat{\varepsilon}_d = x^* \cos(\theta_{k+1} - \theta_k) - (L_k - y)^* \sin(\theta_{k+1} - \theta_k). \quad (23)$$

Похибка орієнтації щодо наступного сегмента шляху, $\hat{\varepsilon}_\theta$, визначається як:

$$\hat{\varepsilon}_\theta = \theta_{k+1} - \theta. \quad (24)$$

Коли контролери перемикаються з сегмента k на сегмент $k+1$, нова помилка положення дорівнює $\hat{\varepsilon}_d$, а нова помилка орієнтації – $\hat{\varepsilon}_\theta$.

Похибки позиції щодо наступної ділянки траєкторії показано на рис. 3.4.

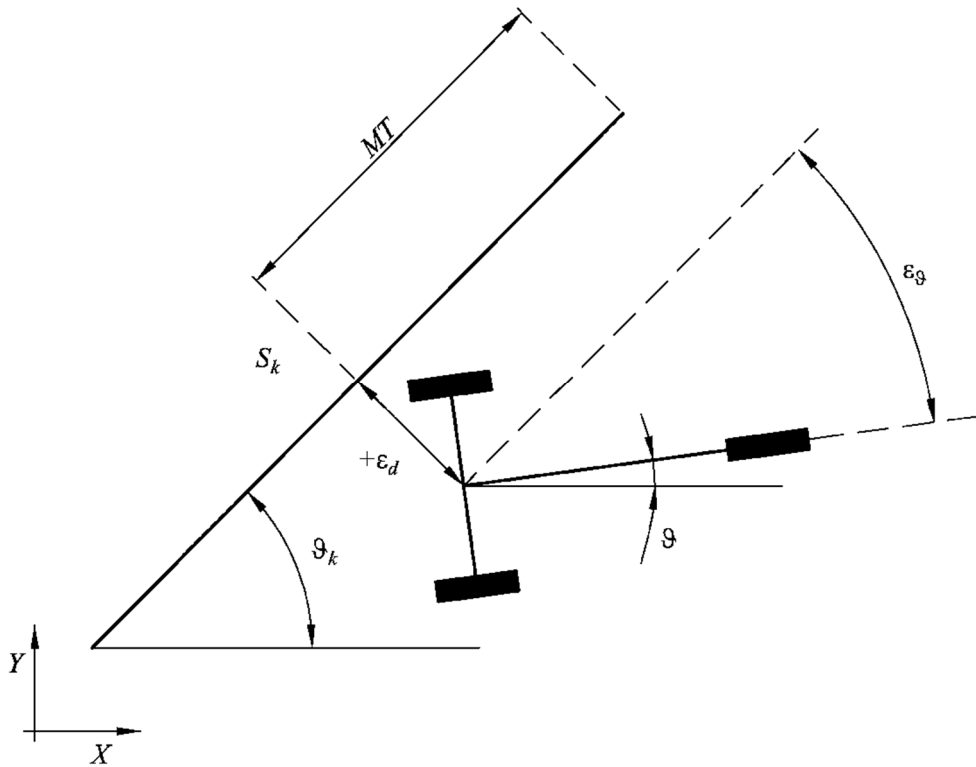


Рисунок 3.2 – Похибки відносно поточної ділянки траєкторії

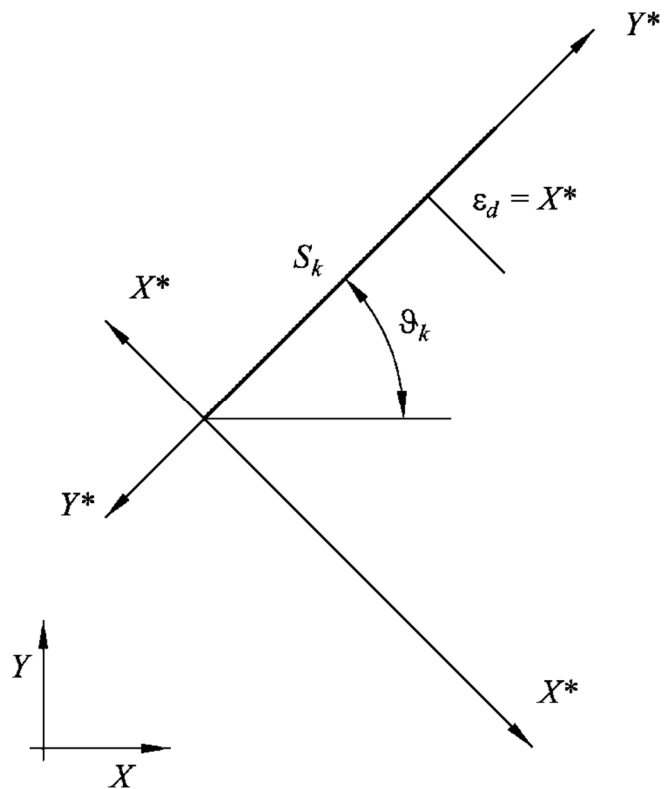


Рисунок 3.3 – Система координат із зірочкою

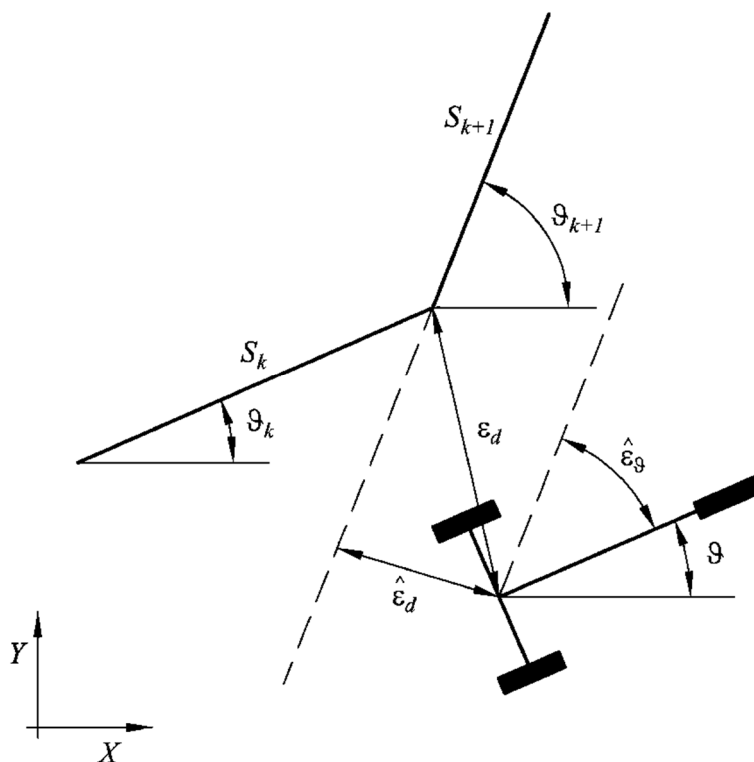


Рисунок 3.4 – Похибки, що належать до наступної ділянки траєкторії

3.3 Визначення x^* і y^* заданих x , y , $PX(k)$, $PY(k)$ і θ

При розрахунку похибки положення транспортного засобу відносно наступного шляху потрібні x^* та y^* . Для обчислення x^* та y^* потрібно знати положення x та y транспортного засобу, а також початкову точку x - y та орієнтацію поточних ділянок траєкторії.

Координати із зірочкою задаються як:

$$x^* = x \sin \theta_k - y \cos \theta_k - PX(x) \sin \theta_k + PY(k) \cos \theta_k, \quad (25)$$

$$y^* = x \cos \theta_k + y \sin \theta_k - PX(x) \cos \theta_k - PY(k) \sin \theta_k. \quad (26)$$

Рівняння 25 і 26 виведені за допомогою стандартних перетворень координат.

4 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

4.1 Розроблення геометричної моделі транспортного засобу

Геометрична модель транспортного засобу зображена на рисунку 4.1.

Визначаються параметри транспортного засобу:

E – відстань між центрами задніх коліс;

L – колісна база;

R_r – радіус задніх коліс;

R_f – радіус переднього колеса;

P – точка, що визначається перетином задньої осі та центральної лінії триколісного ТЗ;

Q – точка, навколо якої обертається орган керування;

θ – кутова орієнтація транспортного засобу, виміряна між фіксованою віссю x і центральною лінією транспортного засобу. θ має завжди позитивне значення в напрямку проти годинникової стрілки за і знаходиться в діапазоні $0 < \theta < 2\pi$;

α – кут повороту органу керування. Кут додатний, коли колесо повертається вліво, і негативний при повороті колеса вправо (якщо дивитися з точки p);

\dot{i}_p – швидкість точки p ;

\dot{i}_Q – швидкість точки Q .

Коли транспортний засіб повертає, він обертається навколо точки O і рухається з радіусом ρ .

Цей радіус визначають за залежністю:

$$\rho = \frac{L}{\tan \alpha}. \quad (27)$$

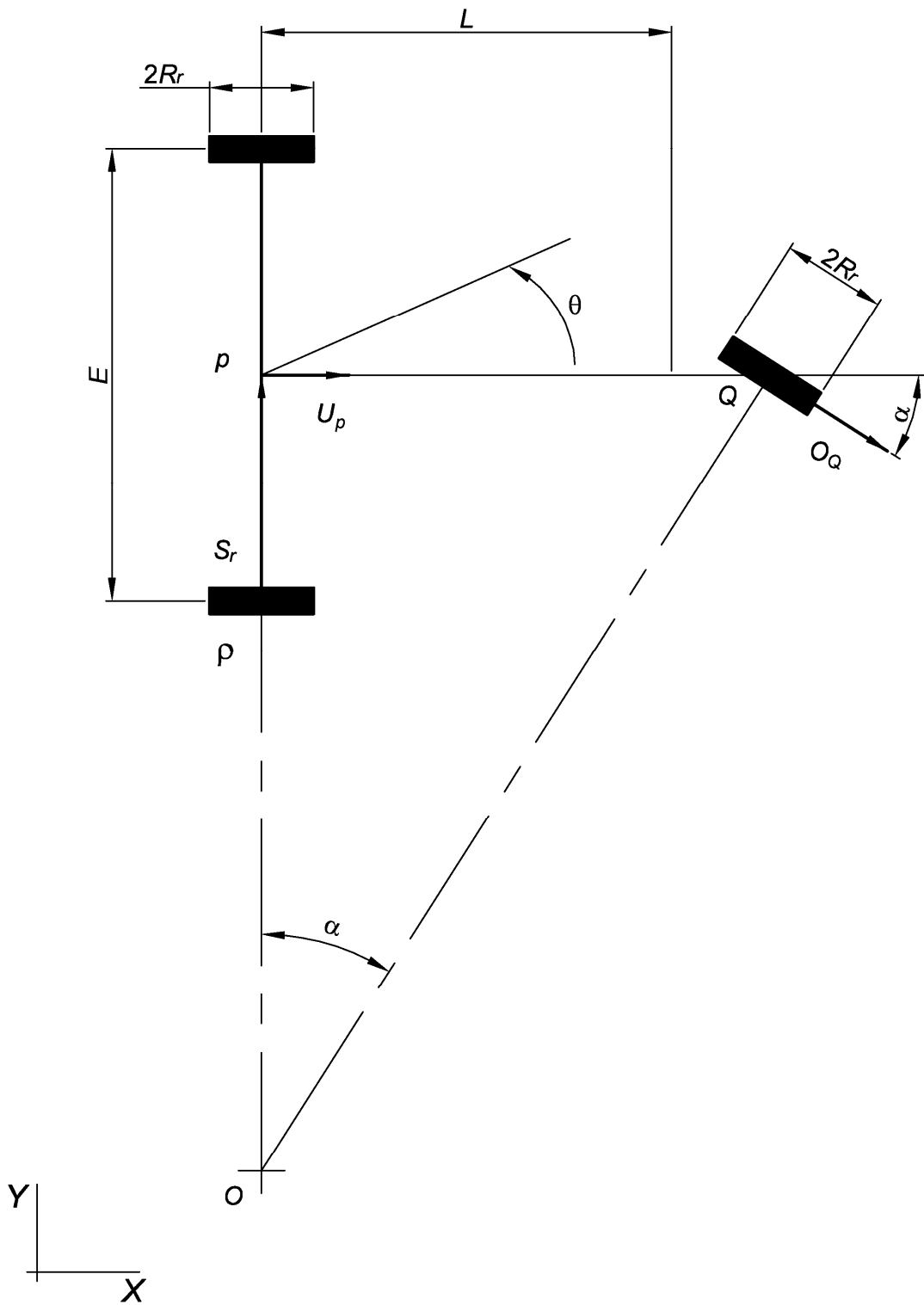


Рисунок 4.1–Геометрична модель транспортного засобу

4.2 Кінематика транспортного засобу

Залежності, які визначають невідомі сили $S_l + S_r, S_f$ і T визначаються за

допомогою рисунка 4.2. Підсумовуючи сили на транспортний засіб у напрямку x з додатним x праворуч, можна записати:

$$T \cos \alpha - S_f \cos \alpha = R_{rl} + R_{rr} + R \cos \beta - C \sin \beta. \quad (28)$$

Підсумовуючи сили, що діють на транспортний засіб у напрямку y з додатним зростанням y , отримаємо:

$$T \sin \alpha + S_f \sin \alpha = R_{rf} \sin \alpha + C \cos \beta - (S_l + S_r). \quad (29)$$

Підсумовуючи моменти навколо точки Q транспортного засобу з додатним напрямком за годинниковою стрілкою, отримаємо:

$$(S_l + S_r) = (1 - a)C \cos \beta + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}). \quad (30)$$

Розв'язування рівняння 28 для $T - S_f$ дає:

$$T - S_f = R_{rf} + \frac{R_{rl} + R_{rr} - C \sin \beta}{\cos \alpha}. \quad (31)$$

Розв'язування рівняння 29 для $T + S_f$ дає:

$$T + S_f = R_{rf} + \frac{a \cos \beta + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl})}{\sin \alpha}. \quad (32)$$

Віднімання рівнянь 31 і 32 дає вираз для бічної сили, яка діє на переднє колесо T :

$$T = R_{rf} + \frac{(R_{rl} + R_{rr}) - C \sin \beta}{2 \cos \alpha} + \frac{a \cos \beta + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl})}{2 \sin \alpha}. \quad (33)$$

$$\sin \beta = \frac{a \tan \alpha}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}}, \quad (34)$$

$$\cos \beta = \frac{1}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}}. \quad (35)$$

Підставляючи рівняння 34 і 35 в рівняння 31, 32 і 33, можна отримати вирази для $S_l + S_r$, T і S_f в термінах α , R_{rf} , R_{rl} , R_{rr} , C , E , a і L :

$$S_l + S_r = \frac{(1-a)C}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} + \frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}), \quad (36)$$

$$T = R_{rf} + \frac{1}{2 \cos \alpha} \left[(R_{rl} + R_{rr}) - \frac{aC \tan \alpha}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} \right] + \frac{1}{2 \sin \alpha} \left[\frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}) + \frac{aC}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} \right]. \quad (37)$$

$$\frac{1}{2 \sin \alpha} \left[\frac{E}{2L}(R_{rr} - R_{rl}) + \frac{aC}{\sqrt{a^2 \tan^2 \alpha + 1}} \right]. \quad (38)$$

Рівняння, що описують $O'CM$ і ψ розробляються за допомогою рис. 4.2.

Із закону синусу:

$$\overline{O'P} = L \frac{\cos(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)}, \quad (39)$$

$$\overline{Q'Q} = L \frac{\cos(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)}. \quad (40)$$

Із закону косинусів:

$$\overline{O'CM}^2 = (1-a)^2 L^2 = 2(1-a) L \overline{AO'Q} \sin(\alpha - \gamma_f). \quad (41)$$

Підставляючи рівняння 39 і 40 в рівняння 41 і розв'язуючи $\overline{O'CM}$, отримуємо:

$$\overline{O'CM} = L \left[(1-a)^2 + \frac{\cos^2 \gamma_p}{\sin^2(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)} - 2(1-a) \frac{\cos \gamma_p \sin(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)} \right]^{1/2}. \quad (42)$$

Знову використавши закон синусів, отримаємо:

$$\frac{\overline{Q'O}}{\sin(180 - \psi)} = \frac{\overline{O'CM}}{\sin(90 - \alpha + \gamma_f)}, \quad (43)$$

$$\frac{\overline{O'Q}}{\sin \psi} = \frac{\overline{O'CM}}{\cos(\alpha - \gamma_f)}. \quad (44)$$

Підставляючи рівняння 40 і 42 в рівняння 44 і розв'язуючи відносно ψ , отримуємо:

$$\psi = \sin^{-1} \left[\frac{\cos \gamma_p \cos(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f) R} \right], \quad (45)$$

де R визначається як

$$R = \left[(1-a)^2 + \frac{\cos^2 \gamma_p}{\sin^2(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)} - 2(1-a) \frac{\cos \gamma_p \sin(\alpha - \gamma_f)}{\sin(\alpha + \gamma_p - \gamma_f)} \right]^{1/2}. \quad (46)$$

Нарешті, рівняння 30, 36 і 37 можна переписати через ψ , використовуючи співвідношення:

$$\beta = 90 - \psi. \quad (47)$$

Рівняння 30, 36 і 37 набудуть вигляду:

$$(S_l + S_r) = (1-a)C \sin \psi + \frac{E}{2L} (R_{rr} - R_{rl}), \quad (48)$$

$$T = R_{rf} + \frac{(R_{rl} + R_{rr}) - \cos \psi}{2 \cos \alpha} + \frac{aC \sin \psi \frac{E}{2L} (R_{rr} - R_{rl})}{2 \sin \alpha}, \quad (49)$$

$$S_f = \frac{aC \sin \psi + \frac{E}{2L} (R_{rr} - R_{rl})}{2 \sin \alpha} - \frac{(R_{rl} - R_{rr}) - \cos \psi}{2 \cos \alpha}. \quad (50)$$

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Виведення рівнянь прямолінійного руху

Рівняння, що регулюють рух АТЗ під час прямолінійного руху, виводяться описом похибки положення транспортного засобу ε_d та похибки орієнтації ε_θ . Невеликі збурення ε_d і ε_θ припускаються.

Припущення невеликих збурень ε_d і ε_θ дозволяє вважати кут повороту α малим. З невеликим:

$$\tan \alpha = \alpha, \quad (51)$$

$$\cos \alpha = 1. \quad (52)$$

Також, оскільки ε_θ вважається приблизно рівним нулю:

$$\sin \varepsilon_\theta = \varepsilon_\theta. \quad (53)$$

Вирази для ε_d та ε_θ визначаються через параметри транспортного засобу та кут повороту колеса α . На рис. 3.2:

$$\dot{\varepsilon}_d = \dot{i}_p \sin \varepsilon_\theta, \quad (54)$$

або оскільки ε_θ мале,

$$\dot{\varepsilon}_d = \dot{i}_p \varepsilon_\theta, \quad (55)$$

Оскільки \dot{i}_p вважається константою для контролера прямолінійного руху, друга похідна ε_d записується:

$$\ddot{\varepsilon}_d = \dot{i}_p \dot{\varepsilon}_\theta. \quad (56)$$

Використовуючи співвідношення між лінійною та кутовою швидкістю транспортного засобу, радіус повороту транспортного засобу записують:

$$\rho = \frac{\dot{u}_p}{\dot{\theta}}. \quad (57)$$

Використовуючи вираз для ρ , розроблений в конструкторській частині, рівняння 57 можна записати:

$$\rho = \frac{\dot{u}_p}{\dot{\theta}} = \frac{L}{\tan \alpha}. \quad (58)$$

Оскільки α малий:

$$\dot{\theta} = \frac{\dot{u}_p}{L} \alpha. \quad (59)$$

Далі, θ можна пов'язати з ε_θ , взявши похідну за часом від ε_θ :

$$\dot{\varepsilon}_\theta = \frac{d}{dt}(\theta_k - \theta) = -\dot{\theta}. \quad (60)$$

Підставляємо рівняння 60 в рівняння 56:

$$\ddot{\varepsilon} = -\frac{\dot{u}_p^2}{L} \alpha. \quad (61)$$

Використовуючи перетворення Лапласа з рівняннями 60 і 61, передаточні функції між $\varepsilon_d(s)$, $\alpha(s)$, $\varepsilon_\theta(s)$ та $\alpha(s)$ можна записати:

$$\frac{\varepsilon_d(s)}{\alpha(s)} = -\frac{u_p^2}{Ls^2} = G_1(s), \quad (62)$$

$$\frac{\varepsilon_{\theta}(s)}{\alpha(s)} = -\frac{\dot{u}_p}{Ls} = G_2(s). \quad (63)$$

Диференціальне рівняння третього порядку, яке описує рух транспортного засобу під час прямолінійного руху, виведено з використанням рівняння 64:

$$\frac{\alpha(s)}{C_{\alpha}(s)} = \frac{1}{1 + \tau s}, \quad (64)$$

і рівняння 65

$$C_{\alpha}(s) = k_1(\varepsilon_d(s)^{set} - \varepsilon_d(s)) + k_2(\varepsilon_{\theta}(s)^{set} - \varepsilon_{\theta}(s)). \quad (65)$$

Приймаємо, що значення в заданих точках дорівнюють нулю. Підставляючи рівняння 65 в рівняння 64, отримаємо:

$$C_{\alpha}(t) = \alpha(t) + \frac{d\alpha(t)}{dt} = k_1\varepsilon_d(t) + k_2\varepsilon_{\theta}(t). \quad (66)$$

Використовуючи рівняння 64,

записують вирази для $\alpha(t)$ і $\frac{d\alpha(t)}{dt}$:

$$\alpha(t) = -\frac{L}{\dot{u}_p^2} \ddot{\varepsilon}_{d(t)}, \quad (67)$$

$$\frac{d\alpha(t)}{dt} = -\frac{L}{\dot{u}_p^2} \dddot{\varepsilon}_{d(t)}. \quad (68)$$

Підставляючи рівняння 66, 67 і 68 в 66, отримаємо диференціальне рівняння третього порядку:

$$\ddot{\varepsilon}_{d(t)} + \frac{1}{\tau} \ddot{\varepsilon}_{d(t)} + \frac{k_2 \dot{u}_p}{\tau L} \dot{\varepsilon}_{d(t)} + \frac{k_2 \dot{u}_p}{\tau L} \varepsilon_{d(t)} = 0. \quad (69)$$

Визначення $D1$, $D2$ і $D3$ в рівнянні 71 використовується для визначення положення транспортного засобу в момент, коли $p = 0$. Похибка початкового положення встановлюється через $D1$, початкова помилка орієнтації встановлюється через $D2$ і рівняння 55, а початковий кут рульового колеса встановлюється через $D3$ за допомогою рівняння 61.

При визначенні знака $D2$, слід прагнути до того, щоб початкова швидкість ТЗ була коректною щодо поточної ділянки траєкторії.

Рівняння третього порядку моделюється за допомогою системи з трьох рівнянь першого порядку.

$$\begin{aligned}\varepsilon_{d(t)} &= D1, \\ \dot{\varepsilon}_{d(t)} &= D2 = \dot{D}1, \\ \ddot{\varepsilon}_{d(t)} &= D3 = \dot{D}2, \\ \dddot{\varepsilon}_{d(t)} &= D4 = \dot{D}3.\end{aligned}\tag{70}$$

Три рівняння першого порядку:

$$\begin{aligned}\dot{D}1 &= D2, \\ \dot{D}2 &= D3, \\ D3 &= \frac{1}{\tau} D3 - \frac{k_2 \dot{u}_p}{\tau L} D2 - \frac{k_1 \dot{u}_p^2}{\tau L} D1.\end{aligned}\tag{71}$$

5.2 Розрахунок кореневого контуру

Аналіз кореневого контуру використовується для теоретичного визначення значень підсилення k_1 і k_2 . Аналіз корневих контурів відрізняється від традиційного аналізу тим, що змінюється більше ніж одне значення підсилення. Аналіз, представлений тут, визначає значення підсилення для системи, яка підлягає критичному затуханню.

Фактичні значення підсилення були визначені шляхом моделювання. Моделювання створило пряму траєкторію транспортного засобу відповідно до рівняння 71. Приріст k_1 і k_2 змінювався доти, поки не було утворено бажану траєкторію. Теоретичні значення підсилення були використані як початкові значення в моделюванні.

Перетворення блок-схеми на рисунку 2.1 створює зв'язок між $\varepsilon_{d(s)}$, $\varepsilon_d^{set}(s)$ і $\varepsilon_\theta^{set}(s)$:

$$\varepsilon_{d(s)} = \frac{G_{v(s)} C_{1(s)} k_1}{1 + G_{v(s)} (k_1 G_{1(s)} + k_2 G_{2(s)})} \varepsilon_d^{set}(s) + \frac{G_{v(s)} G_{1(s)} k_2}{1 + G_{v(s)} (k_1 G_{1(s)} + k_2 G_{2(s)})} \varepsilon_\theta^{set}(s). \quad (72)$$

Якщо $\varepsilon_d^{set}(s)$ і $\varepsilon_\theta^{set}(s)$ встановлено рівними нулю і використовується часова область, рівняння 72 стає рівнянням 69.

Характеристичне рівняння системи третього порядку із замкнутим циклом:

$$1 + G_{v(s)} (k_1 G_{1(s)} + k_2 G_{2(s)}). \quad (73)$$

Підставляючи $G_{v(s)}$, $G_{1(s)}$, $G_{2(s)}$, одержимо:

$$1 + \frac{\frac{k_2 \dot{u}_p}{L\tau} \left(s + \frac{k_1 \dot{u}_p}{k_2} \right)}{s^2 \left(s + \frac{1}{\tau} \right)} = 0. \quad (74)$$

Місце рівняння 74 показано на рисунку 5.1. Точна форма траєкторії визначається значеннями k_1 і k_2 .

Аналіз кореневих контурів намагається апроксимувати систему третього порядку як систему другого порядку і визначити значення k_1 і k_2 . таким чином, що система критично загасає ($\xi = 1$).

Етапи аналізу траєкторії.

1. Встановити $k_1 = 0$ в характеристичному рівнянні замкнутого контуру і змінювати k_2 . Зобразити відповідне місце положення.
2. Якщо k_2 встановлено з кроку (1), k_1 змінюється в замкнутому циклі. Зобразити відповідне місце. Полюси розімкнутої петлі другого положення є коренями замкнутої петлі першого положення.
3. Розташувати полюси другого положення для отримання критичного демпфування. Визначити значення k_1 і k_2 .

Крок (1) змінює рівняння 74 на:

$$1 + \frac{\frac{k_2 \dot{u}_p}{\tau L}}{s \left(s + \frac{1}{\tau} \right)} = 0, \quad (75)$$

з траєкторією, зображеною на рисунку 5.2.

Крок (2) змінює рівняння 74:

$$1 + \frac{\frac{k_1 \dot{u}_p^2}{\tau L}}{s \left(s^2 + \frac{1}{\tau} s + \frac{k_2 \dot{u}_p}{\tau L} \right)} = 0, \quad (76)$$

з траєкторією, зображеною на рисунку 5.3.

Початок траєкторії на рисунку 5.3 визначається як k_2 або величиною в дужках у рівнянні 76.

Крайні точки першої ділянки траєкторії зафіксовані в точці відриву:

$$s = -\frac{1}{2\tau}. \quad (77)$$

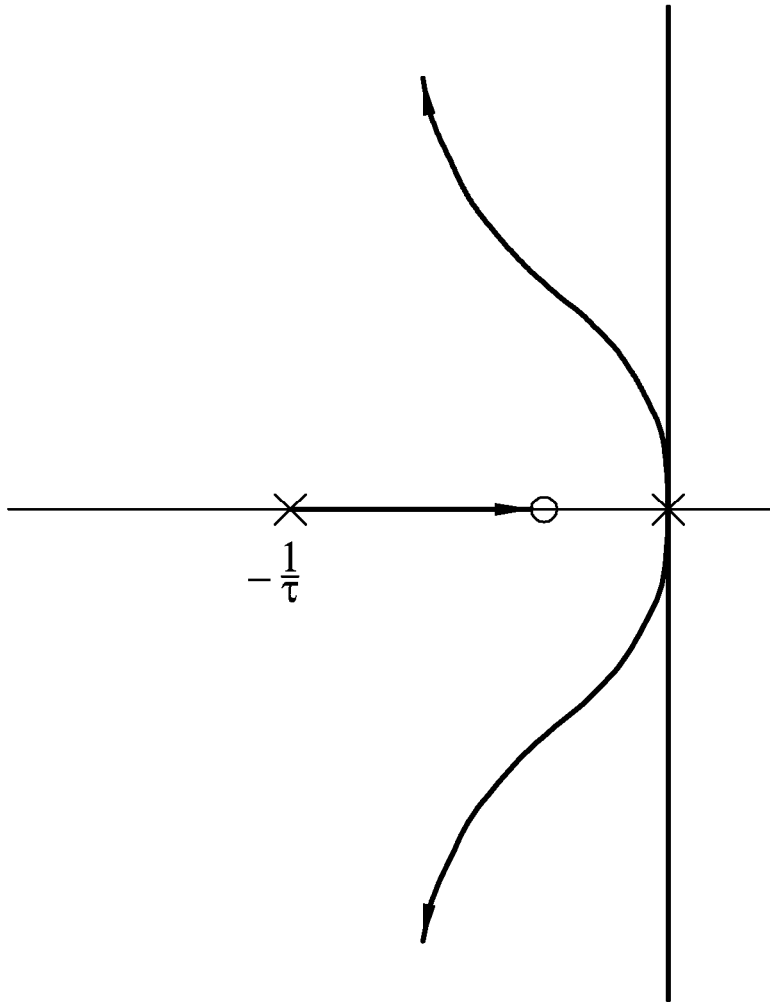


Рисунок 5.1 – Основне положення характеристичного рівняння

Величину k_2 можна описати як:

$$k_2 = \frac{L}{4\tau i_p}. \quad (78)$$

Друге положення тепер починається в точці відриву і є дійсним числом без уявних частин, значення k_1 визначається з 76, коли значення s відоме в точці розриву.

Значення s визначається тим, що:

$$\frac{dk_1}{ds} = 0, \quad (79)$$

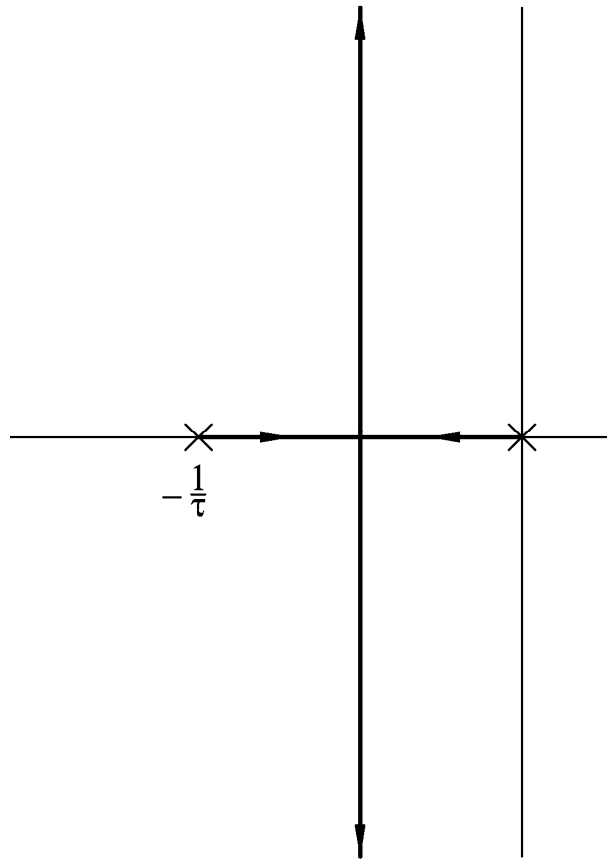


Рисунок 5.2 – Кореневе місце з k_1 , рівним нулю

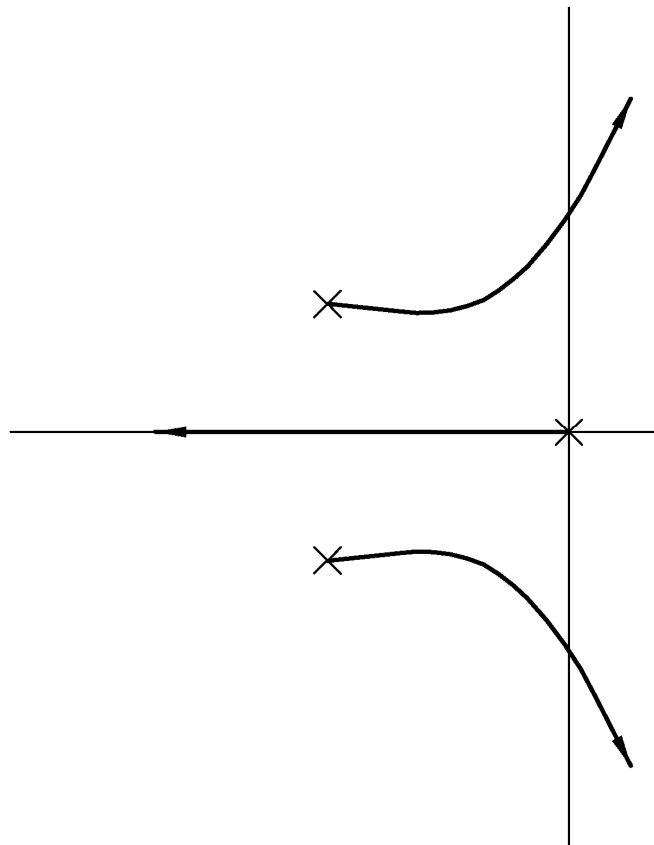


Рисунок 5.3 – Кореневе місце з k_1 , що змінюється в точці відриву

Використовуючи квадратне рівняння, значення s на розриві дорівнює:

$$s = \frac{1}{6\tau}. \quad (80)$$

Підставляючи рівняння 80 в рівняння 76, одержимо:

$$k_1 = \frac{0,0815L}{\dot{i}_p^2 \tau^2}. \quad (81)$$

Вирази для k_1 і k_2 створюють критично затухаючу систему.

Розглянемо наслідки зміни значень підсилення k_1 і k_2 . Оскільки k_2 збільшується на значення k_2 , знайдене в точці відриву, другий локус починається з більшого комплексного значення кореня. Ефект збільшення k_2 полягає в меншому демпфуванні, більшому перерегулюванні та зменшенні часу наростання.

Зі збільшенням k_1 корені другого геометричного місця рухаються все більше і більше до правої півплощини і в кінцевому підсумку перетинають уявну вісь. Занадто велике значення k_1 спричинить нестабільну реакцію, і транспортний засіб буде відхилятися від заданого відрізка прямої лінії.

5.3 Виведення основних рівнянь

Рівняння, що керують поворотом, отримані з рисунка 4.1. Лінійна швидкість точки p записується через радіус повороту транспортного засобу та швидкість обертання θ :

$$\dot{i}_p = \overline{O'P}\theta. \quad (82)$$

Радіальну довжину \overline{OP} записують через α і L :

$$\overline{OP} = \frac{L}{\tan \alpha}. \quad (83)$$

Швидкість точки p знову записується через α та \dot{u}_Q :

$$\dot{u}_p = \dot{u}_Q \cos \alpha. \quad (84)$$

Розв'язавши рівняння 82 для θ і замінивши рівняння 83 і 84, отримаємо:

$$\frac{d\theta}{dt} = \frac{\dot{u}_Q}{L} \sin \alpha. \quad (85)$$

Рівняння швидкості x та y записуються через \dot{u}_p та θ :

$$\frac{dx}{dt} = \dot{u}_p \cos \theta, \quad (86)$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{u}_p \sin \theta. \quad (87)$$

Підставляючи рівняння 84 в рівняння 86 і 87, отримуємо:

$$\frac{dx}{dt} = \dot{u}_Q \cos \alpha \cos \theta, \quad (88)$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{u}_Q \cos \alpha \sin \theta. \quad (89)$$

5.4 Визначення кута повороту рульового пристрою

Виведення рівнянь для ANG і TT розроблено на рисунку 5.5. На рисунку показано, як транспортний засіб в'їжджає в загальний поворот з деякими початковими значеннями ε_d та ε_θ .

Кут рульового колеса АТЗ ANG визначається як:

$$ANG = \tan^{-1} \frac{L}{\rho}. \quad (90)$$

Запишемо вирази для ρ :

$$\rho = \frac{\overline{O'P}}{\cos \hat{\varepsilon}_\theta}, \quad (91)$$

і довжини $\overline{M'N'}$:

$$\overline{M'N'} = \rho - \overline{O'P}. \quad (92)$$

Розв'язуючи рівняння 91 для $\overline{O'P}$ і підставляючи його в формулу 92, можна отримати вираз для ρ через $\overline{M'N'}$ і $\hat{\varepsilon}_\theta$:

$$\rho = \frac{\overline{M'N'}}{(1 - \cos \hat{\varepsilon}_\theta)}. \quad (93)$$

Величину $\overline{M'N'}$ можна переписати через $\hat{\varepsilon}_d$, а відстань, пройдену перпендикулярно наступному відрітку шляху за час τ_D :

$$\overline{M'N'} = \hat{\varepsilon}_d - \dot{u}_p \tau_D \sin \hat{\varepsilon}_\theta. \quad (94)$$

Підставляючи рівняння 94 в рівняння 92, і підставляючи отримане рівняння в рівняння 90, отримаємо:

$$ANG = \tan^{-1} \left[\frac{L(1 - \cos \hat{\varepsilon}_\theta)}{\hat{\varepsilon}_d - \dot{u}_p \tau_D \sin \hat{\varepsilon}_\theta} \right]. \quad (95)$$

Рівняння для ТТ розробляється виходячи з припущення, що час, необхідний для точки ρ , щоб пройти поворот, є відстанню довжини дуги, поділений на швидкість точки ρ . Відстань довжини дуги визначається як

$$ARC \text{ LENGHT} = \rho \hat{\varepsilon}_\theta. \quad (96)$$

5.6 Розробка моделі рульового керування

Модель рульового керування описує кут повороту рульового колеса α як лінійну функцію часу. Під час повороту рульове колесо повертається на кут ANG , утримується незмінним і повертається до нуля. Діаграма α як функції часу наведена на рисунку 5.6.

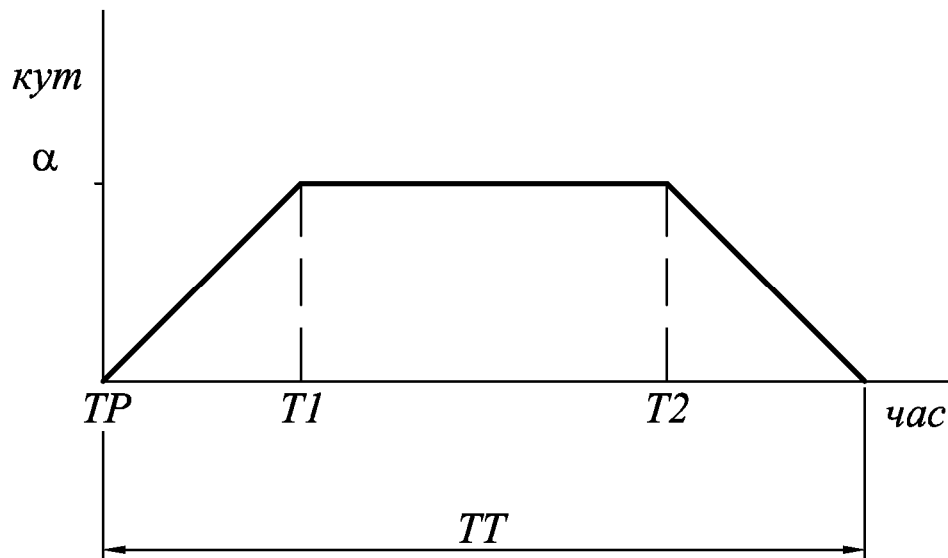


Рисунок 5.6 – Модель рульового управління

Час TP – це час, коли транспортний засіб починає повертати. Час T_1 – це час, коли рульовий механізм досяг ANG . Час T_2 – це час, коли рульовий механізм починає повертатися до нуля, і визначається як:

$$T_2 = TT - T_1. \quad (99)$$

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1.1 Аналіз потенційних небезпек

Основними потенційними небезпеками при проведенні робіт в офісі є такі:

- небезпека ураження електричним струмом, внаслідок недотримання правил електробезпеки або виходу з ладу електроприладів;
- порушення роботи кістково-м'язового апарату внаслідок тривалих статичних навантажень при роботі з ПК.
- нервово-психічні перевантаження внаслідок постійного контакту з клієнтами, колегами по роботі, керівництвом при вирішенні робочих питань, які можуть носити конфліктний характер і призвести до емоційного дискомфорту, внутрішнього роздратування, емоційної нестабільності та захворювань нервової системи;
- незадовільні ергономічні характеристики робочого місця внаслідок нераціонального планування робочого місця, що може призвести до механічних травм, уражень електричним струмом та порушень кістково-м'язового апарату;
- негативний вплив недостатнього освітлення робочої зони на зір та продуктивність роботи працюючого, внаслідок несправності освітлювальних приладів або неправильного проектування освітлювальної системи;
- негативний вплив незадовільних параметрів повітряного середовища робочої зони на здоров'я працюючого, внаслідок неправильного проектування системи вентиляції або її несправності;
- негативний вплив підвищеного рівня шуму на психоемоційний стан працюючого, який пов'язаний з використанням застарілої периферійної техніки, кондиціонерів, копіювальної техніки, освітлювальних приладів;

- небезпека загоряння у зв'язку із несправністю електричного обладнання, недотримання, або порушення правил протипожежної безпеки обслуговуючим персоналом, що може призвести до пожежі.
- неправильні дії персоналу у надзвичайних ситуаціях.

6.1.2 Заходи щодо забезпечення безпеки

Приміщення офісу, в яких перебувають співробітники, належать до приміщень без підвищеної небезпеки ураження електричним струмом.

Обладнання, що використовується в цих приміщеннях є споживачем електроенергії, що живиться від змінного струму 220 В від мережі з заземленою нейтраллю, та відноситься до електроустановок до 1000 В закритого виконання.

За способом захисту людини від ураження електричним струмом відповідає згідно з ГОСТ 12.2.007.0-75* (2001) «ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности» І (стаціонарні комп'ютери,) та ІІ (освітлювальні прилади, кондиціонери, опалювальні пристрої, ноутбуки, сканери) класу захисту.

Згідно «Правилам улаштування електроустановок» (далі «ПУЕ») виконані такі групи заходів з електробезпеки.

Конструктивні заходи забезпечують захист від випадкового дотику до струмопровідних частин за допомогою їх ізоляції та захисних оболонок. Згідно з ГОСТ 12.1.009-76 (1999) «ССБТ. Электробезопасность. Термины и определения» у приладах ІІ класу захисту використовується подвійна ізоляція - електрична ізоляція, що складається з робочої і додаткової ізоляції.

Так як згідно з НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила устройства электроустановок. Электрооборудование специальных установок» офісні приміщення у більшості своїй належать до класу пожеженебезпечної зони ІІ-ІІа (приміщення, в яких містяться тверді горючі речовини), тому передбачений ступінь захисту ізоляції обладнання IP44.

Схемно-конструктивні заходи

Призначені для забезпечення захисту від ураження електричним струмом при дотику до металевих оболонок, які можуть опинитися під напругою в результаті аварій.

Згідно з ГОСТ 12.1.030-81 (2001) «ССБТ. Электробезопасность. Защитное заземление, зануление» у приміщеннях галузі управління персоналом влаштовується занулення.

Організаційні заходи.

Експлуатація електроустановок і електроустаткування проводиться відповідно до НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі «ПБЕЕ») та НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі «ПБЕЕС»).

Для запобігання статистичного навантаження при користуванні ПК рекомендовано використовувати перерви в роботі 10 хв. через кожні дві години. Синдром зап'ястного каналу, або тунельний синдром зап'ястя, трапляється у людей внаслідок тривалої роботи з мишею: постійні напруга і здавлювання приводить до мікротравм, здавлювання нерва прилеглими оточуючими тканинами, через що виникає набряк.

Щоб тунельний синдром не турбував, потрібно дотримуватися кількох правил організації робочого місця:

- оптимальна висота клавіатури від підлоги – 65-75 см;
- наявність ергономічних і зручних особисто для вас миші і клавіатури;
- можливість регулювання висоти і нахилу клавіатури (відстань від поверхні стола до середини клавіатури – не більше 30 мм, кут підйому клавіатури – від 2° до 15°);
- наявність у клавіатури підставки для рук;
- наявність килимка для миші з захистом від тунельного синдрому (спеціальний виступ забезпечує правильне положення кисті);
- наявність стільця або крісла з підлокітниками.

При роботі з мишкою і клавіатурою також слід дотримуватися певних правил. При наборі тексту рука повинна бути зігнута в лікті під прямим кутом (90°), а при роботі з мишкою стежте, щоб кисть була прямою і лежала на столі якнайдалі від краю. До речі, час роботи з комп'ютером слід обмежити до дійсно необхідного.

Щоб попередити тунельний синдром потрібно робити спеціальні вправи для кистей – чим частіше, тим краще. Ці вправи допоможуть поліпшити кровообігу в м'язах і розтягнути їх. Комплекс вправ потрібно повторювати приблизно кожні 45 хвилин, тривалість однієї вправи – 1-2 хв.

Нервові напруження впливає на серцево-судинну систему, збільшуючи артеріальний тиск і частоту пульсу, а також на терморегуляцію організму та емоційні стани працівника. Особливу роль у запобіганні втоми працівників відіграють професійний відбір, організація робочого місця, правильне робоче положення, ритм роботи, раціоналізація трудового процесу, використання емоційних стимулів, впровадження раціональних режимів праці і відпочинку тощо. Боротьба зі втомою, в першу чергу, зводиться до покращення санітарно-гігієнічних умов виробничого середовища (ліквідація забруднення повітря, шуму, вібрації, нормалізація мікроклімату, раціональне освітлення тощо).

Крім того, для профілактики втоми працівників застосовуються специфічні методи, до яких можна віднести засоби відновлення функціонального стану зорового та опорно-рухового апарату, зменшення гіподинамії, підсилення мозкового кровообігу, оптимізацію розумової діяльності.

Загальні ергономічні вимоги встановлено ДСТУ ISO 9241-1:2003 «Ергономічні вимоги до роботи з відеотерміналами в офісі. Частина 1. Загальні положення». Організація робочого місця передбачає: правильне розміщення робочого місця у виробничому приміщенні; вибір ергономічно обґрунтованого робочого положення, виробничих меблів з урахуванням антропометричних характеристик людини; раціональне компонування обладнання на робочих місцях; врахування характеру та особливостей трудової діяльності.

В результаті технічного переоснащення, що базується на впровадженні інформаційних технологій у приміщенні, що знаходиться на другому поверсі

виробничого корпусу заплановано встановити комп'ютери. Визначимо скільки комп'ютеризованих робочих місць, оснащених відеодисплейними терміналами (ВДТ) можна встановити у даному приміщенні і як їх розташувати відповідно до встановлених норм та правил з охорони праці. Розміри приміщення: довжина $a = 5,1$ м, ширина $b = 4,1$ м, висота $h = 2,5$ м.

Перш за все необхідно проаналізувати чи підходить дане приміщення для того, щоб розмістити в ньому комп'ютеризовані робочі місця.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» є неприпустимим розташування приміщень, призначених для роботи з ВДТ у підвалах та цокольних поверхах.

Також забороняється розташування вибухонебезпечних приміщень категорії А і Б (НАПБ Б.03.002-2007 «Нормы определения категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной безопасности») та виробництв з мокрими технологічними процесами поряд з приміщенням, де розташовуються ЕОМ (ПЕОМ), а також над такими приміщеннями, або під ними.

Окрім того, виробничі приміщення для роботи з ВДТ не повинні межувати з приміщеннями, у яких рівень шуму і вібрації перевищує допустимі значення.

Вибране приміщення відповідає вищезазначеним вимогам, тому переходимо до наступного етапу, а саме, до визначення кількості комп'ютеризованих робочих місць, що можна розмістити в даному приміщенні. Оскільки площа приміщення становить $S_{пр} = 20,91$ м², а площа, на якій розташовується одне робоче місце з ВДТ, відповідно до вимог ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» повинна становити не менше $6,0$ м², то в даному приміщенні можна розмістити щонайбільше три комп'ютеризованих робочих місця. Такої кількості достатньо для технічного переоснащення виробництва.

Перевіримо, чи відповідає це число нормативу щодо мінімального об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ, відповідно до вимог ДСанПіН

3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» ($V_{P.M.Min} = 20 \text{ м}^3$).

Об'єм приміщення становить $52,275 \text{ м}^3$, а об'єм, що припадає на одне комп'ютеризоване робоче місце – $V_{P.M.} = 17,425 \text{ м}^3$. Таким чином норматив щодо об'єму приміщення на одне робоче місце з ВДТ не виконується. Тому розміщаємо в даному приміщенні щонайбільше два комп'ютеризованих робочих місця.

Планування розміщення комп'ютеризованих робочих місць у приміщенні проводимо із врахуванням таких вимог:

- робочі місця з ВДТ розміщуються на відстані не менше 1 м від стіни зі світловими прорізами;
- відстань між бічними поверхнями ВДТ має бути не менше за 1,2 м;
- відстань між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не повинна бути меншою за 2,5 м;
- прохід між рядами робочих місць має бути не меншим 1 м.

Необхідно також врахувати розміри меблів на комп'ютеризованих робочих місцях, зокрема робочого столу.

Відповідно до НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила охорони праці під час експлуатації електронно-обчислювальних машин» рекомендовані розміри столу для робочого місця з ВДТ становлять: висота – 725 мм, ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм. Приймаємо, що робочий стіл має такі розміри: ширина – 1200 мм, глибина – 800 мм.

Найкраще розмістити комп'ютеризовані робочі місця рядами вздовж стіни з вікнами. Це дасть змогу унеможливити дзеркальне відбиття на екрані ВДТ джерел природного світла (вікон) та потрапляння останніх у поле зору операторів, що погіршує умови їх зорової роботи.

На рис. 6.1 наведено план приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями.

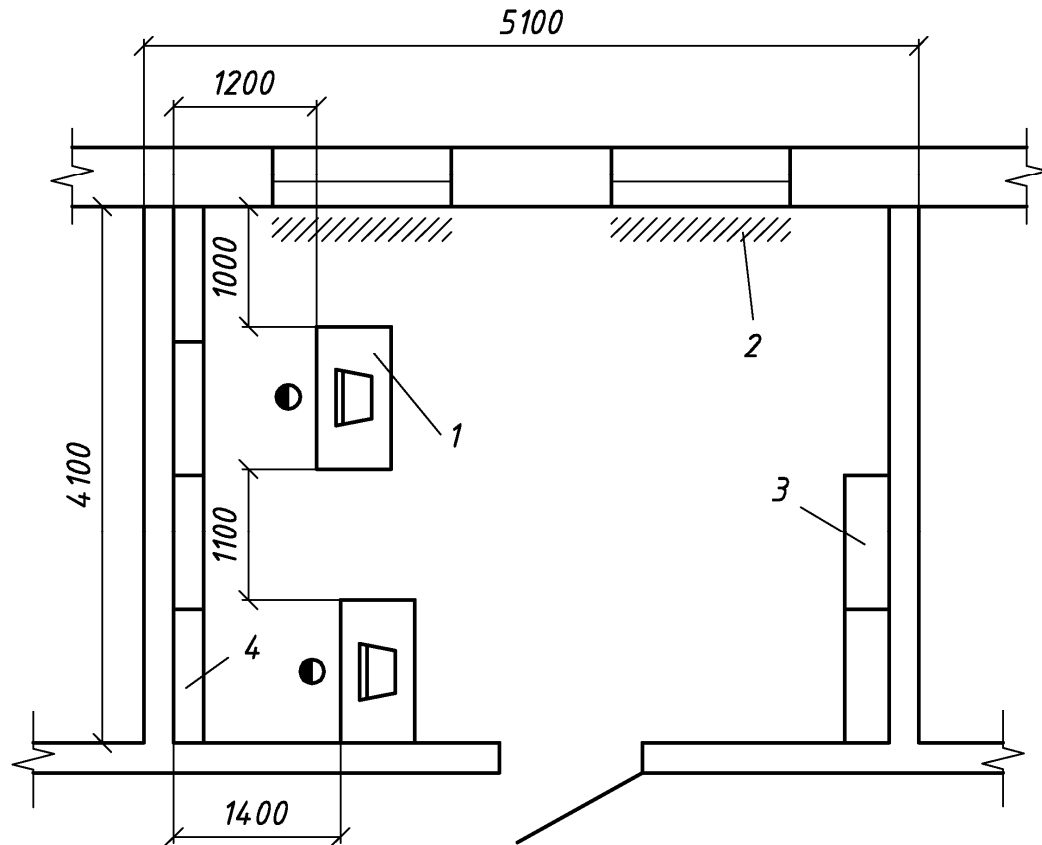


Рисунок 6.1 – План приміщення з комп'ютеризованими робочими місцями:
 1 – комп'ютеризоване робоче місце з ВДТ; 2 – сонцезахисні жалюзі; 3 – шафи для зберігання дисків та програмного забезпечення; 4 – шафи для зберігання документації та фахової літератури.

6.3 Заходи щодо виробничої санітарії та гігієни праці

Згідно ДБН В.2.5-28-2006 «Інженерне обладнання будинків і споруд. Природне і штучне освітлення» в офісних приміщеннях використовується природне та штучне освітлення. Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, використовуються сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі або штори. Штучне освітлення в приміщенні здійснено системою загального рівномірного освітлення. Значення освітленості на поверхні робочого столу в зоні розміщення

документів становить 300-500 лк. Як джерела штучного освітлення в приміщенні застосовуються люмінесцентні лампи типу ЛБ.

Показники мікроклімату в офісних приміщеннях відповідають встановленим санітарно-гігієнічним вимогам ДСН 3.3.6-042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень», ГОСТ 12.1.005-88 (1991) «ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны» і ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень».

Роботи в приміщеннях обслуговування туристів, належать до категорії Іб – легка робота, тому встановлені такі оптимальні значення параметрів мікроклімату:

- у холодний період року: температура 21-23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;
- у теплий період року: температура 22-24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

Оптимальні рівні позитивних (n+) і негативних (n-) іонів у повітрі приміщення з ПК нормовані згідно ГН 2152-80 «Санітарно-гігієнічні норми допустимих рівнів іонізації повітря виробничих та громадських приміщень» і становлять: n+=1500-30000 (шт. на 1см³); n- = 3000-5000 (шт. на 1см³).

Підтримка оптимального рівня легких позитивних і негативних аероіонів у повітрі на робочих місцях забезпечено за допомогою біполярних коронних аероіонізаторів.

Дотримання вимог цих документів досягається оснащенням приміщень і транспортних засобів пристроями кондиціонування і вентиляції, дезодорації повітря, опалювання згідно вимог ДБН В.2.5-67:2013 «Опалення, вентиляція та кондиціонування».

Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях у приміщення нормуються згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДСН

3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку».

Зниження рівня шуму в приміщенні здійснено за допомогою:

- використання більш сучасного обладнання;
- розташування принтерів та різноманітного устаткування
- колективного користування на значній відстані від більшості робочих місць працівників;
- переведення жорсткого диска в режим сну (Standby), якщо комп'ютер не працює протягом визначеного часу;
- використання блоків живлення ПК з вентиляторами на гумових підвісках.

6.2 БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.2.1 Організація життєзабезпечення населення у надзвичайних ситуаціях

Згідно із чинним законодавством громадяни України мають право на захист свого життя і здоров'я від наслідків аварій, катастроф, значних пожеж, стихійного лиха і вимагати від Уряду України, інших органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій незалежно від форм власності і господарювання гарантій щодо його реалізації.

Держава як гарант цього права створює систему цивільної оборони, ставить за мету захист населення від небезпечних наслідків аварій і катастроф техногенного, екологічного, природного та воєнного характеру.

Головною функцією органів державної виконавчої влади, адміністрацій підприємств, установ і організацій, незалежно від форм власності та господарювання, у разі виникнення НС, є захист населення та організація його життєзабезпечення.

Заходи щодо захисту населення плануються та проводяться по всіх районах, населених пунктах, охоплюють усе населення. У той же час характер та зміст захисних засобів встановлюється залежно від ступеня загрози, місцевих умов із урахуванням важливості виробництва для безпеки населення, інших економічних та соціальних чинників. З цією метою міста розподіляються за групами важливості, а об'єкти – за категоріями стосовно засобів захисту населення у разі надзвичайної ситуації. Цей розподіл здійснює Кабінет Міністрів України.

Для міст встановлені такі групи: особливої важливості; першої групи; другої групи; третьої групи. Для підприємств та організацій встановлені наступні категорії: особливої важливості; першої категорії; другої категорії.

Основні заходи щодо захисту населення плануються та здійснюються завчасно і мають випереджувальний характер. Це стосується, перш за все, підготовки, підтримання у постійній готовності індивідуальних та колективних

засобів захисту, їх накопичення, а також підготовки до проведення евакуації населення із зон підвищеного ризику.

Організація життєзабезпечення населення в умовах надзвичайних ситуацій є комплексом заходів, спрямованих на створення і підтримання нормальних умов життя, здоров'я і працездатності людей. Він включає: управління діяльністю робітників та службовців, усього населення при загрозі та виникненні надзвичайних ситуацій; захист населення та територій від наслідків аварій, катастроф, стихійного лиха; забезпечення населення питною водою, продовольчими товарами і предметами першої необхідності; захист продовольства, харчової сировини, фуражу, вододжерел від радіаційного, хімічного та біологічного зараження (забруднення); житлове забезпечення і працевлаштування; комунально-побутове обслуговування; медичне обслуговування; навчання населення способам захисту і діям в умовах надзвичайних ситуацій; розробку і своєчасне введення режимів діяльності в умовах радіаційного, хімічного та біологічного зараження; санітарну обробку; знезараження території, споруд, транспортних засобів, обладнання, сировини, матеріалів і готової продукції; підготовку сил та засобів і ведення рятувальних і інших невідкладних робіт у районах лиха й осередках ураження; забезпечення населення інформацією про характер і рівень небезпеки, порядок поведінки; морально-психологічну підготовку і заходи щодо підтримування високої психологічної стійкості людей в екстремальних умовах; заходи, спрямовані на попередження, запобігання або послаблення несприятливих для людей екологічних наслідків надзвичайних ситуацій та інші заходи.

Усі ці заходи організовуються державною виконавчою владою, органами управління цивільної оборони при чіткому погодженні між ними заходів, що проводяться. Керівники підприємств, установ і організацій є безпосередніми виконавцями цих заходів. Заходи розробляються завчасно, відображаються у планах цивільної оборони і виконуються в період загрози та після виникнення надзвичайної ситуації.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ЩОДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

В кваліфікаційній роботі виконано дослідження та розроблення математичної моделі та алгоритму роботи контролера, необхідних для керування автоматизованим керованим транспортним засобом (АТЗ).

Виведено рівняння, які описують орієнтацію транспортного засобу на послідовний ряд прямих відрізків. Представлено окремі моделі контролера прямої лінії, контролера повороту та повного контролера.

Моделюючі обчислення показали, що кожен контролер працює задовільно.

На основі отриманих результатів можна сформулювати рекомендації щодо подальшої роботи з вдосконалення системи керування автоматизованими транспортними засобами.

1. Необхідно розробити більш детальну модель рульового механізму другого порядку, що включає амортизацію. Для моделювання можна використати методи частотних характеристик.
2. Необхідно визначити точність наявної кінематичної моделі транспортного засобу, оскільки розроблена модель дає накопичені помилки положення без урахування динаміки кочення транспортного засобу.
3. Доцільно продовжити розробку повного алгоритму керування, щоб включати динаміку кочення транспортного засобу, дослідження кута ковзання та вирішити, чи є вплив ковзання значним.
4. Бажано розробити розширені рівняння тривимірної динаміки, які включають фактичне розташування центру ваги, зміщення навантаження на колеса та різні матеріали підлоги.
5. Необхідно розглянути алгоритм керування швидкістю та модифікувати контролер прямолінійного руху, щоб включити зміну швидкості і змінити повний алгоритм керування, щоб переключитися з керування поворотом на пряму після того, як транспортний засіб досягне мінімальних значень похибок.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації, Ч. 2. «Регулювальні і виконавчі пристрої» / А.К. Бабіченко, В.І. Тошинський, В.С. Михайлов та ін. Х.: НТУ «ХП», 2003. 658 с.
2. Беляков В.В. Автоматические системы транспортных средств. М.: Форум, 2016. 352 с.
3. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. М.: Профессия, 2003. 751 с.
4. Гайченко В.А., Коваль Г.М. Основи безпеки життєдіяльності людини: Навчальний посібник. К.: МАУП, 2002. 226 с.
5. Джигирей В.С. Екологія та охорона навколишнього середовища: Навчальний посібник. К.: Знання, 2002. 203 с.
6. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. структура та правила оформлення. [Чинний від 2017-07-01]. Вид. офіц. Київ, 2017. 26 с. (Інформація та документація).
7. ДСТУ 8302:2015. «Інформація та документація. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання». [Чинний від 2016-03-04]. Вид. офіц. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).
8. Жанказиев, С.В. Интеллектуальные транспортные системы. М.: МАДИ, 2016. 120 с.
9. Законодавство України про охорону праці. Збірник нормативних документів. В 4 т. Київ: 1995. 1997.
10. Капаціла Ю.Б., Науменко М.О. Дослідження систем відслідковування маршруту автоматизованих транспортних засобів : зб. матеріалів X Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій». Тернопіль, 24-25 листопада 2021 р. Т1. Тернопіль. С. 44.
11. Лазарев Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB. Санкт-Петербург.: Питер, 2005. 511 с.
12. Транспортное планирование и моделирование: сб. трудов II Междунар.

- науч.-практ. конф.; СПбГАСУ. – СПб., 2017. – 341 с.
13. Шаошань Лю, Лиюнь Ли, Цзе Тан, Шуаш Ву, Жан-Люк Годье Разработка беспилотных транспортных средств /науч. ред. В. С. Яценков; пер. с англ. П. М. Бомбаковой. – М.: ДМК Пресс, 2022. 246 с.
14. Шейко В. М., Кушнарєнко Н.М. Організація та методика науково-дослідницької діяльності: 7 видання, перероблене і доповнене. Київ: Знання, 2010. 295 с.
15. K. Sanyal and A. Goswami, «Dynamics and balance control of the reaction mass pendulum (rmp): A 3d multibody pendulum with variable body inertia». ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, vol. 136, no. 2, p. paper 021002, 2014.
16. Kalechman M. Practical MATLAB application for engineers. CRC Press, 2008. 708 p.
17. Hassan Haleh, Arman Bahari, «Automated Guided Vehicles Routing». 2014 TJEAS Journal-2014-4-2/60-66.