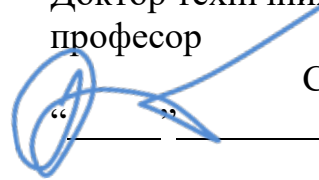


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій  
Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри  
Доктор технічних наук  
професор

Синеглазов В.М.  
\_\_\_\_\_ 2023р.



# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

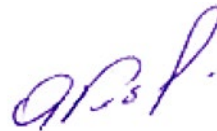
ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ  
“БАКАЛАВР”

**Тема:** АВТОНОМНИЙ НАВІГАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС

Виконавець:

Орлов С.А.

Керівник: ктн, професор



Аблесімов О.К.

Нормоконтролер: к.т.н., професор



Філяшкін М.К.

Київ 2023

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

**Факультет аеронавігації, електроніки та телекомунікацій**

**Кафедра авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів**

**Освітньо-кваліфікаційний рівень** бакалавр

**Спеціальність 151** «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

## **ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри

ДТН, професор

Синєглазов В.М.

“ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

## **ЗАВДАННЯ**

**на виконання кваліфікаційної роботи студенту**

Орлову С.А.

**Тема роботи:** “Автономний навігаційний комплекс”

**1. Термін виконання проекту (роботи):** з « 01 » 01 2023р по «15» 02 2023р.

**2. Вихідні данні до роботи:** технічні параметри серійних систем навігаційного обладнання – відповідно до аналогів промислових зразків.

**3. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**

1. Аналіз проблеми автономного навігаційного забезпечення. 2. Визначення напрямків автоматизації навігаційних систем. 3. Розробка алгоритмів функціонування навігаційного комплексу. 4. Обґрунтування способу автоматизованого визначення дирекційного кута машини та коректури шляху під час руху. 5. Програмне забезпечення розрахунків поточного дирекційного кута й коефіцієнта коректури шляху по реперних точках. 6. Дослідження розроблених алгоритмів.

**Перелік обов'язкового графічного матеріалу:** 1. Области застосування навігаційних систем. 2. Класифікація технічних засобів наземних навігаційних систем. 3. Розробка алгоритмів рішення навігаційних задач. 4. Функціональна схема наземного навігаційного комплексу. 5. Алгоритми вирішення навігаційних задач. 6. Визначення навігаційної інформації в екстремальних умовах. 7. Результати експериментальних досліджень. 8. Інтерфейс користувача програмного забезпечення.

#### 4. Календарний план-графік

№ п/п	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	ПДБІР ЛІТЕРАТУРИ	01.01-10.01	Виконав
2	ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ. ВСТУП	11.01-12.01	Виконав
3	АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ АВТОНОМНОЇ НАВИГАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ НА МІСЦЕВОСТІ	13.01-20.01	Виконав
4	РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАВИГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ	21.01-31.01	Виконав
5	ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БАЗОВИХ КОМПОНЕНТ НАВИГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ	01.02-10.02	Виконав
6	АНАЛІТИЧНЕ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	11.02-19.02	Виконав
7	РОЗРОБКА ПРЕЗЕНТАЦІЇ	20.02-23.02	Виконав
8	ОФОРМЛЕННЯ РОБОТИ	24.01- 26.02	Виконав

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник: професор \_\_\_\_\_ Аблесімов О.К.  
(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ Орлов С.А.

## АНОТАЦІЯ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи «Автономний навігаційний комплекс»: стор. - 52 , рис. - 26 , використаних джерел – 7.

НАВИГАЦІЙНИЙ КОМПЛЕКС, АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА, КОМП'ЮТЕРНО ІНТЕГРОВАНІЙ КОМПЛЕКС, МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, НАВИГАЦІЙНА ІНФОРМАЦІЯ.

Об'єкт дослідження – дослідження похибок вхідної інформації та похибок обчислювальних приладів в наземній навігаційній системі.

Мета роботи – розробка автоматизованого автономного навігаційного комплексу що забезпечує високу точність навігаційної інформації в екстремальних умовах.

Метод дослідження – математичне моделювання.

У зв'язку з ростом вимог по точності визначення поточних координат рухомих об'єктів і скороченню часу їхнього уточнення і коректування, основними напрямками доробки існуючих навігаційних комплексів запропоновано забезпечення можливості використання автоматизованих комп'ютерно-інтегрованих телеметричних систем та забезпечення можливості використання автоматизованих розрахунків похибки дирекційного кута і коефіцієнта коректури шляху по реперних точках;

Матеріали роботи рекомендується використовувати при проведенні досліджень при розробці наземних навігаційних комплексів та в навчальному процесі.

## ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ ТА СКОРОЧЕНЬ

АНС - автономна навігаційна система

НК – навігаційний комплекс

НК СН - наземний навігаційний комплекс спеціального призначення

Н - навігація

О - одометр

МР - місце розташування

ПП - пункт призначення

ДК - дирекційний кут

ШС - шляхова система

КС - курсова система

ОБ - обчислювач

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1. АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ НА МІСЦЕВОСТІ .....	8
1.1 Призначення та області застосування навігаційного обладнання .....	8
1.2 Аналіз видів навігаційної інформації .....	10
1.3 Огляд навігаційного обладнання, що застосовується .....	12
1.4 Дослідження основних методів підготування вихідних даних.....	16
1.5 Визначення вимог до автономних навігаційних систем.....	20
1.6 Мета та завдання роботи .....	21
2. РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ .....	24
2.1 Алгоритми визначення лінійних та кутових координат .....	24
2.2 Алгоритми визначення напрямку до пункту призначен і відстані до нього .....	27
2.3 Алгоритми обчислення координат об'єктів, що спостерігаються .....	28
2.4 Функціональне моделювання навігаційного комплексу .....	29
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БАЗОВИХ КОМПОНЕНТ НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	33
3.1 Статистичний аналіз точності рішення навігаційних задач за допомогою НК.....	33
3.2 Моделювання навігаційної системи .....	36
3.3 Дослідження точності визначення вихідної інформації .....	38
4. АНАЛІТИЧНЕ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ .....	40
4.1 Комп'ютерно-інтегрований телеметричний навігаційний комплекс ..	40
4.2 Обґрунтування способу автоматизованого визначення дирекційного кута машини і коректури шляху по реперних точках.....	43
4.3 Програмне забезпечення розрахунків похибки дирекційного кута і коефіцієнта коректури шляху по реперних точках .....	45
ВИСНОВКИ .....	51
ЛІТЕРАТУРА.....	52

## ВСТУП

Поняття навігація (від лат. *navigo* - пливу на кораблі) можна перевести як мистецтво управляти кораблем.

Основа навігації - навігаційні прилади, що дозволяють визначити місце розташування. Вони вдосконалювалися поряд з технічним прогресом.

Розвиток навігаційних засобів протягом всієї історії їх існування незмінно стимулювався розширенням області застосування й ускладненням завдань, що покладали на них, і, насамперед ростом вимог до їхньої дальності дії й точності. Якщо в перші десятиліття радіонавігаційні системи обслуговували морські кораблі й літаки, то потім склад їхніх споживачів значно розширився й у цей час охоплює всі категорії рухомих об'єктів в тому числі наземних рухомих об'єктів, що належать різним відомствам.

Що стосується точності, то спочатку влаштувала точність у кілька кілометрів, потім виявилось можливим реалізувати точності в сотні метрів й, нарешті, з появою технічних можливостей вдалося задовольнити вимоги на рівні десятка метрів. Але вимоги продовжують посилюватися, виникає необхідність у дециметрових й сантиметрових точностях, які можна забезпечити, удосконалюючи навігаційні системи і застосовуючи в них новітні технології.

Саме тому напрямком кваліфікаційної роботи є розробка автоматизованої системи наземного орієнтування з використанням сучасних інформаційних технологій, що дозволяє задовольнити основну вимогу до наземного топоприв'язочного обладнання – високу точність вироблення навігаційної інформації.

## РОЗДІЛ 1

### АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ АВТОНОМНОЇ НАВІГАЦІЇ НА МІСЦЕВОСТІ

#### 1.1 Призначення та області застосування навігаційного обладнання

Для забезпечення екіпажу наземного рухомого об'єкту неперервною та достовірною інформацією, пов'язаною з орієнтуванням об'єкту, усі сучасні машини оснащені топоприв'язочною або навігаційною апаратурою.

Навігаційним комплексом називається сукупність приладів та систем, що забезпечують вирішення наступних навігаційних задач:

- визначення місцеположення наземного рухомого об'єкту;
- визначення курсу рухомого об'єкту;
- забезпечення точності пересування об'єкту за заданим маршрутом у заданий пункт;
- прокладення та нанесення на карту маршрутів руху;
- своєчасна коректура обраного шляху та швидкості.

Навігаційні комплекси вирішують завдання, пов'язані з вибором шляху, курсу, контролем за переміщенням наземного об'єкту й прогнозуванням його руху. Основним завданням ННК є контроль за рухом наземного об'єкту, що полягає у визначенні координат і параметрів траєкторії по вимірах навігаційних параметрів.

Усі ці задачі можуть бути виконані шляхом вирішення трьох видів основних навігаційних задач:

**перша і основна задача** полягає у визначенні поточних координат  $X_m, Y_m$  місцезнаходження рухомого об'єкту і його дирекційного кута  $\alpha_m$ ;

**друга задача** полягає у визначенні поточного напрямку  $\alpha_{\text{пн}}$  на заданий пункт призначення та відстані  $\Delta X_{\text{пн}}, \Delta Y_{\text{пн}}$  до нього;

**третя задача** полягає у вираховуванні координат  $X_{\text{ц}}, Y_{\text{ц}}$  об'єктів та цілей, за якими ведеться спостереження.

Аналізуючи задачі, які виконуються за допомогою навігаційного (топоприв'язочного) обладнання, можна зробити висновок, що дана апаратура



використовується досить широким колом галузей наук та промисловості.

У військовій справі навігаційне обладнання набуло дуже широкого призначення. Основними задачами навігаційного обладнання у цій галузі є: визначення місцезнаходження окремих машин та бойових порядків військ, пересування колон та окремих машин наміченим маршрутом у заданий район, розвідка цілей та інших об'єктів та визначення їх координат, прокладення маршрутів руху, колонних шляхів, шляхів евакуації та нанесення їх на топографічну карту. Тобто, військова справа вимагає виконання першої, другої і третьої задач навігації.

У топографічній науці навігаційна апаратура використовується для визначення точних координат нових промислових об'єктів, відстеження зміни рельєфу та коригування промислових та географічних карт на основі отриманої навігаційної інформації.

У геологічній науці топографічне обладнання використовується для розвідування і визначення точних координат нових родовищ та інших геологічних об'єктів та точне відтворення маршруту розвідування.

У гідрометеорологічній науці навігаційне обладнання застосовується для визначення точних координат гідрологічних постів з метою внесення поправок та більш точного визначення метеорологічної інформації.



Рис.1.1 Області застосування навігаційного обладнання

## 1.2. Аналіз видів навігаційної інформації

Навігаційна інформація представляє собою сукупність відомостей про положення на місцевості рухомого об'єкту чи групи об'єктів. За своїм характером навігаційна інформація може бути класифікована на індивідуальну та зовнішню (Рис . 1.2).



Рис..1.2 Види навігаційної інформації

**Індивідуальна навігаційна інформація** поєднує у собі відомості про власне положення об'єкту на місцевості. Це «інформація про себе». Вона використовується екіпажами наземних рухомих об'єктів при вирішенні практично всіх задач:

- здійсненні переходів на великі відстані;
- висування груп рухомих об'єктів на певну територію;
- форсування водної перепони;

До індивідуальної навігаційної інформації відносяться (Рис. 1.3):

$\alpha_M$  - дирекційний кут або курс рухомого об'єкту . Він представляє собою кут між північним напрямом вертикальної лінії координатної сітки та

поздовжньою віссю машини (за напрямком його руху), що відраховується за годинниковою стрілкою;

$\alpha_k$  - курсовий кут, тобто курс між поздовжньою віссю об'єкту та напрямом на пункт призначення;

$\alpha_{пп}$  - кут на пункт призначення, що відраховується за ходом годинникової стрілки від північного напрямку вертикальної лінії координатної сітки до пункту призначення;

$X_M, Y_M$  - координати місцезнаходження рухомого об'єкту у топографічній системі координат;

$\Delta X_{пп}, \Delta Y_{пп}$  - відстань до пункту призначення

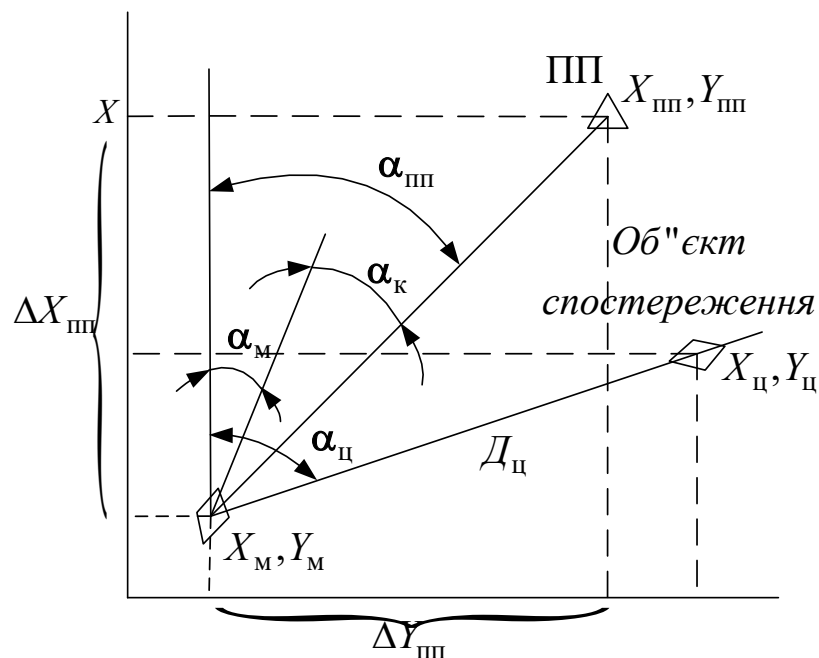


Рис.1.3 Елементи навігаційної інформації

**Зовнішня навігаційна інформація** представляє собою сукупність відомостей про положення на місцевості інших об'єктів. Це – «інформація про іншого».

Зовнішня навігаційна інформація використовується службами, що здійснюють управління.

Основними елементами зовнішньої навігаційної інформації є (Рис. 1.3):

- $X_ц, Y_ц$  - координати об'єктів, за якими ведеться спостереження (цілей);
- $\alpha_ц$  - кут цілі, що обраховується північного напрямку вертикальної лінії координатної сітки до напрямку на ціль за годинниковою стрілкою;

- маршрут, зафіксований на топокарті.

Навігаційна інформація може бути отримана двома принципово різними способами: порівняльно-оглядовим та автоматизованим. Застосування першого базується на зверненні місцевості з картою або іншим географічним документом. Цей метод має низьку точність отримуваної інформації, на його реалізацію витрачається багато часу, а головне – якість інформації залежить від суб'єктивних даних людини, тобто від досвіду, морального стану, умінню протистояти зовнішнім збурюючим впливам.

Інтенсивний розвиток автоматизованих способів отримання навігаційної інформації дозволяє отримати в мінімально короткий час інформації необхідного обсягу і високої точності.

### **1.3. Огляд навігаційного обладнання, що застосовується**

Створювані наземні навігаційні комплекси (ННК) відрізняються один від одного за рівнем і змістом автоматизації, принципом побудови й іншими ознаками. За рівнем автоматизації розрізняють комплекси з низьким, середнім і високим рівнем автоматизації.

Залежно від принципу побудови виділяють децентралізовані роз'єднані комплекси, централізовані комплекси й комплекси з ієрархічною децентралізацією (модульні комплекси).

Перші містять у собі ряд роз'єднаних пристроїв для автоматичного виконання найпростіших операцій, наприклад для стабілізації курсу, для обчислення шляху й т.д. Урахування взаємозв'язків розв'язуваних завдань при такому принципі автоматизації повністю лягає на людину, що керує об'єктом.

У централізованих ННК рішення кола покладених на них завдань виробляється однією ЕОМ. Така побудова ННК була характерна для початку етапу комплексної автоматизації, коли ЕОМ були порівняно дорогими й коло розв'язуваних за допомогою засобів автоматизації завдань не занадто велике. Достоїнством централізованої структури комплексів стала можливість урахування інформаційного взаємозв'язку розв'язуваних при вирішенні задач, що виникають при управлінні наземним рухомим об'єктом. Досвід експлуатації централізованих ННК виявив ряд їхніх недоліків. При високому рівні

автоматизації операцій управління рухомим об'єктом надзвичайно зростає складність математичного забезпечення ЕОМ, різко підвищуються вимоги до її продуктивності, надійності взаємодії із зовнішнім середовищем, режимів обробки інформації. Крім того, централізовані системи мають знижену живучість, тому що вихід з ладу ЕОМ призводить до припинення функціонування всієї системи.

При модульній побудові комплекс підрозділяється на ряд деякою мірою самостійних підсистем, що вирішують певні завдання. Таким чином, модульні ННК складаються з окремих підсистем (модулів) різних рівнів, кожна з яких може функціонувати як самостійно, так й у рамках всієї системи, підкоряючись командам підсистем вищого рівня. Модульні комплекси більше гнучкі, чим централізовані. У цей час модульна побудова ННК є переважною.

Виходячи з виконуваних рухомим об'єктом завдань та обсягом інформації, необхідним для цього, все основне обладнання може бути поділене на курсові прилади та системи навігаційного забезпечення СНЗ – навігаційні системи. Курсові прилади виконуються, як правило у вигляді гірополукомпасів і представляють собою гіроскопічні вказівники курсу, що призначені для забезпечення керування рухом об'єктів за заданим курсом. В комплекти курсових приладів входять ГПК-59 або ГПК-48.

Гірополукомпас ГПК-48 використовують як пристрій, що запам'ятовує заданий напрямок. Гірополукомпас ГПК-48 являє собою гіроскоп із трьома ступенями свободи, головна вісь якого перебуває в площині горизонту, а зовнішня вісь карданового підвісу вертикальна. Гірополукомпас не володіє властивістю відшукувати будь-який напрямок на земній поверхні, його використовують як пристрій короткочасної просторової пам'яті.

Особливістю гіроскопічного курсовказівника ГПК-59 є доволі нетривалий час роботи(1,0 – 1,5 години)з допустимою похибкою

Напрями руху об'єкту відносно ліній координатної сітки визначають гірокомпаси або гіроазимуткомпаси. Вони можуть використовуватись як автономно, так і у складі наземної навігаційної системи.

## Автономні курсові прилади

Характеристики	ГПК-59	1Г11Н	ГАК
Тип приладу	Гірополукомпас	Гірокомпас	Гіроазимут-компас
Навігаційна інформація, що виробляється	Поточний курсовий кут	Вихідний дирекційний кут	Вихідний $\alpha_{вих}$ та поточний $\alpha$ дирекційні кути
Час готовності до роботи (час визначення $\alpha_{вих}$ ), хв	10	12 -16	8 - 12
Тривалість роботи з заданою точністю без переорієнтування, год	1,0 -1,5	---	2,0
Похибка визначення $\alpha_{вих}$ , под. кут	---	0,3	13,5
Уход головної осі гіроскопа, под. кут	40 (за 30хв)	---	16,7 (за 1год)

СНЗ дозволяють отримати як індивідуальну так і зовнішню інформацію. Окреме чи сукупне вирішення навігаційних задач реалізується системами ТНА -2 , ТНА-3, ТНА-4.

Апаратура ТНА-2, наприклад, виробляє інформацію в обсязі першої навігаційної задачі, система ТНА-3 – в обсязі трьох навігаційних задач. Декілька модифікацій має система ТНА-4, що забезпечує вирішення двох або трьох навігаційних задач. Важливою особливістю навігаційної апаратури ТНА-3, ТНА-4 є наявність у їх складі систем вбудованого контролю.

Допоміжне навігаційне обладнання призначене для підготування вихідних даних при роботі з СНЗ, а у разі необхідності і для отримання навігаційної інформації порівняльно-оглядовим способом. До його складу входять прилади орієнтування по куту – бусоль, компас, візирні прилади, і координатам – карта, вимірювач, хордокутомір.

## Системи навігаційного забезпечення

Характеристики	ТНА-2 („Сетка”)	ТНА-3 („Квадрат”)	ТНА-4	КП-3с 1Г13М
Тип приладу	Координатор		Курсопрокладчик	
Навігаційна інформація, що виробляється	В обсязі першої навігаційної задачі	В обсязі першої і другої навігаційних задач	В обсязі першої навігаційної задачі	
Час готовності до роботи (час визначення $\alpha_{\text{вих}}$ ), хв	10	13	15-20	15
Тривалість роботи з заданою точністю без переорієнтування, год	3-3,5	7	7-8	7
Похибка визначення $\alpha_{\text{вих}}$ , под. кут	1,3	1,0-1,2	1,25	0,4-0,1
Уход головної осі гіроскопа, под. кут (за 1 год)	20 (за 30хв)	20	25	7 (за 15мин)

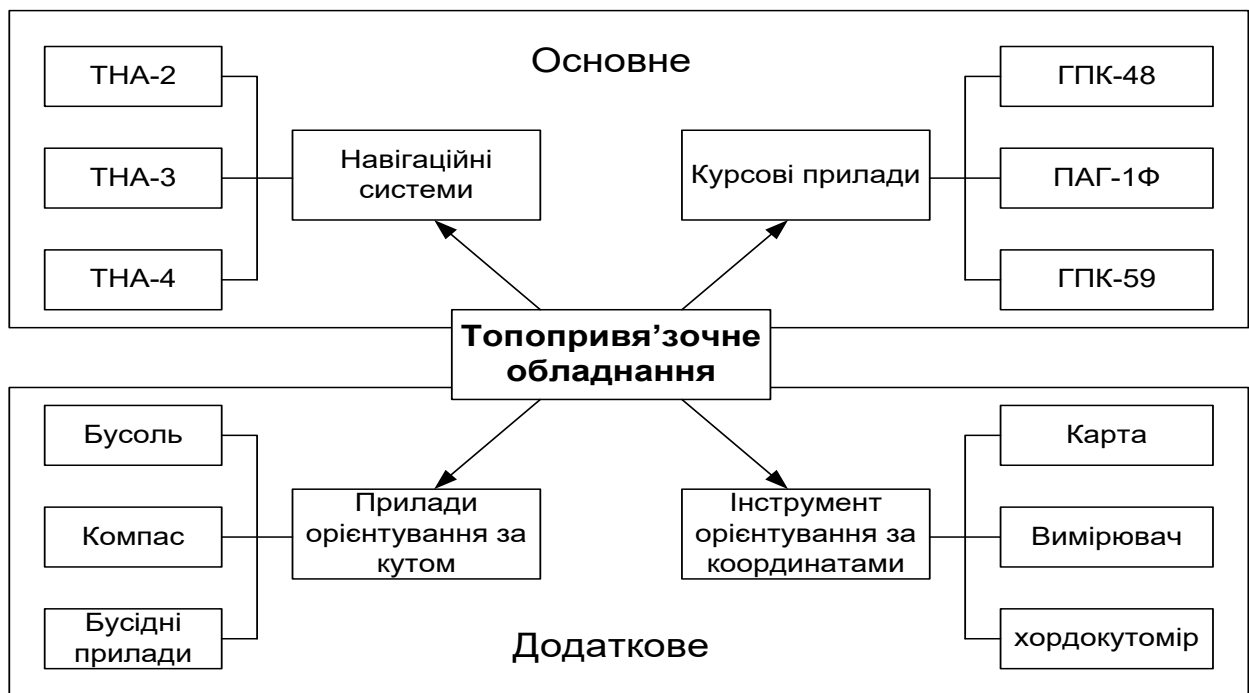


Рис. 1.4 Класифікація топоприв'язочного обладнання

#### 1.4. Дослідження основних методів підготування вихідних даних

Якість навігаційної інформації, що виробляється ТПО, у великій мірі залежить від точності підготування для нього вихідних даних напередодні руху. Найбільше уваги у вихідному пункті необхідно приділяти визначенню та введенню в апаратуру:

- вихідних координат  $X_{\text{вих}}, Y_{\text{вих}}$  місцезнаходження рухомого об'єкту;
- вихідного дирекційного кута  $\alpha_{\text{вих}}$  рухомого об'єкту;
- відстані  $\Delta X_{\text{пп вих}}, \Delta Y_{\text{пп вих}}$  до пункту призначення;
- коефіцієнт  $k_k$  коректури шляху.

Визначення вихідних координат  $X_{\text{вих}}, Y_{\text{вих}}$

Найбільш поширеним способом визначення вихідних координат є спосіб, що базується на застосуванні топографічної карти. Суть його полягає в наступному:

- на карті визначається точка місцезнаходження рухомого об'єкту;
- у відповідності із позначеннями лінії сітки записують повні координати відстані у кілометрах до екватора та нульового меридіану, лівого нижнього кута квадрату, в якому позначена точка стоянки об'єкта;
- вимірюють відстані по перпендикулярам від точки місцезнаходження об'єкту до нижньої та лівої сторін даного квадрату і переводять отримані значення в метри, користуючись масштабом карти;
- приписують отримані значення до знайдених раніше координат лівого нижнього кута квадрату місцезнаходження об'єкту, отримуючи його повні координати  $X_{\text{вих}}, Y_{\text{вих}}$ .

При визначенні місцезнаходження вихідних координат місцезнаходження рухомого об'єкту доцільно користуватися картою крупного масштабу, адже точність обрахунків буде тим вища, чим крупніший масштаб карти.



## Визначення відстані до пункту призначення

Відстань до пункту призначення визначається за топографічними картами. Для цього достатньо, користуючись описаним вище методом, визначити координати  $X_{\text{ПП}}, Y_{\text{ПП}}$  пункту призначення та вихідні координати  $X_{\text{ВИХ}}, Y_{\text{ВИХ}}$  місцезнаходження рухомого об'єкту.

На основі отриманих даних необхідно визначити відстань до пункту призначення:

$$\begin{aligned}\Delta X_{\text{ПП ВИХ}} &= X_{\text{ПП}} - X_{\text{ВИХ}} \\ \Delta Y_{\text{ПП ВИХ}} &= Y_{\text{ПП}} - Y_{\text{ВИХ}}\end{aligned}\tag{1.1}$$

Необхідно відзначити, що знаки відстаней, що визначаються у ході розрахунків, визначають напрям руху в нього з вихідного району:

Північ-схід:  $+\Delta X_{\text{ПП ВИХ}}; +\Delta Y_{\text{ПП ВИХ}};$

Північ-захід:  $+\Delta X_{\text{ПП ВИХ}}; -\Delta Y_{\text{ПП ВИХ}};$

Південь-схід:  $-\Delta X_{\text{ПП ВИХ}}; +\Delta Y_{\text{ПП ВИХ}};$

Південь-захід:  $-\Delta X_{\text{ПП ВИХ}}; -\Delta Y_{\text{ПП ВИХ}}.$

Знаки відстаней  $\Delta X_{\text{ПП ВИХ}}, \Delta Y_{\text{ПП ВИХ}}$  необхідно обов'язково враховувати при введенні даних в апаратуру.

## Визначення вихідного дирекційного кута

Вихідний дирекційний кут  $\alpha_{\text{ВИХ}}$  можна визначити двома способами: по карті або за допомогою штучного пристрою – бусолі. Перший спосіб застосовується у разі наявності на місцевості добре видимих орієнтирів, що позначені на карті. Другий спосіб застосовується як правило в умовах поганої видимості, обмеженого огляду, наприклад при знаходженні об'єкту на закритих стоянках.

Для визначення дирекційного кута за допомогою карти необхідно:

- визначити на карті місцезнаходження об'єкту;
- вибрати на місцевості добре видимий орієнтир, що зазначений на карті;

- провести на карті через точку розташування об'єкту вертикальну лінію, паралельну лінії сітки, і з'єднати дану точку з зображенням орієнтиру;
- заміряти за допомогою циркуля і хордокутоміра відомим у топографії методом дирекційний кут  $\alpha_{ор}$  орієнтиру;
- визначити кут візування  $\alpha_{віз}$  на орієнтир, для чого навести спостережувальний прилад об'єкту на реальний орієнтир на місцевості та зняти показники з кутомірного приладу (азимутального вказівника);
- обрахувати дирекційний кут машини

$$\alpha_{вих} = \alpha_{ор} - \alpha_{віз} \quad (1.2)$$

Артилерійська бусоль представляє собою компас, з'єднаний з монокуляром та кутомірним пристроєм. При визначенні  $\alpha_{вих}$  вона виконує роль штучного орієнтиру. Технологію знаходження вихідного дирекційного кута ілюструє Рис.1.5.

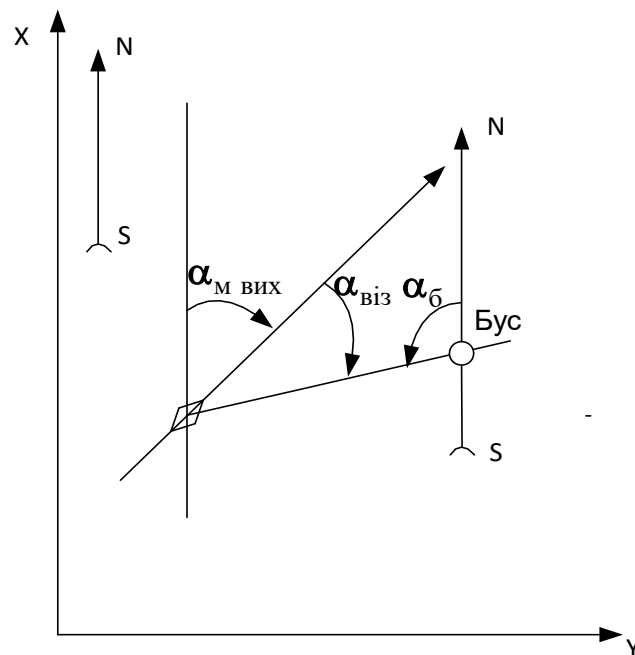


Рис.1.5 визначення вихідного дирекційного кута за допомогою бусолі

Для знаходження дирекційного кута за допомогою бусолі необхідно:

- бусоль встановити на відстані не менш 50м від об'єкту і зорієнтувати її оптичну систему за магнітною стрілкою в напрямку південь-північ;

- спостережувальний прилад об'єкту візувати на бусоль, після чого зняти показники азимутального показника – кут  $\alpha_{\text{віз}}$  візування об'єкту;
- оптичну систему бусолі навести на вихідне вікно спостережувального приладу і за шкалою  $Y$  її кутомірного приладу визначити кут  $\alpha_{\delta}$  бусолі;
- обрахувати вихідний дирекційний кут об'єкту:

$$\alpha_{\text{вих}} = 30.00 - (\alpha_{\text{віз}} + \alpha_{\delta}) \pm \delta, \quad (1.3)$$

де  $\delta$  - поправка напрямку, що характеризує середнє відхилення магнітної стрілки від напрямку вертикальної лінії сітки карти.

Поправка  $\delta$  береться з карти. Якщо середнє відхилення магнітної стрілки є східним, то поправка додається, якщо західним – віднімається. При цьому необхідно враховувати рік видання карти і поправку вводити з урахуванням річної зміни магнітного відхилення.

#### Визначення коефіцієнта коректури шляху

Для визначення коефіцієнту коректури шляху необхідно:

- обрати мірну ділянку дороги довжиною не менше 1000м, який за умовами схожий з трасою застосування рухомого об'єкту;
- виміряти довжину ділянки далекоміром і позначити її позначити його мітками 2, 3; на відстані 20 - 25м від міток встановити в створі з ними віхи 1, 4 (Рис. 1.6.);

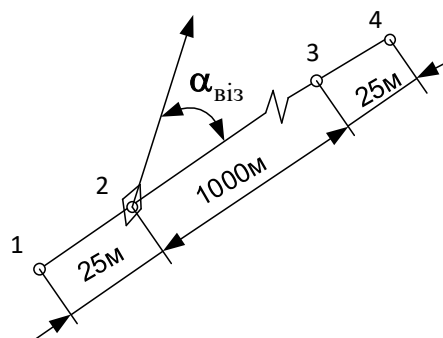


Рис.1.6 Визначення коефіцієнту коректури шляху

- встановити об'єкт з включеною апаратурою на мітці 2 у напрямку відмітки 3;

- виміряти кут візування  $\alpha_{\text{віз}}$  за азимутальним покажчиком навівши спостережу вальний пристрій на віху 4;

- ввести в апаратуру дирекційний кут

$$\alpha_{\text{вих}} = 60-00 - \alpha_{\text{віз}}$$

- обнулити шкали поточних координат об'єкту  $X_M, Y_M$  і коректури шляху;

- проїхати об'єктом мірну ділянку і, наїхавши на мітку 3, зняти показання координати  $X$ , що у даному випадку відповідає шляху  $S_{\text{п}}$ , вимірюваному апаратурою

$$\begin{aligned} X &= kS \cos(\alpha_{\text{вих}} + \alpha_{\text{віз}}) = S_{\text{п}} \\ Y &= kS \sin(\alpha_{\text{вих}} + \alpha_{\text{віз}}) = 0 \end{aligned} \quad (1.4)$$

де  $S$  – довжина мірної ділянки;  $k$  – коефіцієнт, що враховує зміни рельєфу місцевості;

- обрахувати коефіцієнт коректури урахування зміни рельєфу місцевості

$$k = S_{\text{п}} / S \quad (1.5)$$

- знайти коефіцієнт коректури шляху, враховуючи, що в ідеальних умовах  $k=1$ :

$$k_{\text{к}} = (k - 1)100\% \quad (1.6)$$

Для підвищення вірогідності розрахунків експеримент необхідно повторити, проїхавши машиною шлях в протилежному напрямі. При необхідності потрібно визначити середнє значення коефіцієнта коректури шляху, котре вводиться в апаратуру з урахуванням знаку.

### **1.5. Визначення вимог до автономних навігаційних систем**

До автономних навігаційних систем пред'являються наступні вимоги:

- висока точність вироблення навігаційної інформації;
- тривала безперервна робота із заданою точністю;
- малий час підготовки апаратури до роботи;
- малі габаритні розміри та вага обладнання;
- висока надійність роботи обладнання;
- простота експлуатації та обслуговування.

Найбільш вагомими характеристиками є обсяг та точність вироблення навігаційної інформації.

**Обсяг навігаційної інформації** визначається характером виконуваного завдання. Так, наприклад, для забезпечення руху заданим маршрутом необхідна інформація про місцеположення і напрям руху машин для своєчасного проходження заданих пунктів регулювання (інформація в обсязі першої навігаційної задачі).

Для виходу в заданий пункт за довільним маршрутом доцільно знати не лише своє місцеположення, а й напрям на пункт призначення і дальність до нього (інформація в обсязі першої і другої навігаційної задачі).

При веденні розвідки необхідно забезпечити надійне орієнтування самих розвідних машині точно визначення координат розвіданих об'єктів.

**Точність навігаційної інформації** визначається перш за все похибками обрахування поточних координат  $X$ ,  $Y$ .

Похибки вимірювальних приладів поділяють на наступні види:

- інструментальні похибки, зумовлені неточністю виготовлення деталей, якістю збірки, температурними і механічними деформаціями та іншими аналогічними факторами;
- методичні похибки, що виникають в результаті наближеної приладної реалізації точної формули функції, що обраховується;
- трансформовані (вхідні) похибки, що викликаються похибками введення в апаратуру вихідних даних.

## **1.6 Мета та завдання роботи**

Бурхливий розвиток цифрових обчислювальних пристроїв, їх реалізація на базі елементів мікроелектроніки дозволяють почати широке впровадження цифрових обчислювачів до складу систем навігаційних комплексів (НК) рухомих об'єктів

На відміну від обчислювальних пристроїв механічного, електромеханічного та аналогового типу бортові цифрові обчислювальні пристрої (ЦОП) мають цілий ряд переваг, осі чому їх використання в складі НК стає переважним.

Достоїнством ЦОМ при їхньому застосуванні в складі НК стають:

- можливість розв’язання не тільки математичних, але і логічних задач, що дозволяє у більш повній мері автоматизувати процес топоприв’язки;
- можливість отримання високої точності розв’язання задач навігації й управління. Точність рішення обумовлена розрядністю ЦОП і похибками вихідної інформації, яка використовується для розв’язання відповідної задачі;
- можливість використання для розв’язання основних задач комплексу сучасних методів оптимального управління, ідентифікації та оцінювання;
- значна гнучкість при зміні задач, які розв’язуються НК, оскільки зміна складу та кількості вирішуваних задач здійснюється лише перебудовою програми й не вимагає внесення конструктивних змін у ЦОП;
- забезпечення можливості виконання глибокого автоматизованого контролю окремих систем НК як в процесі підготовки, так саме й у динаміку руху.

У процесі розв’язання задач НК ЦОП може забезпечити:

- перетворення навігаційної інформації, яка надходить від датчиків і систем, до виду зручного для її обробки в обчислювальному пристрої;
- обробку вихідної інформації з ціллю підвищення її точності й отримання додаткової інформації про навігаційні параметри руху, які безпосередньо не вимірюються датчиками;
- управління роботою датчиків і пристроїв відображення інформації;
- контроль стану систем і пристроїв комплексу та значень параметрів руху.

Для реалізації перелічених вище задач до ЦОП ставляться такі вимоги:

- відповідність функціональних можливостей ЦОП об’єму вирішуваних задач;
- висока точність обчислень;
- достатня швидкодія;
- зручність спілкування з ЦОП;
- живучість та ремонтпридатність;
- припустимі вага та габарити.

Наявність у складі НК БЦОП, що володіє достатньо високими обчислювальними можливостями, дозволить в значній мірі підвищити ступінь автоматизації розв'язання основних задач. При цьому з урахуванням правильного розподілу функцій між ЦОП й екіпажем може бути досягнута їх оптимальна взаємодія.

Враховуючи вищевикладене метою роботи є:

Розробка автоматизованого автономного навігаційного комплексу що забезпечує високу точність навігаційної інформації в екстремальних умовах експлуатації.

При цьому були поставлені завдання:

- виконати аналіз видів навігаційної інформації та навігаційного обладнання, що застосовується в навігаційних системах;
- провести дослідження основних методів підготування вихідних даних перед використанням навігаційних систем;
- визначити вимоги до автономних навігаційних систем;
- розробити алгоритми функціонування навігаційних комплексів;
- виконати моделювання навігаційного комплексу та дослідження якості роботи його базових компонент;
- обґрунтувати спосіб автоматизованого визначення дирекційного кута машини і коректури шляху по реперних точках;
- розробити програмне забезпечення автоматизованих розрахунків похибок дирекційного кута і коефіцієнта коректури шляху.

## РОЗДІЛ 2

### РОЗРОБКА АЛГОРИТМІВ ФУНКЦІОНУВАННЯ НАВІГАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ

Місце об'єкта на земній поверхні визначається його координатами. Найбільше часто на практиці застосовуються:

- система прямокутних координат, у якій положення точки на земній поверхні задається координатами цієї точки відносно взаємно перпендикулярних осей  $X$  і  $Y$ . Система прямокутних координат є основною для топографічних карт;

- система полярних координат, у якій положення точки на земній поверхні указується вектором. Модуль цього вектору дорівнює відстані від вихідної точки з відомими координатами до крапки місця розташування об'єкта, його напрямок задається дирекційним кутом  $\alpha$ ;

- система географічних координат, у якій точка місця розташування об'єкта на земній поверхні визначається географічною широтою і довготою.

У загальному випадку НК можуть вирішувати три основних види навігаційних задач:

- перша навігаційна задача - визначення координат  $X$ ,  $Y$  місця розташування рухомого об'єкта і його дирекційного кута  $\alpha$ ;

- друга навігаційна задача - визначення напрямку на заданий пункт призначення  $\alpha_{\text{пн}}$  і найкоротшої відстані  $S_{\text{п}}$  до цього пункту;

- третя навігаційна задача - обчислення координат  $X_{\text{ц}}$  і  $Y_{\text{ц}}$  об'єктів спостереження.

Визначимо алгоритми вирішення зазначених навігаційних задач.

#### **2.1 Алгоритми визначення лінійних та кутових координат**

Для визначення поточних прямокутних координат машини, що рухається, використовуються параметри її руху: швидкість і дирекційний кут. Якщо, наприклад, машина рухається по горизонтальній ділянці місцевості з точки  $O$  в точки 1, 2 і т.д. так, як показано на рис. 2.1, то протягом невеликого проміжку



часу  $\Delta t$  можна вважати швидкість машини і її дирекційний кут  $\alpha$  незмінними. При цій умові криволінійний шлях машини замінюється прямолінійними ділянками  $\Delta S_{1r}$ ,  $\Delta S_{2r}$  тощо.

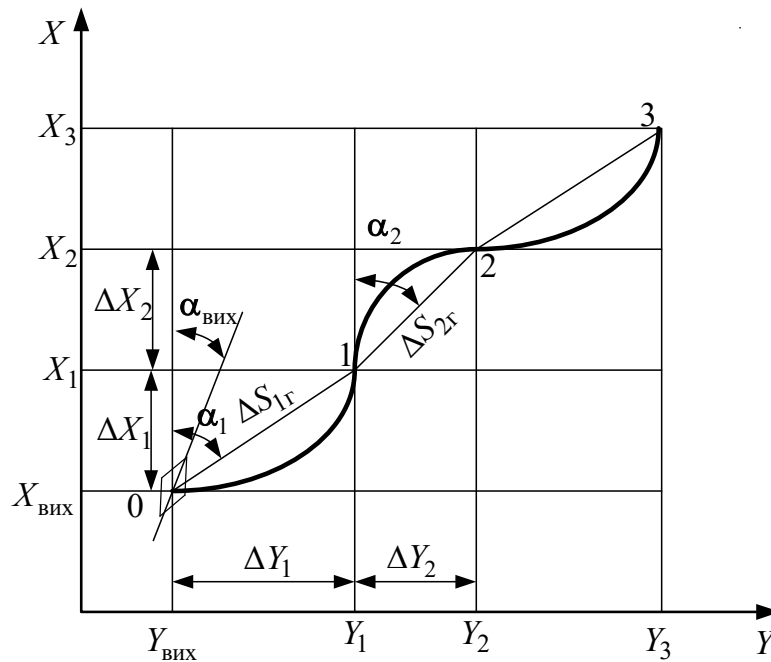


Рис. 2.1 . Вирішення першої навігаційної задачі

Збільшення координат на цих ділянках будуть рівні:

$$\Delta X_1 = v_{1r} \Delta t_1 \cos \alpha_1 = \Delta S_{1r} \cos \alpha_1;$$

$$\Delta X_2 = v_{2r} \Delta t_2 \cos \alpha_2 = \Delta S_{2r} \cos \alpha_2;$$

.....

$$\Delta X_n = v_{nr} \Delta t_n \cos \alpha_n = \Delta S_{nr} \cos \alpha_n$$

---


$$\sum_{i=1}^n \Delta X_i = \sum_{i=1}^n v_{ir} \Delta t_i \cos \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta S_{ir} \cos \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta S_{ir} \cos(\alpha_{вих} + \Delta \alpha_i).$$

$$\Delta Y_1 = v_{1r} \Delta t_1 \sin \alpha_1 = \Delta S_{1r} \sin \alpha_1;$$

$$\Delta Y_2 = v_{2r} \Delta t_2 \sin \alpha_2 = \Delta S_{2r} \sin \alpha_2;$$

.....

$$\Delta Y_n = v_{nr} \Delta t_n \sin \alpha_n = \Delta S_{nr} \sin \alpha_n$$

---


$$\sum_{i=1}^n \Delta Y_i = \sum_{i=1}^n v_{ir} \Delta t_i \sin \alpha_i = \sum_{i=1}^n \Delta S_{ir} \sin(\alpha_{вих} + \Delta \alpha_i).$$

Поточні координати машини  $X$  і  $Y$  в дискретні моменти часу можуть бути отримані алгебраїчним підсумовуванням початкових (вихідних) координат

$X_{\text{вих}}$  і  $Y_{\text{вих}}$  зі збільшеннями  $\sum_{i=1}^n \Delta X_i$  і  $\sum_{i=1}^n \Delta Y_i$ , тобто

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta X_i = X_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta S_{\text{г}} \cos(\alpha_{\text{вих}} + \Delta \alpha_i) \\ Y &= Y_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta Y_i = Y_{\text{вих}} + \sum_{i=1}^n \Delta S_{\text{г}} \sin(\alpha_{\text{вих}} + \Delta \alpha_i) \end{aligned} \right\}.$$

Рух машини відбувається зі швидкістю  $v(t)$  і дирекційним кутом  $\alpha(t)$ , що неперервно змінюються. Отже, миттєві значення поточних координат у момент часу  $t$  будуть рівні:

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{\text{вих}} + \int_0^t v_{\text{г}}(t) \cos[\alpha_{\text{вих}} + \Delta \alpha_i(t)] dt; \\ Y &= Y_{\text{вих}} + \int_0^t v_{\text{г}}(t) \sin[\alpha_{\text{вих}} + \Delta \alpha_i(t)] dt. \end{aligned} \right\}.$$

У загальному випадку машина рухається по нерівній місцевості. Оскільки топографічні карти виконані в горизонтальній проекції, то істину швидкість машини  $v(t)$  необхідно привести до площини горизонту.

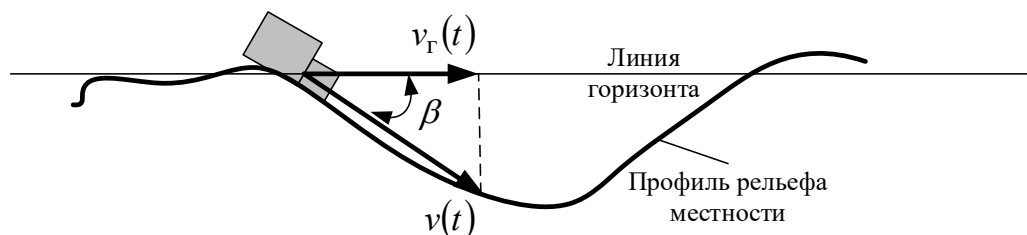


Рис. 2.2 Рух по нерівній місцевості

При цьому

$$v_{\text{г}}(t) = v(t) \cos[\beta(t)],$$

де  $\beta$  - кут нахилу рельєфу місцевості до площини горизонту.

З огляду на нерівності рельєфу місцевості, одержимо алгоритм рішення першої навігаційної задачі :

$$\left. \begin{aligned} X &= X_{\text{вих}} + \int_0^t v_{\Gamma}(t) \cos[\beta(t)] \cos[\alpha_{\text{вих}} + \Delta\alpha_i(t)] dt; \\ Y &= Y_{\text{вих}} + \int_0^t v_{\Gamma}(t) \cos[\beta(t)] \sin[\alpha_{\text{вих}} + \Delta\alpha_i(t)] dt. \end{aligned} \right\}.$$

Таким чином для вирішення першої навігаційної задачі необхідно у вихідному пункті перед початком руху визначити координати , місцезнаходження об'єкту, його дирекційний кут та ввести ці дані в топоприв'язочне обладнання. Надалі при русі об'єкту навігаційна система має автоматично змінювати швидкість руху машини (або пройдений шлях), фіксувати зміну дирекційного кута у відповідності до розробленого алгоритму.

## 2.2 Алгоритми визначення напрямку до пункту призначення і відстані до нього

Друга навігаційна задача вирішується в тих випадках, коли відомі координати пункту призначення. При наявності на машині НК, що вирішує першу навігаційну задачу, представляється можливим знайти напрямок  $\alpha_{\text{III}}$  руху в заданий пункт призначення й обчислити відстань, що  $S_{\text{III}}$  залишилася до його . Принцип рішення другої навігаційної задачі надано на рис. 2.3.

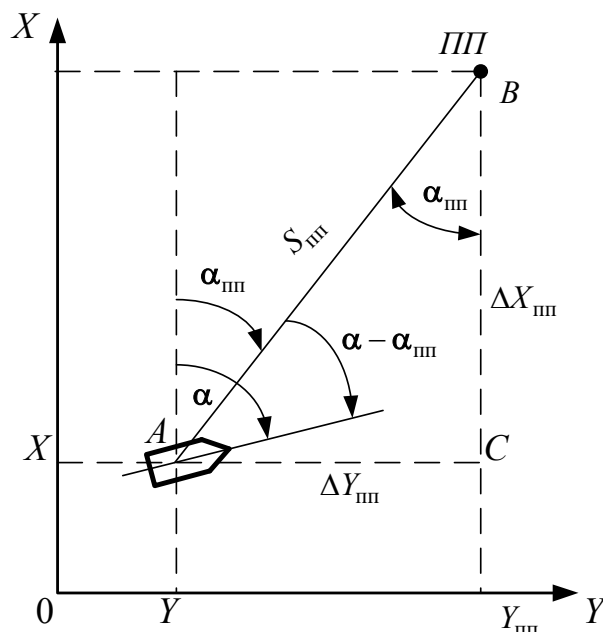


Рис. 2.3 Вирішення другої навігаційної задачі

З прямокутного трикутника ABC визначаються відстань до пункту призначення  $S_{\text{пп}}$  і напрямок  $\alpha_{\text{пп}}$  руху на цей пункт

$$S_{\text{пп}} = \sqrt{(\Delta X_{\text{пп}})^2 + (\Delta Y_{\text{пп}})^2} = \sqrt{(X_{\text{пп}} - X)^2 + (Y_{\text{пп}} - Y)^2},$$

$$\alpha_{\text{пп}} = \arctg \frac{\Delta Y_{\text{пп}}}{\Delta X_{\text{пп}}} = \arctg \frac{Y_{\text{пп}} - Y}{X_{\text{пп}} - X}.$$

Отже, для вирішення другої навігаційної задачі необхідно визначити у вихідному пункті відстань від нього до пункту призначення:

$$\Delta X_{\text{пп вих}} = X_{\text{пп}} - X_{\text{вих}};$$

$$\Delta Y_{\text{пп вих}} = Y_{\text{пп}} - Y_{\text{вих}}$$

та ввести ці дані в навігаційне обладнання. Поточний дирекційний кут на пункт призначення та дальність до нього будуть обраховуватись автоматично у відповідності з отриманими алгоритмами..

### 2.3 Алгоритми обчислення координат об'єктів, що спостерігаються

Координати об'єктів спостереження  $X_{\text{ц}}$  і  $Y_{\text{ц}}$  з машини, яка обладнана НК, можна обчислити, знаючи дальність  $D_{\text{ц}}$  і кут  $\alpha_{\text{віз}}$  візування на об'єкт спостереження.

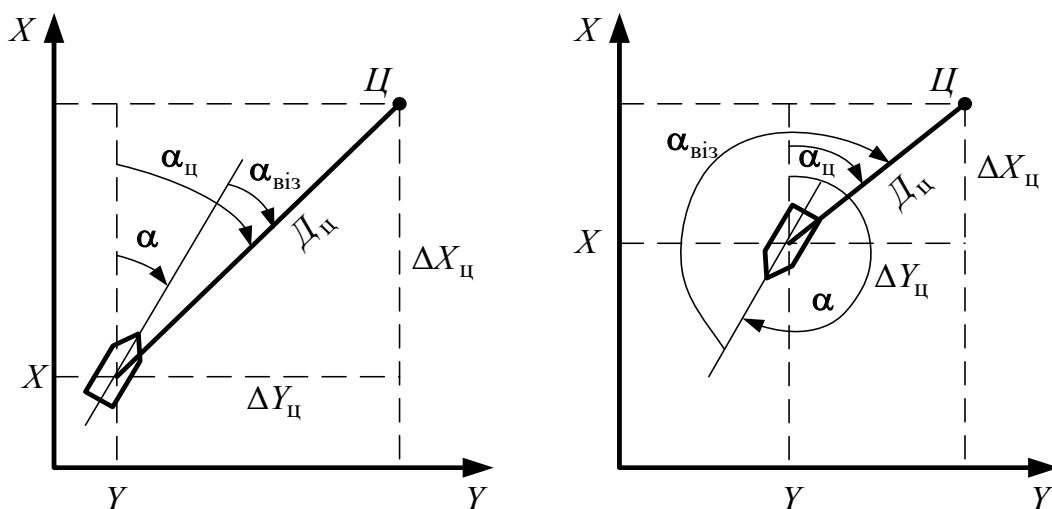


Рис. 2.4 Вирішення третьої навігаційної задачі

З рис. 2.4 випливає, що при відомих  $X$  і  $Y$  машини координати  $X_{ц}$  й  $Y_{ц}$  об'єкта, що спостерігається, рівні:

$$\left. \begin{aligned} X_{ц} &= X + \Delta X_{ц} = X + D_{ц} \cos \alpha_{ц}; \\ Y_{ц} &= Y + \Delta Y_{ц} = Y + D_{ц} \sin \alpha_{ц}, \end{aligned} \right\}$$

де  $D_{ц}$  - відстань від машини до об'єкта спостереження;  $\alpha_{ц}$  - дирекційний кут об'єкта спостереження.

Дирекційний кут об'єкта спостереження визначається співвідношеннями:

$$\alpha_{ц} = \alpha + \alpha_{\text{віз}} \quad \text{при } \alpha < 60 - 00;$$

$$\alpha_{ц} = \alpha + \alpha_{\text{віз}} - (60 - 00) \quad \text{при } \alpha > 60 - 00.$$

Таким чином, для обчислення координат об'єкта спостереження необхідно виміряти відстань до нього, визначити кут візування об'єкта спостереження, ввести їх у лічильно-вирішальний пристрій, де збільшення координат підсумуються з координатами машини.

## 2.4 Функціональне моделювання навігаційного комплексу

Функціональну схему навігаційної системи, що вирішує першу навігаційну задачу наведено відповідно до розробленого в 2.1 алгоритму на рис. 2.5. Її аналіз показує, що узагальненими складовими частинами системи є курсова і шляхова системи, обчислювач і пристрої відображення інформації.

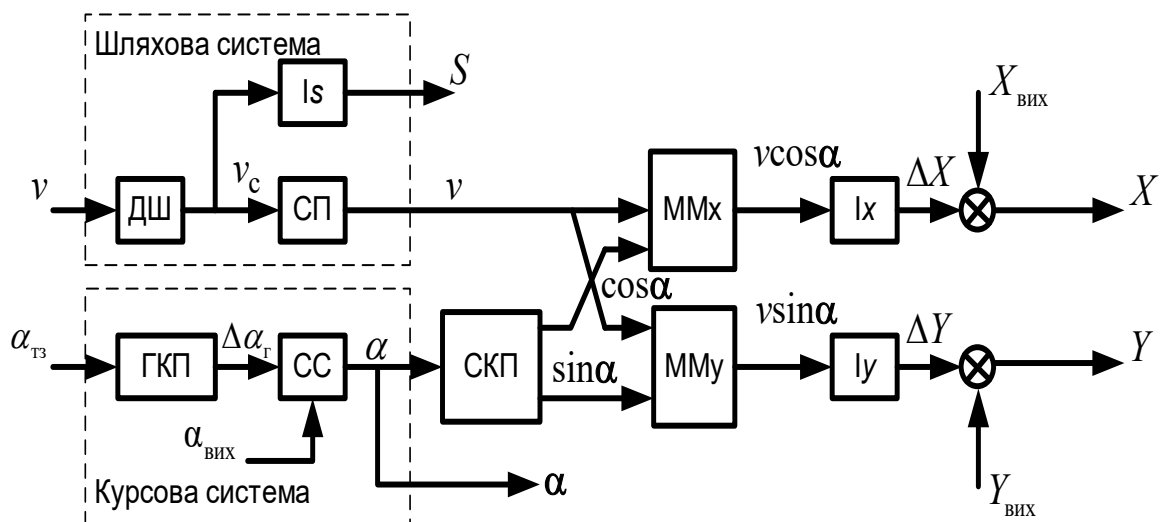


Рис. 2.5 Функціональна схема навігаційної системи для рішення першої навігаційної задачі

До складу системи, як правило, входять: ДШ - датчик швидкості, І - інтегратор, СП - передача, що стежить, ГПК - гірокурсопоказчик, СС - система, що стежить, СКП – синусно - косинусний перетворювач, ММ - множний механізм.

Вихідною інформацією (вхідними даними) для рішення цієї задачі є швидкість  $v$  руху машини, координати вихідної точки  $X_{исх}$  і  $Y_{исх}$ , а також вихідний дирекційний кут  $\alpha_{исх}$ , від якого ведеться відлік вимірів курсу.

Навігаційною інформацією виходу є поточні координати  $X$  і  $Y$  машини і її дирекційний кут  $\alpha$ . У деяких випадках на спеціальному планшеті Пл відображається на топографічній карті шлях  $S$ , пройдений машиною на місцевості, а величина пройденого шляху реєструється спеціальними лічильниками.

У НК безперервної дії всі елементи функціональної схеми реалізуються приладами й апаратами з безперервними вхідними і вихідними сигналами. У випадку побудови НК на базі дискретних елементів функціональна схема буде мати ряд особливостей.

Функціональну схему вирішення другої навігаційної задачі наведено відповідно до розробленого в 2.2 алгоритму на рис. 2.6.

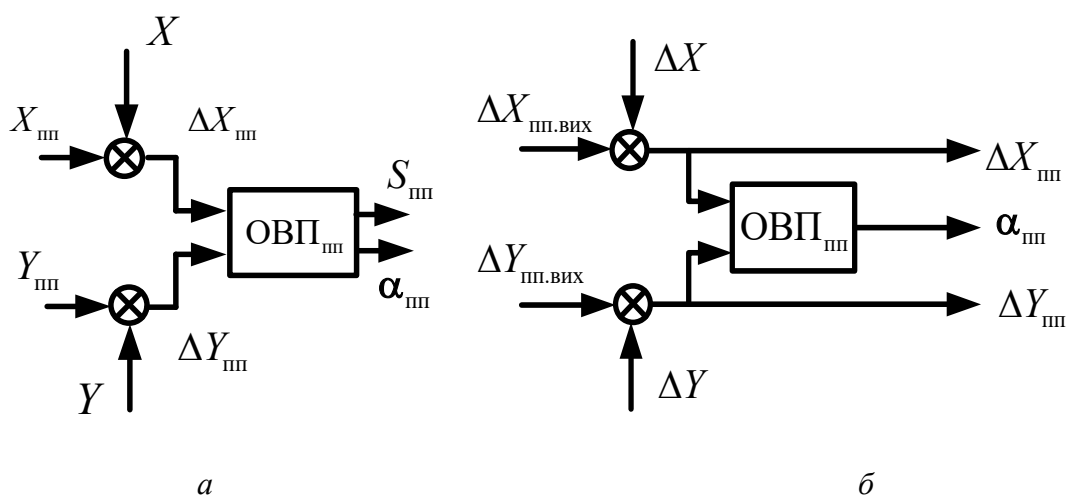


Рис. 2.6 Функціональна схема системи для вирішення другої навігаційної задачі:  
 а – при вводі координат  $X_{пп}$  та  $Y_{пп}$  пункту призначення; б – при вводі початкових приростів  $\Delta X_{пп.вих}$  та  $\Delta Y_{пп.вих}$  координат пункту призначення

Вхідною інформацією вирішення другої задачі є поточні координати  $X$  та  $Y$  робота та координати пункту призначення  $X_{\text{пп}}$  та  $Y_{\text{пп}}$ . Вихідною інформацією є напрям  $\alpha_{\text{пп}}$  на пункт призначення та найкоротша відстань  $S_{\text{пп}}$  до цього пункту.

У деяких випадках з метою спрощення конструкції апаратури розраховують не відстань  $S_{\text{пп}}$ , а різниці координат:

$$\Delta X_{\text{пп.вих}} = X_{\text{пп}} - X_{\text{вих}};$$

$$\Delta Y_{\text{пп.вих}} = Y_{\text{пп}} - Y_{\text{вих}}.$$

Функціональну схему для цього випадку наведено на рис. 2.6,б. У будь-якій точці маршруту руху різниця координат, що залишилась, буде визначатись співвідношеннями:

$$\Delta X_{\text{пп}} = \Delta X_{\text{пп.вих}} - \Delta X;$$

$$\Delta Y_{\text{пп}} = \Delta Y_{\text{пп.вих}} - \Delta Y,$$

а напрям на пункт призначення:

$$\alpha_{\text{пп}} = \arctg \frac{\Delta Y_{\text{пп}}}{\Delta X_{\text{пп}}}.$$

Цей варіант другої навігаційної задачі хоча й простіше за конструктивною реалізацією, але менш зручний в експлуатації.

Функціональну схему вирішення третьої навігаційної задачі наведено відповідно до розробленого в 2.3 алгоритму на рис. 2.7.

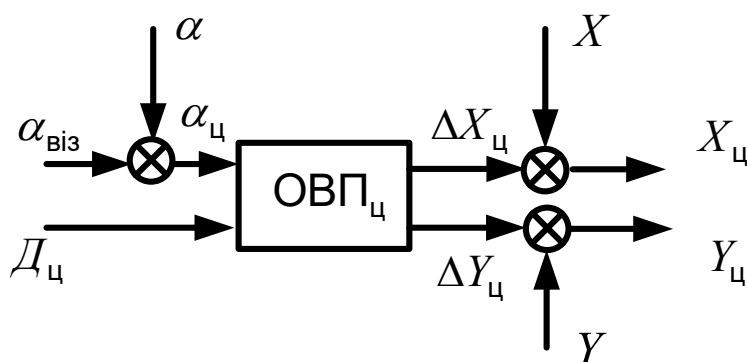


Рис. 2.7 Функціональна схема системи для вирішення третьої навігаційної задачі

НК може бути призначений для рішення однієї (першої), двох або трьох навігаційних задач. У залежності від цього склад його функціональної схеми буде відповідно змінюватися.

Повна функціональна схема навігаційного комплексу, який дозволяє вирішувати всі три навігаційні задачі, представлена на рис. 2.8. Схема являє собою комбінацію схем (рис. 2.5 – 2.7).

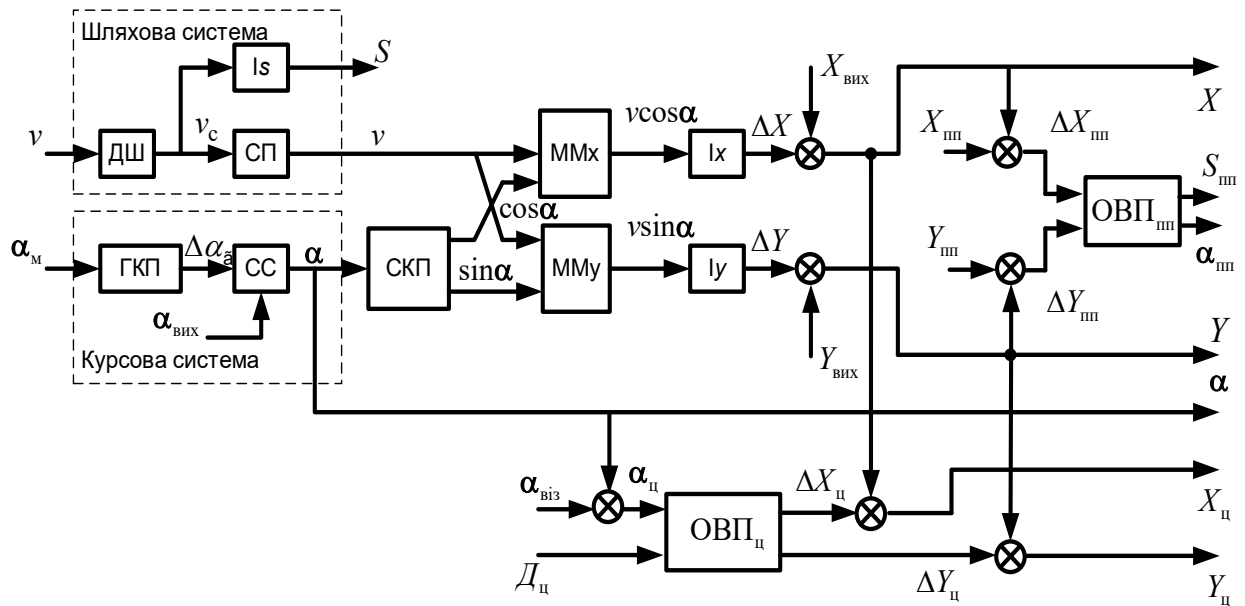


Рис. 2.8 Функціональна схема навігаційного комплексу

Елементна база навігаційних комплексів удосконалювалася в міру розвитку науки й техніки. Якщо комплекси першого покоління були механічними системами, то комплекси другого покоління являють собою електромеханічні або електронні системи.



## РОЗДІЛ 3

### ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ БАЗОВИХ КОМПОНЕНТ НАВІГАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ

#### 3.1 Статистичний аналіз точності рішення навігаційних задач за допомогою НК

Відомо, що вимірювальні прилади мають інструментальні, методичні і трансформовані (вхідні) помилки. У свою чергу інструментальні помилки можуть бути систематичними і випадковими. Дослідження показують, що помилки визначення координат НК мають як систематичні, так і випадкові складові.

П о м и л к и   в и з н а ч е н н я   в и х і д н и х   д а н и х

Координати  $X_{\text{вих}}$ ,  $Y_{\text{вих}}$  вихідної точки можна знайти прив'язкою по опорній геодезичній мережі (зі середньоквадратичною помилкою 3...5 м) або по контурних точках топографічної карти.

Помилка визначення координат по карті залежить від точності нанесення на неї контурних точок і точності виконання графічних робіт. Середньоквадратична похибка при обчисленні координат  $X_{\text{вих}}$ ,  $Y_{\text{вих}}$  початкової точки по карті масштабу 1:50000 складає 22...23 м, а по карті масштабу 1:100000 - 42...45 м.

Середньоквадратична похибка обчислення дирекційного кута  $\alpha_{\text{вих}}$  по двох контурних точках топографічної карти, що знаходяться одна від одної на 6...8 см з урахуванням похибок візирних споруд машини 00-02,5 складає 00-06...00-07. Більш високу точність можна одержати за допомогою гіроскопічних бусолей.

Зазначені помилки випадкові як за знаком, так і по величині. Після введення вихідних даних в апаратуру вони дають систематичні помилки у визначенні поточних координат.

## Помилки виміру швидкості руху машини

Якщо швидкість руху машини вимірюється по кутовій частоті обертання відомого (ведучого) колеса, то мають місце методичні помилки, обумовлені буксуванням або юзом машини, зміною діаметра колеса при перемінному тиску в шинах, а також впливом нахилу рельєфу місцевості, по якій рухається машина.

Методичні помилки можуть змінюватися в межах  $\pm 10\%$  пройденого шляху. Тому для кожної машини в конкретних умовах руху визначається і встановлюється коефіцієнт коректури шляху, що дозволяє зменшити зазначені помилки до  $1\%$  пройденого шляху.

Помилки, обумовлені похибками синхронної передачі, малі і в порівнянні з методичними їх можна не враховувати.

Помилки доплерівських датчиків швидкості залежать від покриття місцевості (асфальт, пісок, трава, ...) і параметрів самого датчика (довжина хвилі, ширина діаграми спрямованості, точності і методу виміру доплерівської частоти й ін.). Наявні в даний час датчики на основних ґрунтах забезпечують вимір швидкості руху машини з помилками  $0,3\% \dots 0,5\%$  величини вимірюваної швидкості.

## Помилки гіроскопічних показчиків курсу

Помилки гіроскопічних показчиків курсу викликаються недосконалістю конструкції і недостатньою точністю виготовлення приладу, неповною компенсацією вертикальної складової кутової швидкості обертання Землі, а також зовнішніми збурюваннями, що діють на рамки гіроскопа при русі машини.

Величина помилок показчиків курсу має тенденцію до збільшення з ростом тривалості роботи приладу. Точність показчиків курсу звичайно оцінюється середньоквадратичною величиною швидкості відходу або середнім значенням швидкості відходу за визначений інтервал часу. Сучасні гіроскопічні показчики курсу мають середні швидкості відходів від 10 до 20 ду/ч.

Підвищення точності гіроскопічних показчиків курсу забезпечується як конструктивно-технологічними, так і експлуатаційними заходами.

До останніх в першу чергу треба віднести точність виконання азимутальної корекції (широтного балансування), що забезпечує відповідність швидкості прецесії головної осі гіроскопа широті місця розташування машини. Стабільність цього регулювання, у свою чергу, залежить від точності системи горизонтування, яка автоматично утримує головну вісь гіроскопа в площині горизонту.

#### Помилки лічильно-вирішальних приладів

Помилки лічильно-вирішальних приладів обумовлені похибками систем введення, що синхронно стежать, дирекційного кута і швидкості руху машини, а також неточністю відтворення математичних функцій.

Застосовувані в НК електромеханічні лічильно-вирішальні пристрої мають максимальні помилки не більш 0,2%. Основні помилки дискретних розрахунково-вирішальних приладів з урахуванням статистичної лінеаризації не перевищують 0,1%.

#### Помилки маршруту прямування

Істотний вплив на формування сумарної помилки визначення координат машини, крім розглянутих вище причин, робить кривизна маршруту прямування. Зі збільшенням кривизни маршруту величина відносної радіальної помилки  $\delta_r$  буде зменшуватися, тому що на криволінійному маршруті відбувається часткова компенсація систематичних помилок. Найбільший вплив на величину радіальної помилки роблять помилки визначення вихідного і виміру поточного дирекційного кутів, а також помилки виміру швидкості (шляху) руху машини.

Аналіз помилок окремих систем і НК у цілому показує, що для підвищення точності визначення місця розташування машини необхідно стежити за правильністю введення вихідного дирекційного кута, широтного балансування гіроскопічних показників курсу і правильністю вибору коефіцієнта коректури шляху. Для збільшення тривалості руху без переорієнтування доцільно заздалегідь обчислити по карті координати характерних точок місцевості і при проходженні цих точок установлювати істинні координати на шкалах навігаційної апаратури. У результаті накопичені помилки будуть

компенсуватися, і точність визначення поточних координат відповідно збільшиться.

### 3.2 Моделювання навігаційної системи

Сучасні навігаційні системи є комбінацією курсової та шляхової підсистем, обчислювально-вирішальних пристроїв і приладів індикації. До кожної з підсистем можуть входити різні за конструкцією і принципом дії елементи, вузли та блоки.

Курсові системи виміряють та вводять в апаратуру дирекційний кут  $\alpha_m$  машини. Вони виконуються на базі триступеневого гіроскопу, який є чутливим елементом курсової системи.

Сигнал на виході курсової системи буде пропорційний вимірюваній складової дирекційного кута машини  $\alpha_m$  і помилці гіроскопа  $\alpha_\Sigma$ .

$$U_\alpha = k_{\text{пр}} (\alpha_\Sigma + \alpha_m),$$

де  $k_{\text{пр}}$  - передатний коефіцієнт перетворюючого пристрою.

Розкриваючи значення помилок гіровертикалі, отримуємо

$$U_\alpha = k_{\text{пр}} \left( \frac{k_k + Hs}{k_k^2 (T_2^2 s^2 + T_1 s + 1)} M_z + \frac{f_z (T_z s + 1) s}{k_k^2 (T_2^2 s^2 + T_1 s + 1)} M_x + \alpha_m \right),$$

де  $W_z(s) = \frac{\alpha_1}{M_z} = \frac{k_k + Hs}{k_k^2 (T_2^2 s^2 + T_1 s + 1)}$ ;  $W_x(s) = \frac{\alpha_2}{M_x} = \frac{f_z (T_z s + 1) s}{k_k^2 (T_2^2 s^2 + T_1 s + 1)}$  -

передатні функції по зовнішніх збурень, що діють на рамки гіроскопа.

З урахуванням зроблених зауважень структурна схема курсової системи має вигляд наведений на рис. 3.1.

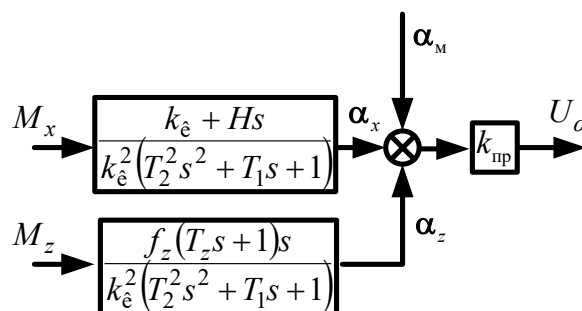


Рис.3.1 Структурна схема курсової системи

Шляхові системи забезпечують вимірювання швидкості  $V(t)$  машини та введення коректури шляху. Як правило механічні та електромеханічні датчики вимірюють шляхову швидкість за кутовою частотою обертання ведучого колеса об'єкту

$$V = \Omega_k R_k = 2\pi R_k \frac{dn}{dt} = 2\pi R_k s n.$$

Відповідно до рівняння передатна функція шляхової системи має вид

$$W_{шс}(s) = \frac{V}{n} = 2\pi R_k s \quad \text{або} \quad W_{шс}(s) = \frac{V}{\Omega_k} = R_k,$$

де  $n$  - число оборотів ведучого колеса.

Швидкість вводиться в обчислювальний прилад за допомогою передачі, що стежить. З урахуванням передатної функції передачі  $W_{пс}(s) = \frac{U_v}{V} = \frac{k_v}{T_v s + 1}$ ,

отримаємо передатну функцію

$$W_{шс}(s) = \frac{U_v}{\Omega_k} = \frac{R_k k_{пр} k_v}{T_v s + 1}.$$

де  $k_{пр}$  - передатний коефіцієнт перетворюючого пристрою.

Структурна схема шляхової системи наведена на рис.5.2.

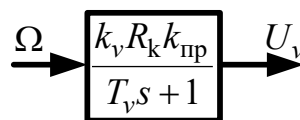


Рис.3.2 Структурна схема шляхової системи

Обчислювально-вирішувачі прилади виконують функціональні перетворення у відповідності з алгоритмами вирішення навігаційних задач. До складу обчислювачів входять синусно-косинусні перетворювачі, помножувальні, інтегруючі прилади та інші функціональні перетворювачі зі своїми коефіцієнтами посилення і постійними часу.

Відповідно до функціональної схеми навігаційної системи і передатним функціям елементів, що входять до неї, на підставі пакета прикладних програм Simulink отримана модель НК. Модель представлена на рис.3.3.

На моделі елементи, пов'язані зі шляховою системою підняті зеленим кольором, елементи курсової системи - блакитним, а елементи обчислювача - жовтим.

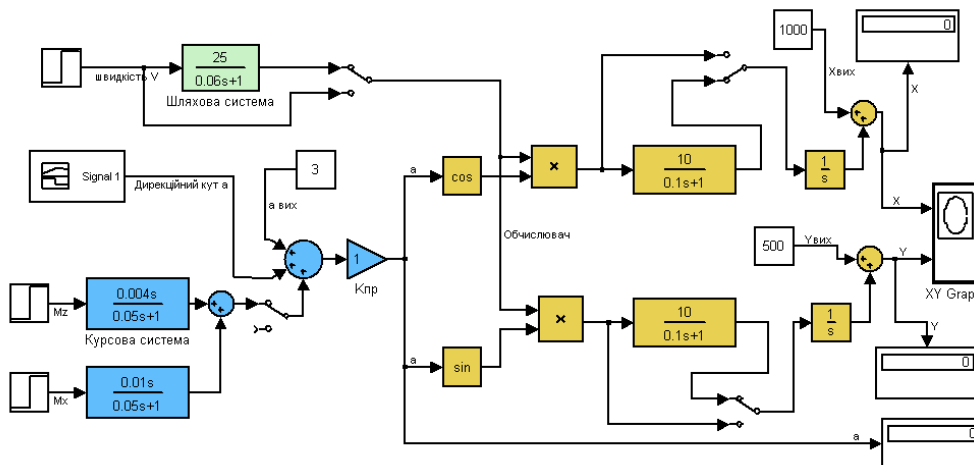


Рис.3.3 Модель навігаційного комплексу

### 3.3 Дослідження точності визначення вихідної інформації

Налагодження моделі виконувалася з використанням стандартного пакету типових сигналів як показано на рис.3.3.

Методика організації досліджень полягала в наступному:

- передбачалося, що система має параметри, закладені в модель;
- у модель вводилися вихідні дані для вирішення першої навігаційної задачі;
- програмувався маршрут руху об'єкту:

%вихідні дані

$v=[0 \ 5 \ 10 \ 15 \ 10 \ 25 \ 30 \ 45 \ 50 \ 30 \ 15 \ 15 \ 15 \ 15];$

$\text{alphagrad}=[0 \ 15 \ 20 \ 17 \ 10 \ 10 \ 15 \ 10 \ 25 \ 45 \ 90 \ 150 \ 150 \ 150 \ 150];$

$x_0=10; y_0=15;$

$t=[0 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 30 \ 35 \ 40 \ 45 \ 50 \ 55 \ 60 \ 65 \ 70];$

$m=\text{length}(\text{alphagrad});$

$\text{betagrad}=[0 \ 5 \ 5 \ 10 \ 15 \ 20 \ 25 \ 25 \ 30 \ 20 \ 12 \ 10 \ 10 \ 8 \ 10];$

$n=[1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 7\ 8\ 9\ 10\ 11\ 12\ 13\ 14\ 15]$ ;

- після запуску моделі фіксувався на планшеті пройдений маршрут;
- послідовно і по черзі вводилися в модель "ідеальні" підсистеми - шляхова, курсова, обчислювач, і знову фіксувався на планшеті той же маршрут при колишніх вихідних даних;
- на кінцевому етапі в модель були введені всі три "ідеальні" підсистеми - шляхова, курсова, обчислювач, і зафіксований "пройдений" маршрут;
- виконувався аналіз впливу підсистем на якість функціонування системи ТПО

На рис.3.4 наведено маршрути руху при реальному і "ідеальному" навігаційному обладнанні.

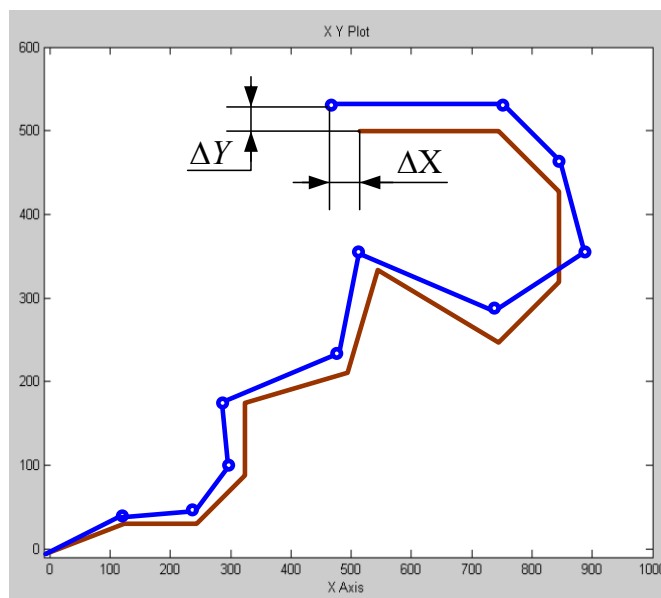


Рис.3.4 Маршрути руху при реальному і "ідеальному" комплексах

Як показують дослідження, при моделюванні маршруту протяжністю 1200-1400км помилки у визначенні координат системи в пункті призначення склали  $\Delta X = 40\text{км}$  і  $\Delta Y = 25\text{км}$  або 3,3% і 2,1% від пройденого шляху відповідно.

Як впливає з аналізу складових похибок навігаційного комплексу основними джерелами похибок є обчислювальне-вирішальні прилади.

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІТИЧНЕ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

#### 4.1 Комп'ютерно-інтегрований телеметричний навігаційний комплекс

Модернізація навігаційних комплексів з метою підвищення якості їх функціонування може бути виконана на базі інтегрованих комп'ютерних технологій.

Рівень сучасного розвитку засобів автоматизації та технологій дозволяє запропонувати комп'ютерно-інтегровану систему (рис. 4.1).

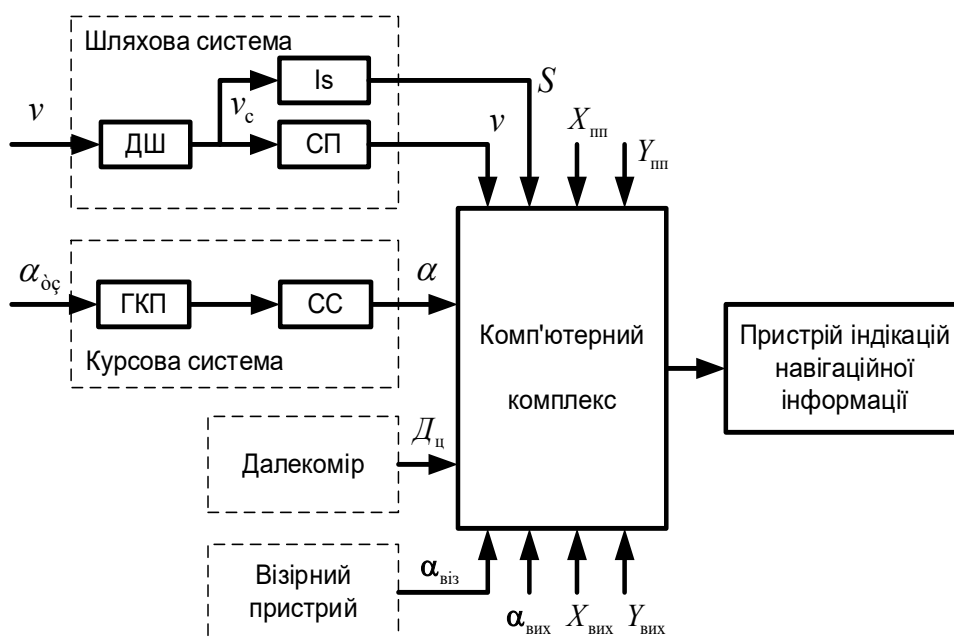


Рис. 4.1 Функціональна схема комп'ютерно-інтегрованої системи

Основою системи є комп'ютерний комплекс, призначений для введення, зберігання, обробки і передачі інформації. Як курсова та шляхова системи можуть бути використані варіанти останніх модернізацій одометричної навігації транспортних засобів, що забезпечують необхідні показники якості. Далекомір і візорні пристрої неважко підібрати в рамках конверсійних програм.

Система може бути запрограмована для вирішення, як першої, так і усіх трьох навігаційних задач. Крім того, в ній додатково можуть бути реалізовані методи визначення та корекції вихідної інформації в особливих умовах.

Результати моделювання автором рішення навігаційної задачі серійними і комп'ютерно-інтегрованими системами надано на рис. 4.2.



Точками позначений маршрут транспортного засобу, обчислений серійною апаратурою, хрестиками - комп'ютерно-інтегрованою системою. У середньому розбіжність навігаційної інформації не перевищує 5-7%, що підтверджує можливість використання комп'ютерних комплексів як обчислювальних пристроїв навігаційних комплексів.

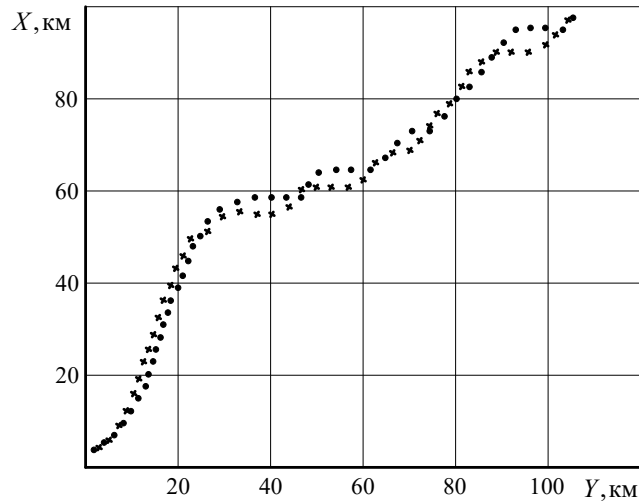


Рис. 4.2 Результати моделювання

Автором були розроблені алгоритми вирішення навігаційних задач комп'ютерно-інтегрованим комплексом. Алгоритми наведено на рис. 4.3.

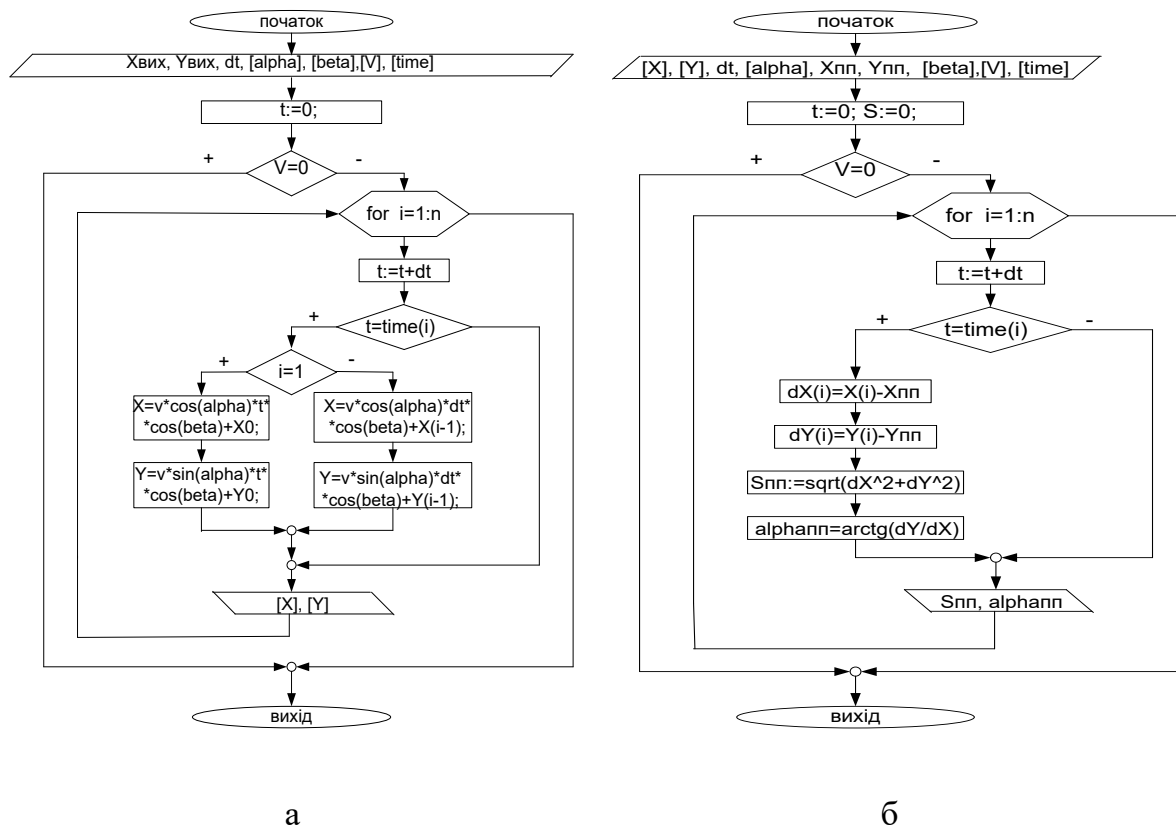
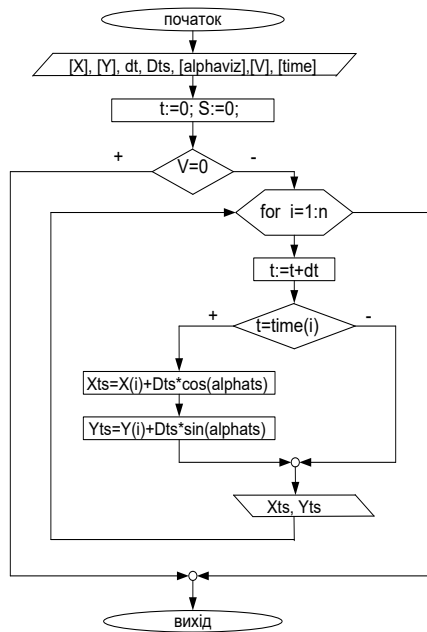


Рис. 4.3 Алгоритми вирішення навігаційних задач:  
а-першої, б – другої



В

Рис. 4.3 Алгоритми вирішення навігаційних задач:  
в - третьої

Удосконалення програмного забезпечення дозволить одержувати навігаційну інформацію високої точності.

Якщо навігаційна інформація використовується мобільним роботом, то за умови обмеження його розмірів, у комплектацію робота можуть бути включені тільки навігаційні датчики та прилади передачі даних на відстань, а комплекс обробки інформації, який вирішує навігаційні задачі, розташовують поза роботом. Оператор отримує інформацію з датчиків, виконує обробку даних та передає результати мобільному роботу.

Реалізувати передачу інформації від робота до оператора дає можливість використання телеметрії.

Функціональну схему комп'ютерно-інтегрованого комплексу з використанням телеметрії надано на рис. 4.4.

Система може бути запрограмована для вирішення, як першої, так і всіх трьох навігаційних задач. В ній додатково можуть бути реалізовані методи визначення та корекції вихідної навігаційної інформації в особливих умовах за допомогою телеметрії.

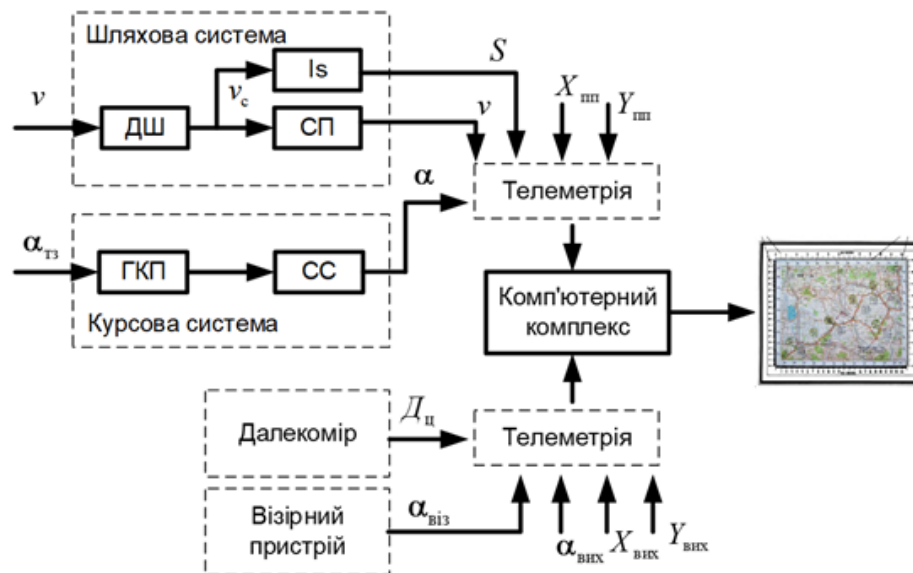


Рис. 4.4 НКІК з використанням телеметрії

#### 4.2 Обґрунтування способу автоматизованого визначення дирекційного кута машини і коректури шляху по реперних точках

З деяких причин не завжди представляється можливим перед початком руху визначити і ввести в апаратуру початкові дані. В цьому випадку під час руху машини ввімкнена апаратура видаватиме помилкову поточну інформацію. Залишається або відмовитися від вживання апаратури, або зупинитися і виконати всі заходи щодо визначення і введення необхідної інформації  $X_{вих}; Y_{вих}; \alpha_{вих}$ .

Як показали попередні дослідження, існує ще один шлях рішення проблеми. Якщо мати у складі навігаційного устаткування комп'ютерно-інтегрований комплекс, то можна без виходу з машини розраховувати її поточний дирекційний кут і коефіцієнт коректури шляху. Для цього необхідно лише розмістити машину над відповідною реперній точкою місцевості, координати якої можна з високою точністю визначити по карті. В якості таких точок можуть виступати перехрестя доріг.

Знайдемо алгоритми розрахунку інформації, що цікавить нас.

Припустимо, що об'єкт із НК перебуває у вихідній точці Вих. с координатами  $X_{вих}; Y_{вих}$  (рис. 4.5).

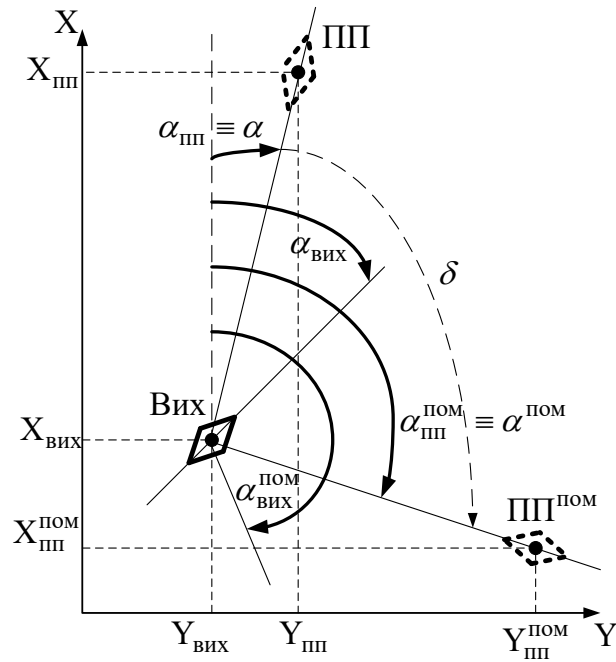


Рис. 4.5 Визначення навігаційної інформації

Тому що попереднє орієнтування не проводиться то вимірювальна вісь гірозадатчика курсу займає довільне просторове положення, що визначає помилковий вихідний дирекційний кут  $\alpha_{\text{вих}}^{\text{пом}}$  об'єкта.

Помилковий вихідний дирекційний кут відрізняється від істинного на величину помилки  $\delta$ :

$$\alpha_{\text{вих}}^{\text{пом}} = \alpha_{\text{вих}} \pm \delta.$$

При прямованні об'єкта по маршруті зі швидкістю  $V_i$  протягом часу  $t_i$  НК покаже його помилкові координати

$$\left. \begin{aligned} X^{\text{пом}} &= X_{\text{вих}} + (1 + k_{\text{кш}}) \sum_{i=1}^n V_i t_i \cos(\alpha_{\text{вих}}^{\text{пом}} + \Delta\alpha_i) \\ Y^{\text{пом}} &= Y_{\text{вих}} + (1 + k_{\text{кш}}) \sum_{i=1}^n V_i t_i \sin(\alpha_{\text{вих}}^{\text{пом}} + \Delta\alpha_i) \end{aligned} \right\}.$$

Для простоти міркувань будемо думати, що об'єкт рухається в напрямку реперної точки ПП найкоротшим шляхом за курсом  $\alpha_{\text{пп}} \equiv \alpha$ . Через деякий час він зупиняється над нею. Координати ПП ( $X_{\text{пп}}$ ;  $Y_{\text{пп}}$ ) легко визначаються по карті.

Оскільки НК використовує для розрахунку координат помилковий вихідний дирекційний кут  $\alpha_{\text{вих}}^{\text{пом}}$ , то він визначить, тим самим, деяке мнине

(помилкове) поточне положення об'єкта в  $\text{ПП}^{\text{пом}} (X_{\text{пп}}^{\text{пом}}; Y_{\text{пп}}^{\text{пом}})$  з курсом  $\alpha_{\text{пп}}^{\text{пом}} \equiv \alpha^{\text{пом}}$ .

Неважко помітити, що абсолютна погрішність  $\delta$  визначення істинного дирекційного кута об'єкта є різницею між напрямками з вихідного пункту Вих. на реперну точку ПП і точку мнимого знаходження об'єкта  $\text{ПП}^{\text{пом}}$

$$\delta = \alpha_{\text{пп}}^{\text{пом}} - \alpha_{\text{пп}}.$$

Обчислюючи значення  $\alpha_{\text{пп}}^{\text{пом}}$  й  $\alpha_{\text{пп}}$  через збільшення координат ПП і  $\text{ПП}^{\text{пом}}$  відносно вихідного пункту Вих, одержуємо алгоритм розрахунку помилки дирекційного кута, яку необхідно усунути

$$\delta = \arctg \frac{Y_{\text{пп}}^{\text{пом}} - Y_{\text{вих}}}{X_{\text{пп}}^{\text{пом}} - X_{\text{вих}}} - \arctg \frac{Y_{\text{пп}} - Y_{\text{вих}}}{X_{\text{пп}} - X_{\text{вих}}}.$$

Поправка на коректуру шляху легко визначається на підставі алгоритму

$$\Delta k = \frac{S_{\text{пп}} - S_{\text{пп}}^{\text{пом}}}{S_{\text{пп}}} = 1 - \frac{S_{\text{пп}}^{\text{пом}}}{S_{\text{пп}}} = 1 - \sqrt{\frac{(X_{\text{пп}}^{\text{пом}} - X_{\text{вих}})^2 + (Y_{\text{пп}}^{\text{пом}} - Y_{\text{вих}})^2}{(X_{\text{пп}} - X_{\text{вих}})^2 + (Y_{\text{пп}} - Y_{\text{вих}})^2}}.$$

У загальному випадку об'єкт рухається в напрямку реперної точки довільному маршруту. Тоді, при досягненні об'єктом реперної точки, кут  $\alpha_{\text{пп}}$  на пункт призначення (реперну точку) буде відрізнятися від дирекційного кута (курсу) об'єкта  $\alpha$  на деяке значення  $\xi$ . Однак, на це ж значення  $\xi$  буде відрізнятися й кут  $\alpha_{\text{пп}}^{\text{пом}}$  на помилковий пункт призначення від помилкового дирекційного кута (курсу)  $\alpha^{\text{пом}}$ . Неважко показати, що кінцеві алгоритми розрахунку поправок збіжаться з вищенаведеними.

Таким чином, при досягненні об'єктом реперної точки необхідно на підставі отриманих алгоритмів розрахувати поправки й увести їх у НК.

### 4.3 Програмне забезпечення розрахунків похибки дирекційного кута і коефіцієнта коректури шляху по реперних точках

В ході виконання кваліфікаційної роботи було розроблене програмне забезпечення, що реалізує розрахунок похибки дирекційного кута і коефіцієнта коректури шляху по реперних точках. Для розробки програми було

використане середовище Delphi для мови Object Pascal, спрямованого на використання в операційній системі Windows різних версій.

#### *Опис вхідних і вихідних даних*

Вхідними даними для програми є наступні параметри: початкові координати руху  $X_{вих}$  та  $Y_{вих}$ , координати пункту призначення  $X_{пп}$ ,  $Y_{пп}$  та координати точки, на якій знаходиться рухомий об'єкт  $X_{пп}^{хиб}$ ,  $Y_{пп}^{хиб}$ .

Вихідними параметрами програми є: похибка дирекційного кута  $\delta$  та коефіцієнт коректури шляху  $k$ .

Вхідні дані вводяться в таблицю, що має вигляд, зображений на рис.4.6.

Вхідні дані	
Координата $X_{вих}$ .	3018750
Координата $Y_{вих}$ .	4820500
Хибна коорд. $X_{пп}^{хиб}$	3118600
Хибна коорд. $Y_{пп}^{хиб}$	5020460
Координата $X_{пп}$	5020300
Координата $Y_{пп}$	5118600

Рис. 4.6 Введення вхідних даних в інтерфейсі програми

В результаті роботи програма видає значення похибки дирекційного кута та коефіцієнта коректури шляху (рис. 4.7)

#### **Похибка директ. кута, $\delta$**

Розрахунок	0,127348371978102
------------	-------------------

#### **Коеф. корект. шляху, $k$**

Розрахунок	0,889552780752589
------------	-------------------

Рис. 4.7 Виведення вихідних даних в інтерфейсі програми

#### *Ліст инт програми*

unit Unit1;

interface

uses

Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ExtCtrls;

var

Xish,Yish,Xlosh,Ylosh,Xpn,Ypn,S,dK: Real;

type

TForm1 = class(TForm)

  GroupBox1: TGroupBox;

  Edit1: TEdit;

  Label1: TLabel;

  Edit2: TEdit;

  Label2: TLabel;

  Edit3: TEdit;

  Edit4: TEdit;

  Edit5: TEdit;

  Edit6: TEdit;

  Label3: TLabel;

  Label4: TLabel;

  Label5: TLabel;

  Label6: TLabel;

  Label7: TLabel;

  Label8: TLabel;

  Label9: TLabel;

  Edit7: TEdit;

  Button1: TButton;

  Label10: TLabel;

  Button2: TButton;

  Edit8: TEdit;

  Panel1: TPanel;

  Button3: TButton;

```

Label11: TLabel;
Label12: TLabel;
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;
var
  Form1: TForm1;
implementation
{$R *.dfm}
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  Xish:=StrToFloat (Edit1.Text);
  Yish:=StrToFloat (Edit2.Text);
  Xlosh:=StrToFloat (Edit3.Text);
  Ylosh:=StrToFloat (Edit4.Text);
  Xpn:=StrToFloat (Edit5.Text);
  Ypn:=StrToFloat (Edit6.Text);
  if (Xish=0) and (Yish=0) and (Xlosh=0) and (Ylosh=0) and (Xpn=0) and
(Ypn=0) then
    Panel1.Visible:=True
  else
    S:=ArcTan((Ylosh-Yish)/(Xlosh-Xish))-ArcTan((Ypn-Yish)/(Xpn-Yish));
    Edit7.Text:=FloatToStr(S);
  end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
begin

```



```

Xish:=StrToFloat (Edit1.Text);
Yish:=StrToFloat (Edit2.Text);
Xlosh:=StrToFloat (Edit3.Text);
Ylosh:=StrToFloat (Edit4.Text);
Xpn:=StrToFloat (Edit5.Text);
Ypn:=StrToFloat (Edit6.Text);
if (Xish=0) and (Yish=0) and (Xlosh=0) and (Ylosh=0) and (Xpn=0) and
(Ypn=0) then
    Panel1.Visible:=True
else
    dK:=1-sqrt(((Xlosh-Xish)*(Xlosh-Xish)+(Ylosh-Yish)*(Ylosh-Yish))/((Xpn-
Xish)*(Xpn-Xish)+(Ypn-Yish)*(Ypn-Yish)));
    Edit8.Text:=FloatToStr(dK);
end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
begin
    Panel1.Visible:=false;
end;

```

*Опис інт ерфейсів корист увача*

Зовнішній вигляд програми представляє собою діалогове вікно, розбите на дві частини: ліва частина призначена для вводу та корегування значень вхідних параметрів; права частина призначення для перегляду результатів програми, вона виводить значення похибки дирекційного кута та коефіцієнта коректури шляху (рис. 4.8).

The screenshot displays a dialog window with two main sections. The left section, titled 'Вхідні данні' (Input data), contains six input fields with the following values: 'Координата Хвих.' (3018750), 'Координата Увих.' (4820500), 'Хибна коорд. Х<sup>хиб</sup>пп' (3118600), 'Хибна коорд. У<sup>хиб</sup>пп' (5020460), 'Координата Хпп' (5020300), and 'Координата Упп' (5118600). The right section contains two calculated results: 'Похибка директ. кута, d' (0,127348371978102) and 'Коеф. корект. шляху, dK' (0,889552780752589). Each result is preceded by a 'Розрахунок' (Calculation) button.

Вхідні данні		Похибка директ. кута, d	
Координата Хвих.	3018750	Розрахунок	0,127348371978102
Координата Увих.	4820500		
Хибна коорд. Х <sup>хиб</sup> пп	3118600		
Хибна коорд. У <sup>хиб</sup> пп	5020460		
Координата Хпп	5020300		
Координата Упп	5118600	Розрахунок	0,889552780752589

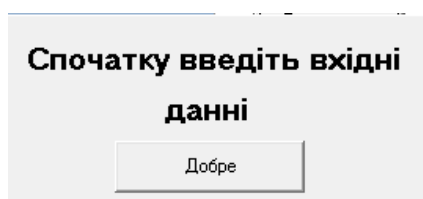
Рис.4.8 Інтерфейс програми

*Методичні рекомендації по застосуванню програмного забезпечення*

Коректна робота програми забезпечується виконанням наступної послідовності дій:

- Запустити програму;
- Ввести вхідні дані в ліву частину вікна програми;
- Натиснути кнопки «Розрахунок» для відображення розрахунків.

У випадку, коли вхідні дані не були введені, програма видає повідомлення про необхідність їх вводу. Необхідно натиснути кнопку «Добре» та продовжити роботу.



## ВИСНОВКИ

В кваліфікаційній роботі обґрунтовано необхідність підвищення точності вироблення інформації в автономних навігаційних комплексах, розроблені алгоритми функціонування таких комплексів, виконано їхнє моделювання та дослідження якості базових компонент.

У зв'язку з ростом вимог по точності визначення поточних координат рухомих об'єктів і скороченню часу їхнього уточнення і коректування, основними напрямками доробки існуючих навігаційних комплексів запропоновано:

- забезпечення можливості використання автоматизованих комп'ютерно-інтегрованих телеметричних систем;
- забезпечення можливості використання автоматизованих розрахунків похибки дирекційного кута і коефіцієнта коректури шляху по реперних точках;
- комплексування засобів виміру швидкості (шляху) руху об'єкта і його дирекційного кута;
- введення до складу НК телевізійних, оптичних візирів і лазерних далекомірів, що забезпечить можливість одержання інформації про своє місце розташування шляхом зворотного рішення третьої навігаційної задачі;
- забезпечення можливості роботи НК в особливих умовах із супутниковими системами навігації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аблесімов О.К., Александров Є.Є., Александрова І.Є. Автоматичне керування рухомими об'єктами й технологічними процесами. - Харків: НТУ "ХП", 2008. - 443с.
2. Аблесімов О.К., Дьяконова О.М. Автоматизація процесів топоприв'язки рухомих об'єктів. Електроніка та системи управління. – 2009. – №2(20). – С.118-121
3. Зайцев Г.Ф., Стеклов В.К., Брицький О.І. Теорія автоматичного управління. - К: Техніка, 2002. -688с.
4. Бабак В.П., Синєглазов В.М., Таранов С.Г. "Проблемы анализа и синтеза систем автоматического управления", К. - КН НАУ, 2005р., 172с.
5. Рогожин В.О., Синєглазов В.М., Філяшкін М.К. «Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден», К. –КН НАУ, 2005р., 314с.
6. Филлипс Ч., Харбор Р. Системы управления с обратной связью. – М: Лаборатория Базовых Знаний, 2001. – 616с.
7. Асланян А.Э., Фляшкин Н.К. Летательный аппарат как объект управления. – К.: Изд-во КВВАИУ, 1988. – 115 с.