

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Комп'ютерні технології і системи»

Кафедра «Автоматика та телекомунікації»


Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи
на здобуття освітнього ступеня «магістр»

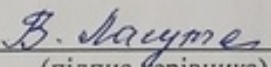
на тему: Розробка автоматизованого пристрою вимірювання параметрів залізничної колії

за освітньою програмою «Автоматика та автоматизація на транспорті»
зі спеціальності: 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

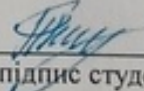
Виконав: студент групи АТ2221 (967М)

 / Вадим ТИХИЙ /
(підпис студента)

Керівник: доцент кафедри АТ

 / Василь ЛАГУТА /
(підпис керівника)

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з
праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент 
(підпис студента)

Дніпро – 2024 рік

**Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies**

Faculty of Computer Technologies and Systems

Department of Automation and Telecommunication

Explanatory Note

to Master's Thesis

master

(higher education degree)

on the topic: Development of an automated device for measuring railway track parameters

according to educational curriculum «Automation and automation at transport»
in the Specialty: 151 «Automation and computer-integrated technologies»

Done by the student of the group AT2221 (967M)

/ Vadym TYKHYYI /

Scientific Supervisor: associate professor

/ Vasyl LAHUTA /

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Комп'ютерних технологій і систем
Кафедра: Автоматика та телекомунікації
Рівень вищої освіти: Магістр
Освітня програма: Автоматика та автоматизація на транспорті
Спеціальність: 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АТ

Володимир ГАВРИЛЮК

(підпис)

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

« _____ » _____ 202__ р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

(ступінь вищої освіти)

студенту Тихий, Вадим Ігорович

(Прізвище, Ім'я, По батькові)

1. Тема роботи: Розробка автоматизованого пристрою вимірювання параметрів залізничної колії

Керівник роботи: Лагута Василь Васильович, к.т.н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

«21» 11 2022 р.

№ 1149 ст.

2. Строк подання студентом роботи: 08.01.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи: Параметри кривої ділянки колії, швидкість переміщення вимірювального застосування до 5 км/год

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: виконати аналіз існуючих пристроїв вимірювання параметрів залізничної колії

4.2 Основна частина: 1) розробити структурну схему пристрою вимірювання параметрів залізничної колії;

2) розробити алгоритм та програму моделі датчика вимірювання пройденої відстані.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Структурні та принципові електричні схеми, блок-схеми алгоритмів роботи елементів пристрою.

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)
Аналітична частина	Лагута В.В.	23.11.2022	
Основна частина	Лагута В.В.	23.11.2022	

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ (Актуальність. Мета роботи. Методи дослідження. Практична значення отриманих результатів)	15.09.2023	5 стор
2	Розділ 1. Існуючі пристрої вимірювання параметрів залізничної колії	01.10.2023	15 стор
3	Розділ 2. Розробка пристрою вимірювання параметрів кривої ділянки колії	05.11.2023	15 стор
4	Розділ 3. Розробка алгоритму та програмного забезпечення моделі датчика вимірювання пройденої відстані	15.12.2023	15 стор
5	Висновки	15.12.2023	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	08.01.2024	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії		

Студент

_____ (підпис)

Вадим ТИХИЙ

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Василь ЛАГУТА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Відомості про обсяг пояснювальної записки: 66 сторінок, 17 ілюстрацій, 13 переліків посилань.

Ключові слова: гіроскоп, апаратно-діагностичний комплекс, кривизна залізничної кривої, вимірювання параметрів залізничної кривої, автоматизація вимірювань.

Метою роботи є підвищення безпеки та ефективності моніторингу залізничної інфраструктури, удосконалення технологічного процесу її обслуговування і зниження експлуатаційних витрат шляхом використання автоматизованого підходу до вимірювання та обробки даних.

В роботі приведено аналіз існуючих сучасних приладів для виміру параметрів кривизни залізничної колії. В даний час існує декілька устаткувань для виміру параметрів залізничної колії, що забезпечують достовірний контроль за станом залізничної колії, але в основному вимірювальна апаратура, що використовується не відповідає сучасному стану схемотехніки.

Робота містить у собі розробку загальної схеми приладу для виміру параметрів кривизни залізничної колії. Описано датчики, що застосовані у приладі, а також дано опис функціонування приладу. Дано огляд існуючих гіроскопічних пристроїв, обрано недорогий гіроскоп для запропонованого пристрою.

В роботі запропоновано алгоритм та програмне забезпечення моделі процесу вимірювання пройденої відстані. Приведено опис обраного датчика пройденої відстані.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ІСНУЮЧІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ.....	12
1.1. Пристрої для вимірювання ширини колії й підвищення зовнішньої рейки в кривих.	12
1.1.1. Комплекс вихрострумової апаратури КІК-1 для виміру ширини залізничної колії.	12
1.1.2. Лазерний діагностичний комплекс оцінки стану залізничного полотна й тунелів.....	12
1.1.3. Комп'ютеризований колієвимірювальний вагон-лабораторія моделі КВЛ-ПІМП.	13
1.1.4. Вимірювач шляховий безперервної дії ВШБД.....	14
1.1.5. Апаратно-діагностичний комплекс АРД-1.....	15
1.1.6. Дефектоскоп із системою автоматичного повідомлення про наближення поїзда ССНП.	16
1.2. Методи і прилади виміру кривизни залізничної колії	17
1.2.1. Метод стріл.	17
1.2.2. Реєстратор кривизни шляху.	22
1.3. Гіроскопи.....	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРИВОЇ ДІЛЯНКИ КОЛІЇ.....	32
2.1. Визначення кривизни кривої ділянки колії за кутовою швидкістю матеріальної точки, що рухається.....	32
2.1.1. Поняття кривизни плоскої кривої.....	32
2.1.2. Дотична до кривої.	35
2.1.3. Кутова швидкість тіла.	35
2.2. Схемна реалізація проектного пристрою	37
2.2.1. Розробка структурної схеми пристрою для вимірювання параметрів кривої ділянки колії. Опис пристрою. Алгоритм роботи	37
2.2.2. Розробка принципової схеми пристрою реєстрації кутової швидкості.	43
2.3. Розрахунок транзисторного стабілізатора напруги.....	45
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛІ ДАТЧИКА ВИМІРЮВАННЯ ПРОЙДЕНОЇ ВІДСТАНІ	54
3.1. Опис обраного оптичного датчика для виміру руху пристрою	54
3.2. Розробка алгоритму та програмного забезпечення.....	58

3.2.1. Опис алгоритму.....	58
3.2.2. Програмні засоби створення моделі датчика пройденої відстані	60
ВИСНОВКИ.....	64
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	65

ВСТУП

Актуальність роботи. В сучасних умовах особливо важливе значення мають питання забезпечення безпеки руху поїздів на станціях та перегонах, що обумовлює завдання підвищення надійності функціонування апаратури систем залізничної автоматики і телемеханіки. Одним з основних напрямків вирішення цього завдання є удосконалення технічного контролю та обслуговування пристроїв залізничної автоматики на базі створення і впровадження автоматизованих систем, що дозволить значно покращити, а в перспективі змінити технологію обслуговування апаратури систем залізничної автоматики. Аналіз існуючих розробок в сфері створення систем і пристроїв контролю, де в якості вузла управління використовуються мікропроцесори і мікросхеми, показав, що в цьому зв'язку недостатня увага приділяється питанням повної автоматизації процесів вимірювання параметрів залізничної колії. Розробка та впровадження автоматизованої системи вимірювання та контролю параметрів залізничної колії є важливим науково-технічним завданням, спрямованим на підвищення якості контролю та обслуговування пристроїв, які експлуатуються, що дозволяє покращити якість технологічного процесу залізничного транспорту та забезпечити безпеку руху поїздів.

Мета роботи. Метою роботи є підвищення безпеки та ефективності моніторингу залізничної інфраструктури, удосконалення технологічного процесу її обслуговування і зниження експлуатаційних витрат шляхом використання автоматизованого підходу до вимірювання та обробки даних. Для досягнення поставленої мети пропонується розробка автоматизованого пристрою, який дозволить автоматично виміряти різні параметри залізничної колії, створення алгоритмів та програмного забезпечення для обробки даних та аналізу вимірювань, що надасть можливість здійснювати швидкий та точний аналіз стану залізничної колії, дослідження методів для вимірювання параметрів залізничної колії з ціллю ефективною і якісною оцінки технічного стану елементів і апаратури

залізничної колії з урахуванням різноманітності факторів, які впливають на процес автоматичного вимірювання.

Методи дослідження. При проведенні досліджень були використані основні положення теорії вимірювань, аналітичної геометрії, теорії гіроскопів, чисельні методи, схемотехніка, теорії залізничної колії.

Практична значимість. Розроблено апаратно-програмний комплекс вимірювання та контролю параметрів залізничної колії. Запропоновано алгоритм та програму процесу вимірювання пройденої відстані по рейкам. В цілому розробка спрямована на покращення безпеки руху поїздів та удосконаленню вимірювальних приборів параметрів колії.

Концепція розвитку залізниць України

Залізничним транспортом в Україні виконується основний обсяг транспортної роботи в державі. При цьому саме залізниці відіграють центральну роль у конкуренції між видами транспорту.

Важливим кроком у значному підвищенні ефективності роботи українських залізниць є підвищення якості транспортного сервісу і реструктуризація галузі. У цьому напрямку серед першочергових задач стоїть задача істотного підвищення швидкостей руху потягів.

Підвищення швидкостей руху потягів для залізниць залишається актуальною для залізниць України, де реалізується «Програма утворення і функціонування національної мережі міжнародних транспортних коридорів в Україні», прийнята постановою кабінетом міністрів України за №346 від 20 березня 1998 року. Ціль реалізації цієї програми – підвищення швидкостей руху пасажирських і вантажних потягів на основних напрямках залізниць України, при цьому рівень реалізованої максимальної швидкості пасажирських потягів повинний складати 140-160 км/год з плавним переходом на 200 км/год на існуючих магістралях.

До складу міжнародних транспортних залізничних коридорів в Україні віднесено 4,6 тис. км залізниць (18,3 % загальної їхньої довжини), і вони розташовані на основних напрямках перевезень вантажів і пасажирів як у межах

України, так і в міжнародному повідомленні. Це діяльні і вантажонапружені ділянки, такі, як Львів – Київ, Одеса – Київ, Львів – Дніпро, Київ – Чернігів. 86,3 % ліній міжнародних транспортних залізничних коридорів в Україні – двоколійні, 84,8 % – електрифіковані. Включення наведених напрямків до складу міжнародних транспортних залізничних коридорів в Україні припускає впровадження українських залізниць у європейське і міжнародне залізничне співтовариство.

Процес реалізації програми по утворенню транспортних залізничних коридорів показав, що проблема підвищення швидкостей руху пасажирських потягів має не галузеве, а загальнодержавне значення тому, що результати її рішення мають соціальні, міжгалузеві і навіть політичні аспекти. У сучасних умовах на залізницях України дільничні швидкості вантажних потягів складають 30-40 км/год, маршрутні швидкості пасажирських потягів – 30-60 км/год, максимальні швидкості вантажних потягів не перевищують 80 км/год, а пасажирських 140 км/год – реалізуються тільки на окремих перегонах. На напрямках міжнародних транспортних залізничних коридорів діють значна кількість постійних і тимчасових обмежень швидкостей руху потягів. В умовах триваючої тенденції зменшення обсягів перевезень на залізницях України збереження високого потенціалу українських залізниць можливо за рахунок високих швидкостей насамперед пасажирських потягів, що, у свою чергу, вимагає істотних змін у керуванні швидкостями вантажних потягів і відповідного рішення по параметрах пристрою і технічного стану залізничної колії, у тому числі і з позиції безпеки руху поїздів.

При розробці концепції швидкісного і високошвидкісного руху пасажирських потягів на залізницях України виконаний аналіз послідовного підвищення швидкостей руху потягів, критеріїв і заходів щодо їхнього забезпечення, що узагальнене і систематизований за рівнем реалізованої максимальної швидкості. Рівень швидкостей, через який проходить умовна границя поділу основних тенденцій забезпечення високих швидкостей руху потягів, складає приблизно 200 км/год, а при виборі напрямків реалізації

підвищених швидкостей визначилися підходи у виді 3-х принципових рішень. Перше з них – будівництво нових спеціалізованих високошвидкісних магістралей як ізольованих від існуючої мережі, так і експлуатовані магістралі мають, що вихід на. Друге рішення – будівництво нових ліній, що спрямовані на істотне підвищення ефективності як швидкісного пасажирського руху, так і перевезень вантажів. Третє рішення являє собою використання існуючих ліній шляхом їхнього посилення, модернізації виправлення. Для посилення дієздатності транспортної системи потяга, що звертаються на нових лініях і спеціалізованих високошвидкісних магістралях, можуть заходити на реконструйовані існуючі лінії, при цьому рівень реалізованих максимальних швидкостей тут, як правило, не перевищує 200 км/ч.

Необхідність створення спеціальних приладів для підтримки високошвидкісного руху

До високошвидкісних ліній залізничної колії висувають високі вимоги по його проектуванню і змістові. Для забезпечення високопродуктивної експлуатації необхідні спеціальні технічні засоби, здатні забезпечувати вимірювання параметрів залізничної колії. Одним з важливих показників стану залізничного шляху є його кривизна. Для виміру кривизни в кривих ділянках шляху в даний час в основному застосовуються методи виміру, що не забезпечують необхідної точності для високошвидкісних ліній. Пристрої для вимірювання кривизни шляхи повинні задовольняти сучасному рівневі розвитку техніки. У роботі пропонується розробка електронного пристрою для вимірювання кривизни та інших параметрів залізничної колії заснована на гіроскопічному приладі, що є не механічним, а електронним пристроєм. Завдяки цьому прилад забезпечує досить високу точність вимірів та малі габарити.

РОЗДІЛ 1. ІСНУЮЧІ ПРИСТРОЇ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

1.1. Пристрої для вимірювання ширини колії й підвищення зовнішньої рейки в кривих.

1.1.1. Комплекс вихрострумової апаратури КІК-1 для виміру ширини залізничної колії. Комплекс призначений для безконтактного динамічного виміру ширини рейкової колії, а також бічного зносу головки рейок у складі будь-якого залізничного колієвимірювального транспортного засобу. Комплекс складається з двох зовнішніх модулів вимірювальних перетворювачів, блоку обробки одержуваних сигналів, ПЕОМ. Особливості комплексу:

- герметичне виконання і вібростійка конструкція модуля вимірювальних перетворювачів;
- проведення вимірювань на швидкості руху транспортного засобу від 5 до 80 км/год.

Програмне забезпечення являє собою пакет прикладних програм для обробки інформації, що надходить від датчиків, і збереження результатів контролю ділянок шляхи довжиною до 200 км у пам'яті комп'ютера для наступного аналізу.

1.1.2. Лазерний діагностичний комплекс оцінки стану залізничного полотна й тунелів. Діагностичний комплекс призначений для виміру наступних величин:

- ✓ ширина колії;
- ✓ підвищення зовнішньої рейки над внутрішньою;
- ✓ відступу по рихтуванню;
- ✓ осідання рейкового шляху, координат положення контактної рейки щодо робочої грані найближчої ходової рейки;

- ✓ діагностики порушень заданого габариту тунеля з визначенням координат цих порушень, а також місця розташування даного перетину відносно початку відповідного пікету.

Діагностичний комплекс забезпечує:

- ✓ автоматизацію процесів виміру параметрів колії, контролю заданого габариту тунеля;
- ✓ підвищення продуктивності і якості проведених вимірювальних робіт;
- ✓ підвищення оперативності аналізу вимірювальної інформації і діагностики виникаючих відступів від норм змісту.

1.1.3. Комп'ютеризований колієвимірювальний вагон-лабораторія моделі КВЛ-П1МП. Призначений для контролю геометричних параметрів рейкової колії й автоматизованої оцінки його стану в процесі вимірів.

Основні функції комплексу:

- вимірювання і оцінка геометричних параметрів рейкової колії (ширина рейкової колії, взаємне положення обох рейкових ниток по висоті (рівень), стріла вигину кожної рейкової нитки в горизонтальній і вертикальній площинах);
- вимірювання і документування паспортних характеристик колії;
- якісна оцінка стану залізничної колії за геометричними параметрами рейкової колії;
- обробка допоміжних параметрів руху (швидкість, пройдений шлях, час);
- обробка параметрів прив'язки до досліджуваної ділянки шляху (координати кілометрових стовпів, переїздів, стрілочних переводів);
- графічне відображення вимірюваних параметрів, характеристик маршруту контрольованих несправностей на екрані монітора, супроводжуване текстовими повідомленнями про виявлені відхилення характеристик шляху і подачею звукового і світлового сигналів при виявленні небезпечних відступів;

- документування на паперовому носії графічного відображення оперативної інформації в обсязі, достатньому для вживання заходів по забезпеченню безпеки руху поїздів, а також для планування шляхових робіт поточного утримання колії;
- документування результатів вимірів у повному обсязі у вигляді електронної копії на магнітному носії;
- документування нормативно-звітної інформації в межах границь адміністративного розподілу дистанції;
- формування бази даних паспортних фактичних характеристик колії (параметри і координати кривих ділянок, норми змісту прямих ділянок, адміністративний розподіл і т.д.);
- документування дій оператора при роботі з бортовою автоматизованою системою (БАС);
- автоматизований контроль технічного стану вимірювального устаткування;
- автоматизоване налаштування (юстирування) вимірювальних засобів контрольованих параметрів.

1.1.4. Вимірювач шляховий безперервної дії ВШБД. В даний час мається розроблений і використовується на залізницях ВШБД для виміру ширини залізничної колії, різниці висот розташування рейок (рівня), пройденого шляху. Забезпечує автоматичний запис, реєстрацію і збереження результатів вимірів.

При пересуванні вимірника вручну проводиться читання, запам'ятовування інформації в енергозалежній пам'яті. Параметри, що вимірюються, відображаються на індикаторі. При перевищенні встановлених норм на ширину колії і рівня передбачена звукова сигналізація. Забезпечує зняття параметрів вимірів у ПЕОМ із метою наступної обробки й аналізу.

Технічні характеристики:

Діапазон вимірювання ширини колії, мм	1505-1555
Межа погрішності, що допускається, виміром колії, мм	+(-) 1
Діапазон вимірювання рівня, мм	+(-) 175

Межа погрішності вимірювання рівня, мм	+(-) 1
Загальна довжина вимірюваної ділянки (без перезапису вимірюваних даних у ПЕОМ), максимальна, м	60000
Живлення від акумулятора 6 МТС-9	
Напруга живлення, В	7-13
Маса, кг не більш	15
Робочий діапазон температур, С	- 40 до +50
Середній наробіток на відмову, год, не менш	5000

1.1.5. Апаратно-діагностичний комплекс АРД-1. Є якісно новим кроком у записі, реєстрації й обробці дефектограм вагоном-дефектоскопом.

Функції комплексу:

- Збір, накопичування й обробка інформації (дефектограм), що надходить з датчиків пошукової системи вагона-дефектоскопа про рейки, що мають подовжні, поперечні і повздовжно-поперечні дефекти в головці рейки по всій довжині (без винятку дефектів у стику);
- Ефективна прив'язка за сигналами оператора і за сигналами супутникового навігаційного приймача;
- Архівація, комп'ютерна візуалізація, масштабування, обробка і порівняння дефектограм колій;
- Автоматизоване керування дефектоскопічним устаткуванням вагона-дефектоскопа.

Технічні характеристики:

Діапазон робочих швидкостей вагона-дефектоскопа, км/год	15-70
Протяжність ділянки відображеної на екрані, м	55
Інформація про результати контролю ділянки, що безупинно може записуватися на диску, км	1000
Протяжність шляху, інформація про результати контролю, яка зберігається на жорсткому диску, км	20000

Переваги комплексу:

- Одночасне проведення оперативного запису і розшифровки даних;

- Масштабування запису;
- Надійне електроживлення комплексу;
- Можливість одночасного перегляду 2-х і більш записів даної ділянки.

1.1.6. Дефектоскоп із системою автоматичного повідомлення про наближення поїзда ССНП. Призначений для автоматичного повідомлення працівників ПЧ і інших служб, що проводять роботи на перегонах, обладнаних автоблокуванням ЦАБ. Система застосовується на перегонах станцій з рівним рельєфом місцевості, де забезпечується стійкий радіозв'язок.

До складу системи входить апаратура:

1. Стационарно встановлена передавальна радіостанція фірми Motorola або аналогічна РН-12Б «Транспорт» із блоком живлення, має вихідну стабілізовану напругу 13В.

2. Стационарний блок – шифратор (власної розробки).

3. Дешифрації й індикації. Як приймач використовується переносна радіостанція «Граніт» (Motorola, «Транспорт» і т.д.). Блок дешифрації й індикації (власної розробки).

Принцип роботи системи заснований на застосуванні DTMF-сигналів. Інформація про стан блоків-ділянок надходить у станційний блок дешифратора, модулюється у двохтонові комбінації, через радіопередавач передається в антену. Прийнятий переносним приймачем сигнал дешифрується і передається на панель приладів .

Блок-шифратор здійснює постійне щохвилине опитування (контроль стану) об'єктів, а також миттєву фіксацію і передачу сигналів про заняття блоків-ділянок або відкриття вхідних сигналів.

Основні технічні характеристики:

Частота роботи передавача, МГц	152
Кількість робочих каналів	3
Дальність дії, км	25-50

Кількість контрольованих об'єктів	28
Середній струм споживання, мА	18
Тривалість роботи без зарядки акумуляторної батареї, годин не менш	8
Розмір блоку шифратора, мм	210*115*40
Розмір блоку індикації, мм	90*55*15

Системою передбачено:

- Автоматичне сканування необхідних каналів;
- Можливість підключення додаткової могутньої акустичної сирени для колективного повідомлення працюючих в умовах сильного шуму.

1.2. Методи і прилади виміру кривизни залізничної колії

1.2.1. Метод стріл. Положення шляху в плані на кривих ділянках визначають виміром стріл вигину опорної рейкової нитки від хорди довжиною 20 м (рідше 10 м або іншої). Вимірювання виконують вручну, стилосграфом або вагоном-колієвимірювачем. При ручному вимірі користуються капроною ниткою і міліметровою лінійкою. Попередньо на внутрішній стороні шийки рейки опорної рейкової нитки намічають точки розподілу на відстані, рівній половині довжини вимірювальної хорди. Щоб заміряти положення шляху на підходах до кривій, першу точку розподілу наносять на прямій, на відстані 30-40 м від початку першої перехідної кривої, останню – також на прямій на такій же відстані за початком другої перехідної кривої.

При вимірюванні дві людини натягають і притискають капронову нитку в точках розподілу до бічної грані головки рейки нитки, а третій міліметровою лінійкою замірює стрілу вигину – відстань між бічною гранню головки рейки і ниткою (рис. 1.1). На підходах до кривих одного напрямку пряма, що примикає, іноді вигнута і має кривизну в іншому напрямку. Для їхнього виявлення необхідно під кінці нитки-хорди підкладати прокладки однакової товщини. У цьому випадку кожен відлік по лінійці зменшують на товщину прокладки.

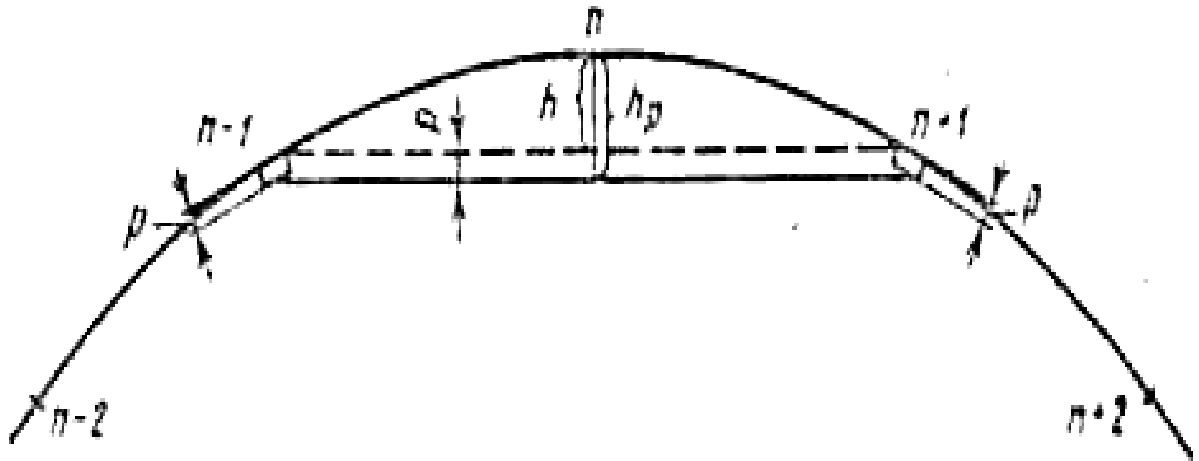


Рисунок 1.1 - Схема вимірювання стріл вигину

За отриманими даними будують графік натурних стріл. По осі абсцис (через 5 – 10 мм) відкладають точки розподілу, а по осі ординат заміряні стріли.

Графік натурних стріл звичайно має пилкоподібний вигляд, а проектних стріл – вид трапеції. Складові лінії цієї трапеції відображають зміну стріл прогину уздовж перехідних кривих, а горизонтальна ділянка – уздовж кругової кривої.

Стріла вигину кругової кривої h може бути визначена за формулою:

$$h = \frac{a^2}{8R - 4h},$$

де R – радіус кривої, м;

a – довжина хорди, м.

Оскільки значення $4h$ у порівнянні з $8R$ мало, для практичних цілей користуються формулою $h = a^2/8R$. Постійний член $a^2/8R$, що входить у цю формулу, позначимо t , а кривизну – k . Тоді одержимо $h = tk$. З цього видно, що стріла вигину h прямо пропорційна кривизні k . Отже, графік стріл є графіком кривизни рейкової нитки. На круговій кривій кривизна постійна, а на перехідних кривих, що мають контур радіоїдальної спіралі, безупинно змінюється пропорційно відстані від початку перехідної кривої до даної точки, тобто

$$k = \frac{1}{C} lx,$$

де C – параметр перехідної кривої;

lx – відстань, м, від початку перехідної кривої до точки, у якій визначають кривизну k .

З точністю, достатньої для практичних цілей, можна прийняти, що точка перетинання похилої лінії з віссю графіка відповідає початку перехідній кривій, а точки перетинання похилої лінії з горизонтальною лінією графіка – кінцю перехідної кривої.

Зрушення шляху в кожній точці, необхідні для приведення існуючої кривої в проектне положення, визначають розрахунком. Існуючі способи розрахунку можна розділити на дві групи: способи, що задаються зрушеннями і по них визначають стріли виправленій кривій (ці стріли називають розрахункові або проектні); способи, що задаються розрахунковими стрілами, а по них визначають необхідні зрушення.

Способи, що входять у першу групу, можна назвати способами послідовного наближення, у другу – аналітичними і графоаналітичними способами.

Для прикладу розглянемо **спосіб послідовного наближення**.

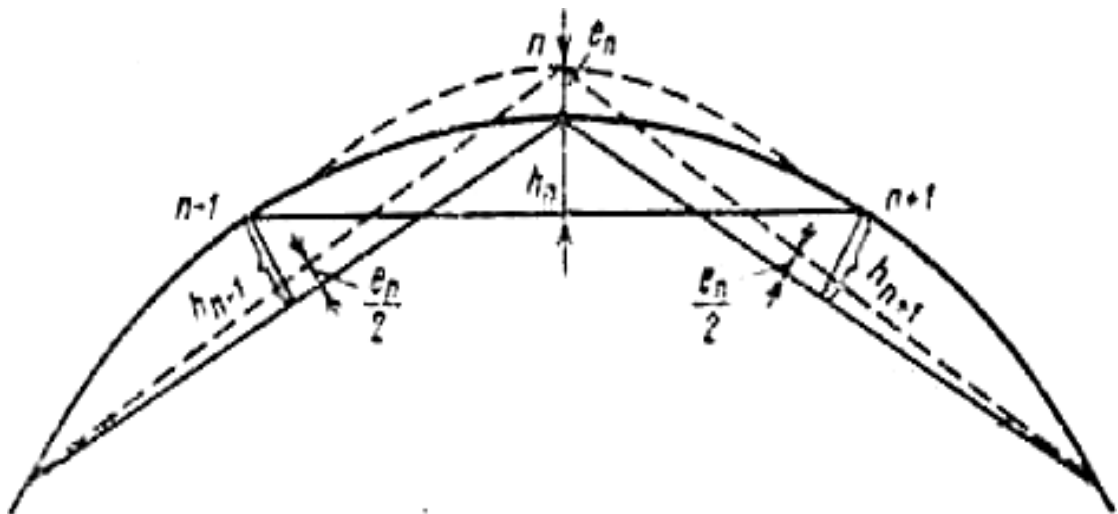


Рисунок 1.2 - Зміна стріл при зрушенні

Стріла в кожній точці розподілу кривої залежить від положення цієї точки і сусідніх з нею точок розподілу.

На рис. 1.2. суцільними лініями зображене положення рейкової колії і хорд до рихтування, а штриховими – положення після зрушення точки m . Як видно з рис. 1.2, при зрушенні точки n на $+e_n$ стріла в цій точці збільшилася на e_n , а стріли в сусідніх крапках зменшилися на $e_n/2$. Останнє вийшло, через те, що зрушилися на $+e_n$ кінці хорд (зрушення назовні колії позитивні, а всередину – негативні).

При зрушенні трьох поруч лежачих точок (рис. 1.2) нову стрілу H_n у середній з них визначають з виразу:

$$H_n = h_n + e_n - \frac{e_{n-1} + e_{n+1}}{2} \quad (1.1)$$

де H_n і h_n – стріли в точці n після і до рихтування;

$e_n, e_{n-1}, e_{n+1},$ – зрушення, мм, відповідно в точках, $n, n-1, n+1$.

Приведена вище залежність між зрушенням у якій-небудь точці і стрілами в цієї, і сусідніх з нею точках використана при конструюванні приладу для розрахунку кривої системи І. Я. Туровського.

Прилад складається з планшета, що має прозору лінійку, що проградуєвана з двох сторін. Верхнє градуєвання пофарбоване в червоний колір, нижнє – у чорний. На планшеті розташовані покажчики стріл (чорні стрілки), а під ними – покажчики зрушень (жовті стрілки), і ті, і інші закріплені на відповідних струнах, намотаних на барабанчиках, що мають зубцюваті віночки. Спеціальна каретка повертає одночасно три барабанчика зі струнами стріл і один барабанчик зі струною зрушень. При цьому барабанчики середньої стріли і зрушень обертаються в одну сторону з однаковою швидкістю, а два інших барабанчика стріли обертаються в зворотну сторону більш ніж у два рази повільніше.

У результаті покажчик зрушення переміщується на планшеті в ту ж сторону і на таку ж величину, що і покажчик середньої стріли, а два сусідніх покажчики

стріл переміщуються наполовину в зворотну сторону цієї величини. Отже, сума стріл кривої у процесі розрахунку на приладі не змінюється.

При розрахунку кривої на приладі всі покажчики зрушень спочатку встановлюють на нульовий відлік, розташований посередині шкали зрушень, за допомогою двох лінійок, що знаходяться під планшетом приладу. Потім покажчики стріл установлюють відповідно до натурними даними шляхом повороту барабанчиків знімною кареткою або пальцями руки. На планшеті приладу утвориться графік натурних стріл. Розрахунок проводять тільки за допомогою основної каретки. Він зводиться до того, щоб виправити графік стріл з урахуванням зрушень, що показуються покажчиками зрушень під планшетом.

Коректування графіка стріл можна починати з будь-якої точки. На першому етапі виконують грубе виправлення графіка стріл, на другому – графік стріл приводять до проектного контуру, а на третьому – проводять виправлення дрібних нерівностей у графіку стріл. При грубій поставі графіка стріл каретку встановлюють так, щоб її покажчик розташувався над крапкою розподілу, у якій стріла вигину має найбільше відхилення від проектного графіка. Якщо покажчик стріли в одній крапці зміщається на рівень середньої стріли, то сусідні покажчики стріл переміщуються в протилежну сторону, і деякі точки на першому етапі приходиться зміщати по кілька разів.

Після завершення першого етапу аналізують отримані на планшеті графіки стріл і зрушень, намічають порядок виконання другого етапу, керуючись наступними міркуваннями: при неможливості розташування покажчиків стріл у межах кругової кривої на одному рівні варто бажати того, щоб не було невеликих (у кілька точок) ділянок кругових кривих з різними радіусами і щоб різниця стріл на ділянках була б якнайменша; перехідні криві повинні бути якнайбільші; зрушення, розташовані вище і нижче нульової лінії, повинні якнайчастіше збігатися за знаком, а площі графіка зрушень – бути приблизно рівними. По абсолютній величині зрушення не повинні перевищувати величини, припустимої при умовах забезпечення габариту ширини земляної полотнини.

На перехідній кривій графіки стріл варто виправляти негативними зрушеннями, оскільки це веде до подовження перехідних кривих. Якщо в якій-небудь точці розподілу зрушення повинне бути рівним нулю, то каретку на цю точку ставити не слід; покажчик стріли цієї точки може переміщатися при зрушенні сусідніх точок.

По закінченні розрахунку знімають показники зрушень і за контрольними розрахунками за формулою (1.1) визначають аналітично значення проектних стріл.

1.2.2. Реєстратор кривизни шляху. Вимірювальні системи шляхових машин обладнані асиметричними хордами і забезпечують безперервний запис інформації про реальний стан плану лінії. Однак методи обробки такої інформації й ефективного використання її розвитку недостатні. Це обумовлено в першу чергу, тим, що безперервна інформація, одержувана механічними вимірювальними системами у виді стріл вигину, не описує реальної кривизни, а відображає форми нерівностей шляхи в скривленому виді. Відсутні також технічні засоби реєстрації інформації на зовнішньому носії ЕОМ.

Створений у НДІЗТ реєстратор кривизни шляху призначений для перетворення аналогового запису стріл вигину в цифровий код, записуваний на магнітну стрічку стандартної компакт-касети, дискретно, із заданим кроком квантування. Стріли, що безупинно змінюються, вигинові в результаті квантування їхнім реєстратором кривизни шляхи за часом (довжині шляху) являють собою ґратчасту функцію, значення якої змінюються тільки при дискретних рівновіддалених один від іншого значеннях незалежних змін.

Лінійне перетворення, що зв'язує стрілу вигину $h(x)$ і координати точок вимірювальної системи $v(x)$, має вигляд:

$$h(x) = y(x) - \frac{l_2 y(x - l_1) + l_1 y(x + l_2)}{L}$$

де l_1 і l_2 – плечі хорди;

$L = l_1 + l_2$ – її довжина.

Якщо в загальному випадку в якості $\bar{h}(i)$ приймати різницю натурних і проектних стріл, то кривизну рейкової лінії існуючого шляху одержимо:

$$\bar{K}(i) = \frac{1}{t_1 \cdot t_2} (a_1 \bar{h}(i) + a_2 \Delta \bar{h}(i) + a_3 \Delta^2 \bar{h}(i) + \dots)$$

де $\Delta^k \bar{h}(i)$ - різниця К-го порядку.

Для використання цієї формули необхідна попередня фільтрація вхідного сигналу $\bar{h}(i)$ з урахуванням частотних властивостей конкретної вимірювальної системи.

1.3. Гіроскопи. Постійно зростаючі вимоги до точності й експлуатаційних характеристик гіроскопічних приладів стимулювали вчених і інженерів багатьох країн світу не тільки до наступних удосконалень класичних гіроскопів з ротором, високооборотного обертання, але і до пошуків принципово нових ідей, що дозволяють вирішити проблему створення чутливих датчиків для індикації і виміру кутового руху об'єкта в просторі.

В даний час відомо більш ста різних явищ і фізичних принципів, що дозволяють вирішувати гіроскопічні задачі.

Гіроскопи з повітряною опорою. У цих гіроскопах розроблювачі замінили кулькові підшипники, використовувані в традиційному кардановому підвісі, газовою подушкою, що цілком усунуло вплив зносу матеріалу опор під час роботи і дозволило майже необмежено збільшити час служби приладу. Твердість аеродинамічного підвісу не менш, ніж у звичайних кулькопідшипників. До недоліків газових опор варто віднести досить великі втрати енергії і можливість раптового відмовлення при випадковому контакті поверхонь опори між собою.

Поплавкові гіроскопи. Поплавковий гіроскоп (ПГ) є класичним роторним гіроскопом, у якому для розвантаження підшипників підвісу всі активні елементи з великою питомою вагою підвішені в рідині так, щоб вага ротора разом з кожухом врівноважувалася гідростатичними силами. Завдяки цьому на багато порядків знижується сухе тертя в осях підвісу і збільшується ударна і вібраційна стійкість приладу. Герметичний кожух, що виконує роль внутрішньої рамки карданового підвісу, називається поплавцем. Конструкція поплавця повинна бути максимально симетричною. Ротор гіроскопа усередині поплавця обертається на повітряній подушці в аеродинамічних підшипниках зі швидкістю порядку 30-60 тис. оборотів у хвилину. ПГ із великим грузлим тертям рідини називається також інтегруючим гіроскопом. ПГ дотепер залишається одним з найпоширеніших типів гіроскопів, ґрунтується на добре відпрацьованих технологіях, могутній виробничій базі. Але нові розробки ПГ, очевидно, недоцільні, оскільки наступне підвищення точності зустрічає перешкоди і навряд чи буде економічно виправданим.

Гіроскопи, що динамічно налагоджуються. Гіроскопи, що динамічно налагоджуються, належать до класу гіроскопів із пружним підвісом ротора, у яких свобода кутових рухів осі власного обертання забезпечується за рахунок пружної піддатливості конструктивних елементів (наприклад, торсіонів). У ДНГ на відміну від класичного гіроскопа використовується так називаний внутрішній карданів підвіс. Момент тертя в підвісі викликається тільки в результаті внутрішнього тертя в матеріалі пружних торсіонів. У ДНГ за рахунок підбору моментів інерції рамок підвісу і кутової швидкості обертання ротора здійснюється компенсація пружних моментів підвісу, прикладених до ротора. До переваг ДНГ варто віднести їхню мініатюрність, високу стабільність показань, відносно невисоку вартість.

Кільцеві лазерні гіроскопи. Кільцевий лазерний гіроскоп (КЛГ), називаний також квантовим гіроскопом (рис. 1.4), створений на основі лазера з кільцевим резонатором, у якому по замкнутому оптичному контурі одночасно

поширюються зустрічні електромагнітні хвилі. Довжини цих хвиль визначаються умовами генерації, згідно якими на довжині периметра резонатора повинне укластися ціле число хвиль, тому на нерухомій підставі частоти цих хвиль збігаються. При обертанні резонатора лазерного гіроскопа шлях, прохідний променем по контурі, стає різним і частоти зустрічних хвиль стають неоднаковими. Хвильові фронти променя інтерферують один з одним, створюючи інтерференційні смуги. Обертання резонатора лазерного гіроскопа приводить до того, що інтерференційні смуги починають переміщуватися зі швидкістю, пропорційною швидкості обертання гіроскопа. Інтеграція за часом вихідного сигналу лазерного гіроскопа, пропорційного кутової швидкості, дозволяє визначити кут повороту об'єкта, на якому встановлений гіроскоп.



Рисунок 1.4 - Лазерний гіроскоп

До переваг лазерних гіроскопів варто віднести насамперед відсутність ротора, що обертається, підшипників, підданих дії сил тертя. В даний час серійно випускаються лазерні гіроскопи, що мають точність на рівні $2 \cdot 10^{-3}$ - $5 \cdot 10^{-1}$ град/год.

Волоконно-оптичні гіроскопи. Значні досягнення в області розробки і промислового випуску світлопроводів з мінімальним значенням погонного загасання й інтегральних оптичних компонентів призвели до початку робіт над волоконно-оптичним гіроскопом (ВОГ), що є волоконно-оптичним інтерферометром, у якому поширюються зустрічні електромагнітні хвилі. Найпоширеніший варіант ВОГ – багатовиткова котушка оптичного волокна. Досягнута в лабораторних зразках точність ВОГ наближається до точності КЛГ. ВОГ завдяки простоті конструкції є одним з найдешевших середньо точних гіроскопів, і можна чекати, що він витисне КЛГ у діапазоні точності 10^{-2} град/год і нижче.

Властивості приладу:

- ✓ малі габарити і маса конструкції, завдяки можливості створення ВОГ цілком на інтегральних оптичних схемах;
- ✓ невисока вартість виробництва і конструювання при масовому виготовленні і відносній простоті технології;
- ✓ низьке споживання енергії;
- ✓ великий динамічний діапазон кутових швидкостей, що вимірюються (зокрема, наприклад, одним приладом можна вимірювати швидкість повороту від 1 град/год до 300 град/с);
- ✓ відсутність обертових механічних елементів (роторів), і підшипників, що підвищує надійність і робить більш дешевим їхнє виробництво;
- ✓ практично миттєва готовність до роботи, оскільки не витрачається час на розкручування ротора;
- ✓ нечутливість до великих лінійних прискорень і, отже, працездатність в умовах високих механічних перевантажень;
- ✓ високу завадостійкість, низьку чутливість до могутніх зовнішніх електромагнітних впливів завдяки діелектричній природі волокна.

Хвильові твердотільні гіроскопи (ХТГ). В основі функціонування хвильового твердотільного гіроскопа (ХТГ) лежить фізичний принцип, що

полягає в інертних властивостях пружних хвиль у твердому тілі. Пружна хвиля може поширюватися в суцільному середовищі як тверде тіло, не змінюючи своєї конфігурації. Така хвиля називається солітоном і розглядається як модельне втілення корпускулярно-хвильового дуалізму: з одного боку, це хвиля, з іншого боку – незмінність конфігурації приводить до аналогії з часткою. Однак ця аналогія в деяких явищах простирається і далі. Якщо збудити стоячі хвилі пружних коливань в асиметричному резонаторі, то обертання підстави, на якій встановлений резонатор, викликає поворот стоячої хвилі на менший, але відомий кут. Відповідний рух хвилі в цілому називається прецесією. Швидкість прецесії стоячої хвилі пропорційна проекції кутової швидкості обертання підстави на вісь симетрії резонатора.

Резонатор ХТГ є тонкою пружною оболонкою обертання, зробленої з плавленого кварцу, сапфіра або іншого матеріалу, що володіє малим коефіцієнтом утрат при коливаннях. Форма оболонки – півсфера з отвором у полюсі, тому ХТГ називається в літературі напівсферичним гіроскопом резонатора. Один край резонатора (у полюса) жорстко прикріплений до підстави (ніжці). Інший край, називаний робочим, вільний. На зовнішню і внутрішню поверхні резонатора, біля робочого краю, напилюються металеві електроди, що утворюють разом з такими ж електродами, нанесеними на навколишній резонатор кожух, конденсатори. Частина конденсаторів служить для силової дії на резонатор. Разом з відповідними електронними схемами вони утворюють систему порушення коливань і підтримки їхньої постійної амплітуди. З її допомогою в резонаторі встановлюють так названу другу форму коливань, у якій стояча хвиля має чотири пучності через кожні 90 град. Друга група конденсаторів служить датчиками положення пучності на резонаторі. Відповідна (досить складна) обробка сигналів цих датчиків дозволяє одержувати інформацію про обертальний рух підстави резонатора.

До достоїнств ХТГ відносяться високе відношення точність / ціна, здатність переносити великі перевантаження, компактність і невелику вагу, низька

енергоємність, малий час готовності, слабка залежність від температури навколишнього середовища.

Отримані дотепер результати іспитів досвідчених екземплярів ХТГ дозволяють затверджувати, що ХТГ знайде свою нішу в області датчиків середньої точності.

Вібраційні гіроскопи. Вібраційні гіроскопи засновані на властивості камертона, принцип полягає в прагненні зберегти площину коливань своїх ніжок. Теорія й експерименти показують, що в ніжці камертона, встановленого на платформі, що обертається навколо осі симетрії камертона, виникає періодичний момент сил, частота якого рівна частоті коливання ніжок, а амплітуда пропорційна кутовій швидкості обертання платформи. Тому, вимірюючи амплітуду кута закручення ніжки камертона, можна судити про кутову швидкість платформи.

Ідея чистого гіроскопа камертона так і не була доведена до прецизійного приладу, однак вона стимулювала цілу низку пошуків нових типів гіроскопів, що використовують або п'єзоелектричний ефект, або вібрацію рідин або газів у характерно вигнутих трубках і т.п.

Мікромеханічні гіроскопи. Мікромеханічні гіроскопи (ММГ) відносяться до області низької точності (гірше 10^{-1} град/год). Ця область традиційно вважалася безперспективною для задач керування об'єктами, що рухаються, і навігації, серйозно не розглядалася в наукових і інженерних колах. Але останнім часом ситуація різко змінилася, і в пресі одне за іншим стали з'являтися повідомлення про новий клас гіроскопічних чуттєвих елементів, що одержали назва мікромеханічних. Це одноосьові гіроскопи вібраційного типу, що виготовляються на базі сучасних кремнієвих технологій. ММГ є своєрідним електронним чипом із кварцовою підкладкою площею в кілька квадратних міліметрів, на яку методом фотолітографії наноситься плоский вібратор типу описаного вище камертона.

Вирішальне значення має винятково низька вартість мікромеханічних чуттєвих елементів. Завдяки використанню добре відпрацьованих сучасних технологій масового виробництва мікроелектроніки очікувана ціна одного чуттєвого елемента буде лежати в межах від кількох сотень до одиниць доларів (при відходах відповідно від 101 до 103 град/год).

У свою чергу, дешевизна ММГ відкриває можливість їхнього використання в абсолютно нових областях: автомобілі, біноклі, телескопи, відеокамери, «миші» і «джойстики» персональних комп'ютерів, мобільні робототехнічні пристрої і навіть дитячі іграшки. Звичайно, ММГ можна використовувати і при удосконалюванні військової техніки (приціли, «думаючі» бомби, тактична зброя), але не ці додатки є визначальними в економічному плані.

В даний час розробка першого покоління ММГ уже довершена, ставляться задачі їхньої інтеграції в інерційні вимірювальні модулі разом з електронікою й обчислювальною технікою. Перші інерційні модулі вже з'явилися в лабораторіях.

Неконтактні гіроскопи. На відміну від ММГ неконтактні гіроскопи знаходяться на іншому полюсі серед гіроскопічних чуттєвих елементів, оскільки з їх допомогою удалося досягти надвисокої точності. Неконтактні гіроскопи мають резерви наступного підвищення точності і принаймні в доступному для огляду майбутньому буде залишатися лідерами в цьому відношенні.

Розробка гіроскопів з неконтактними підвісами почалася із середини нашого століття. У неконтактних підвісах реалізоване явище левітації, тобто стан, при якому ротор гіроскопа парить у силовому полі підвісу без якого-небудь механічного контакту з навколишніми тілами. Серед гіроскопів з неконтактними підвісами можна виділити гіроскопи з електростатичним і магнітним підвісами ротора.

В електростатичному гіроскопі (ЕСГ) провідний сферичний ротор підвішений у вакуумній порожнині, у регульованому електричному полі, створюваною системою електродів. Якщо поверхня ротора – ідеальна сфера, то сили електричного поля, що діють по нормалі до провідної поверхні ротора, не

можуть створити моменту щодо його центра і виникає можливість створення ідеального гіроскопа. Ротором електростатичного гіроскопа може служити берилієва куля діаметром 1 см, розкручений до швидкості порядку 180 тис. оборотів у хвилину. Для такого підвісу характерно практично повна відсутність тертя. Мізерно малі величини моментів сил, що обурюють, діючих на левітуючий у вакуумі ротор, забезпечують необмежено довге і надійне збереження напрямку осі обертання гіроскопа в просторі.

Гіроскопи з магніторезонансним підвісом ротора (МСГ) є у відомій мірі аналогами гіроскопів з електростатичним підвісом ротора, у яких електричне поле замінене магнітним, а берилієвий ротор – феритовим. Незважаючи на більш ніж тридцятирічну історію розробок МСГ, він так і не став об'єктом серійного виробництва. Причина полягає в тім, що в конкуренції за досягнення надвисокої точності позначилася вирішальна перевага ЕСГ через істотно менші моменти, що обурюють, які виникають при взаємодії берилієвого ротора з електричним полем, ніж феритового з магнітним.

Сучасні гіроскопи з неконтактними підвісами – це прилади, що увібрали в себе новітні досягнення науки і техніки. Тільки три країни у світі в даний час здатні робити електростатичні гіроскопи. Досвід експлуатації на морських об'єктах електростатичних гіроскопів підтвердив високу точність і достатню надійність корабельних інерційних навігаційних систем на електростатичних гіроскопах. Найближчим часом у США планується запуск спеціального супутника, на борті якого буде встановлений електростатичний гіроскоп, призначений для експериментальної перевірки загальної теорії відносності.

Висновки. В цьому розділі було оглянуто основні пристрої для вимірювання параметрів залізничної колії: пристрої для вимірювання ширини колії й підвищення зовнішньої рейки в кривих, методи і прилади виміру кривизни залізничної колії, гіроскопи, а також параметри, функції, переваги та недоліки кожного з пристроїв для вимірювання параметрів залізничної колії. Кожен з них має свою специфіку та можливості, які були ретельно розглянуті та

проаналізовані з точки зору їх застосування в різних умовах та завданнях. Такий огляд відобразив різноманітність технічних рішень у сфері вимірювання параметрів залізничної колії, підкресливши як їхню потенційну корисність, так і можливі обмеження у певних умовах експлуатації. Експлуатаційний аналіз показав, що в даний момент існує деяка кількість устаткування для виміру параметрів залізничної колії, що забезпечують достовірний контроль за станом залізничної колії, але їхнє застосування на залізницях України економічно не ефективно в зв'язку з дорожнечою апаратури.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА ПРИСТРОЮ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ КРИВОЇ ДІЛЯНКИ КОЛІЇ

2.1. Визначення кривизни кривої ділянки колії за кутовою швидкістю матеріальної точки, що рухається.

2.1.1. Поняття кривизни плоскої кривої.

Дана проста крива:

$$x=\varphi(t), y=\psi(t) \quad (t_0 < t < T), \quad (2.1)$$

де в цьому випадку функції ψ і φ розглядаються безперервними разом зі своїми похідними першого і другого порядку.

Розглянемо дугу цієї кривої, без визначених точок. Якщо в кожній її точці провести дотичну (скажемо в позитивному напрямку), то в результаті «викривленості» кривої ця дотична з переміщенням точки торкання буде обертатися; цим крива істотно відрізняється від прямої, для якої ця дотична (співпадаюча з нею) зберігає той самий напрямок для всіх точок.

Важливим елементом, що характеризує хід кривої, є «ступінь викривленості» або «кривизна» її в різних точках; цю кривизну можна виразити числом.

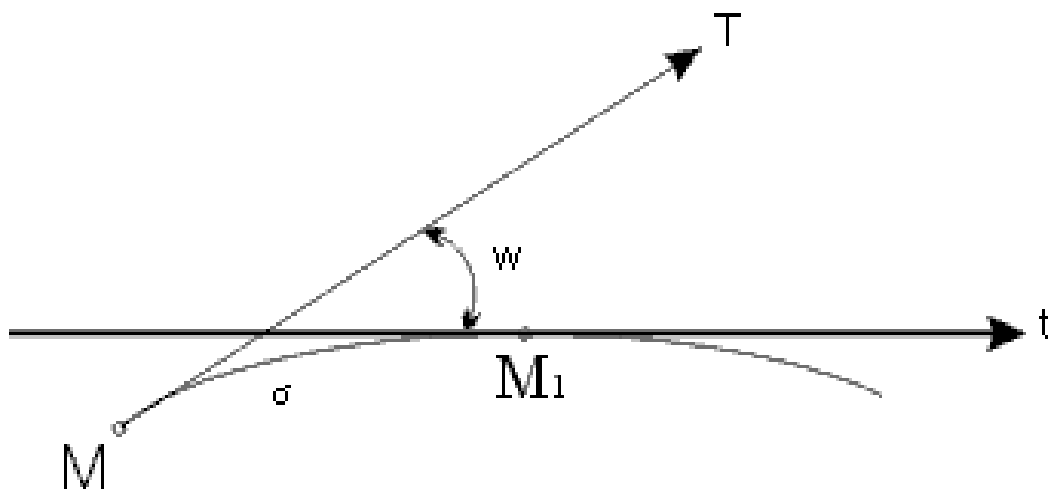


Рисунок 2.1

MM_1 (рис. 2.1) є дуга кривої; розглянемо дотичні MT і M_1t , проведені (у позитивному напрямку) у кінцевих точках цієї дуги.

Природно кривизна кривої характеризується кутом повороту дотичної, розрахованим за одиницю довжини дуги, тобто відношенням ω/σ , де кут ω вимірюється в радіанах, а довжина σ – в обраних одиницях довжини. Це відношення називають середньою кривизною дуги кривої.

Кривизною кривої в точці M називається межа, до якої наближається середня кривизна дуги MM_1 , коли точка M_1 уздовж по кривій наближається до M .

Позначивши кривизну в даній точці буквою k , будемо мати:

$$k = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\omega}{\sigma}$$

Звернемося тепер до виведення аналітичного вираження для кривизни, за яким її можна б було обчислювати виходячи з параметричного завдання кривої.

Припустимо, що в ролі параметра фігурує дуга.

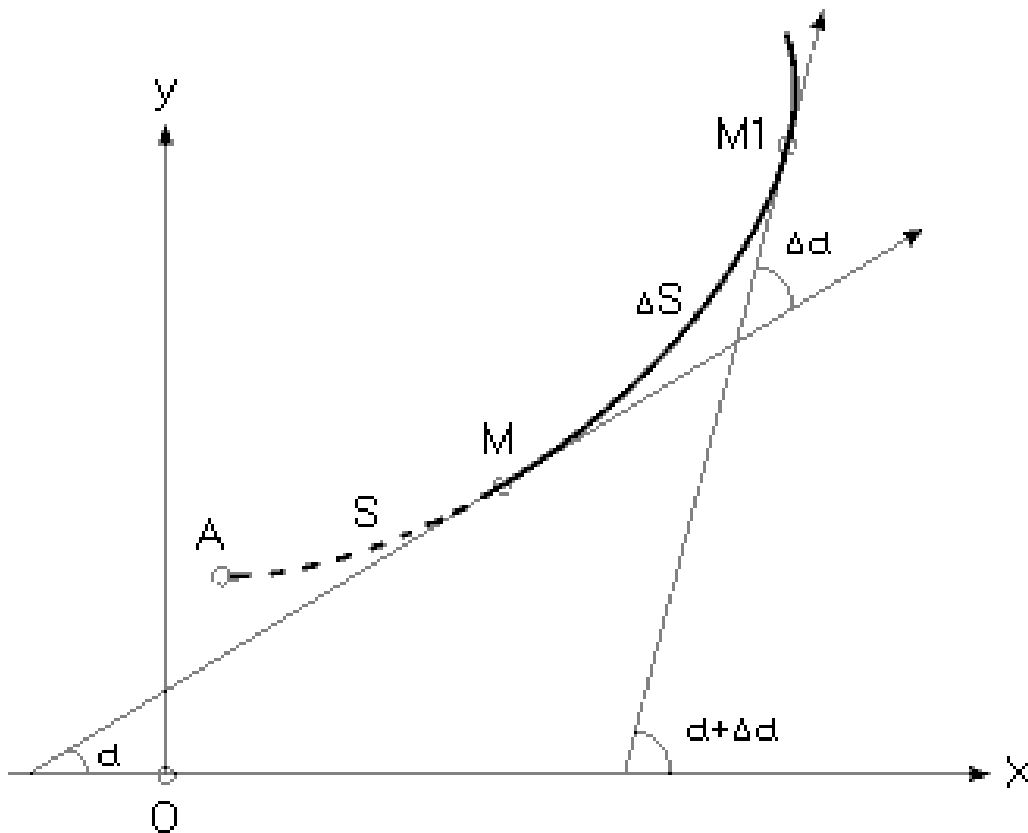


Рисунок 2.2

Візьмемо на цій ділянці кривої точку M (явно не особливу), і нехай їй відповідає значення s дуги. Додавши s довільний приріст Δs , одержимо іншу точку $M_1(s + \Delta s)$ (рис. 2.2). Приріст $\Delta \alpha$ кута нахилу дотичної при переході від M к M_1 дає кут ω між обома дотичними: $\omega = \Delta \alpha$.

Тому що $\sigma = \Delta s$, то середня кривизна буде дорівнювати $\Delta \alpha / \Delta s$.

Направивши $MM_1 = \Delta s$ до нуля, для кривизни кривої в точці M одержимо:

$$k = \lim_{\sigma \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta s} = \frac{d\alpha}{ds} \quad (2.2)$$

Важливо відзначити, що ця формула вірна лише з точністю до знака, оскільки кривизна, за нашим визначенням, є число не негативне, а на ділі може вийти і негативний результат.

Справа в тому, що як $\Delta \alpha$, як і Δs можуть бути негативними, так що, строго говорячи, варто було б писати: $\omega = |\Delta \alpha|$, $\sigma = |\Delta s|$ і, нарешті,

$$k = \left| \frac{d\alpha}{ds} \right|$$

Для того, щоб додати формулі (2.2) вид, зручний для безпосереднього обчислення (а разом з тим встановити саме існування кривизни), звернемося до довільного параметричного завдання кривої (2.1).

Оскільки точка, що розглядається $M(t)$ не є особливою, і $x_t'^2 + y_t'^2 > 0$, то можна вважати, що саме $x_t'^2 + y_t'^2 \neq 0$.

Перепишемо тепер формулу (2.1) інакше:

$$k = \frac{d\alpha}{ds} = \frac{\frac{d\alpha}{dt}}{\frac{ds}{dt}} = \frac{a_t'}{s_t'}$$

2.1.2. Дотична до кривої. Нехай дана крива (K) (рис. 2.3) і на ній точка M ; звернемося до твердження самого поняття дотичної до кривої в її точці M .

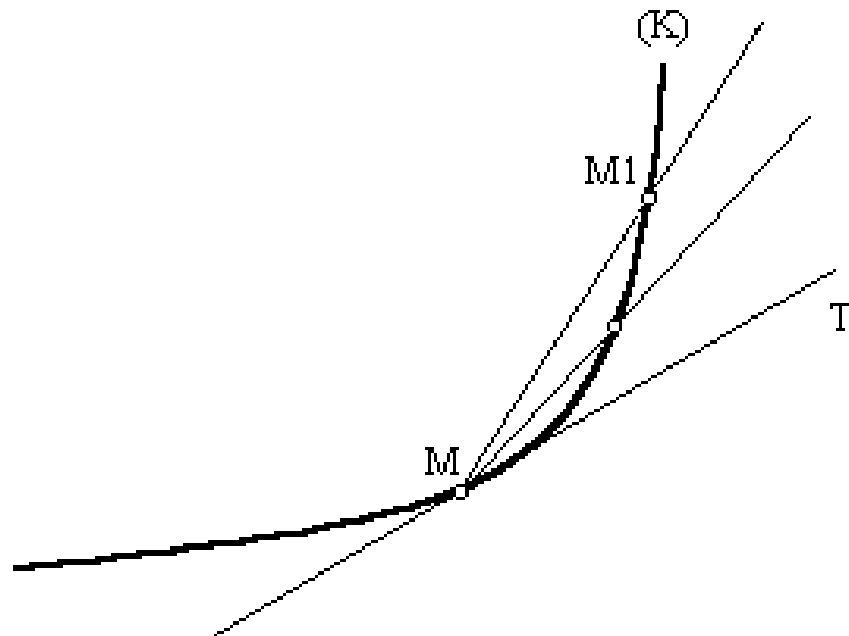


Рисунок 2.3 - Дотична до кривої

Дамо загальне визначення дотичної. Візьмемо на кривій (K) (рис. 2.3), крім точки M , ще точку $M1$ і проведемо січну $MM1$. Коли точка $M1$ буде переміщатися уздовж по кривій, ця січна буде обертатися навколо точки M .

Дотичною до кривої (K) у точці M називається граничне положення MT січної $MM1$, коли точка $M1$ уздовж по кривій прагне до злиття з M . Зміст цього визначення полягає в тому, що кут $M1MT$ стає скільки завгодно малим, тільки при досить малій хорді $MM1$.

2.1.3. Кутова швидкість тіла. При обертанні усього твердого тіла в цілому окремі його точки рухаються по окружностях, центри яких лежать на осі обертання.

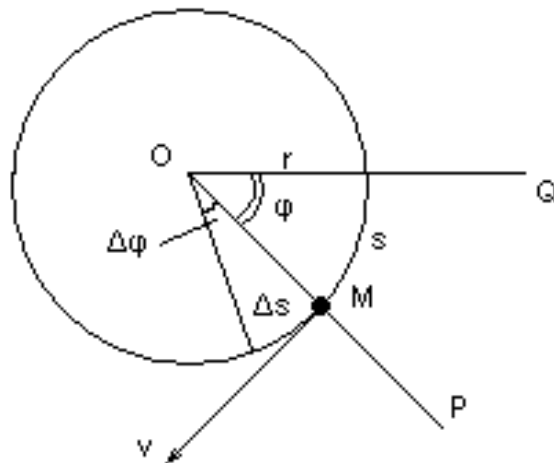


Рисунок 2.4

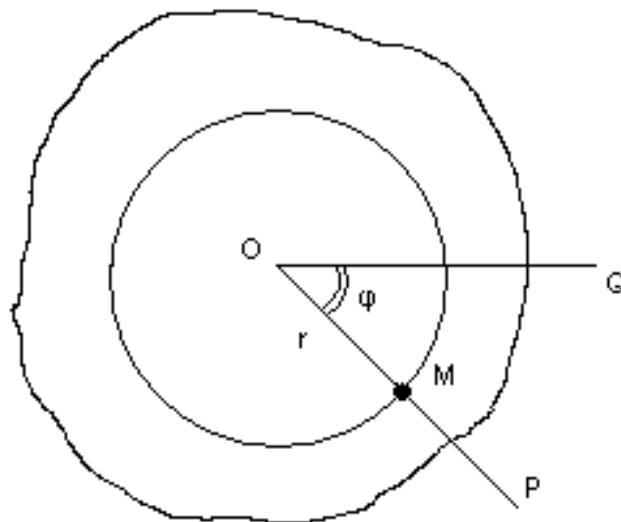


Рисунок 2.5

Дійсно, розглянемо довільну точку **M** (рис. 2.4), що знаходиться на відстані **r** від осі обертання. Для абсолютно твердого тіла ця відстань буде залишатися незмінною протягом усього часу руху і точка **M** буде рухатися по колу постійного радіусу $r = const$ з центром на осі обертання **O'O**. Для різних точок тіла, що обертається, величина **r** може бути різною.

Кінематичні характеристики різних точок (шлях, швидкість, прискорення), що рухаються, зв'язані один з одним і з кінематичними характеристиками руху всього тіла в цілому. Розглянемо довільну точку **M**, що лежить у рухливій

площині **P**. Кут повороту всього тіла φ і шлях **s**, пройдений точкою **M**, буде відраховуватися від нерухомої площини **Q**, по годинниковій стрілці (рис. 2.5). Якщо φ вимірювати в радіанах, то **s** і φ будуть зв'язані рівністю

$$s = r \cdot \varphi$$

За проміжок часу Δt тіло обернеться на кут $\Delta\varphi$ і точка **M** пройде відстань

$$\Delta s = r \cdot \Delta\varphi$$

Розділивши обидві частини цієї рівності на Δt і переходячи до границі, одержимо:

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = r \cdot \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t}$$

Величина $\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = v$ представляє абсолютну величину лінійної

швидкості руху крапки **M**. За аналогією з цим величина $\omega = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}$,

що характеризує швидкість зміни кута повороту, називається кутовою швидкістю обертання тіла. Кутова швидкість вимірюється в радіанах у секунду, а в техніці – в оборотах у хвилину:

$$1 \text{ об/хв} = \frac{2\pi}{60} = \frac{\pi}{30} \text{ рад/сек}$$

2.2. Схемна реалізація проектного пристрою

2.2.1. Розробка структурної схеми пристрою для вимірювання параметрів кривої ділянки колії. Опис пристрою. Алгоритм роботи

Електронний пристрій, що розробляється, для вимірювання параметрів кривої ділянки колії побудований на лазерному гіроскопі моделі ГЛ-1 виробництва фірми «ІСТОК». Результатом роботи цього пристрою є одержання величини кутової швидкості і відстані, пройдені за одну секунду; причому показання кутової швидкості знімаються щосекунди. Далі за цими показниками

визначається кривизна досліджуваної кривої, а також ширина колії та підвищення зовнішньої рейки. Структурна схема пристрою показана на рис. 2.6.

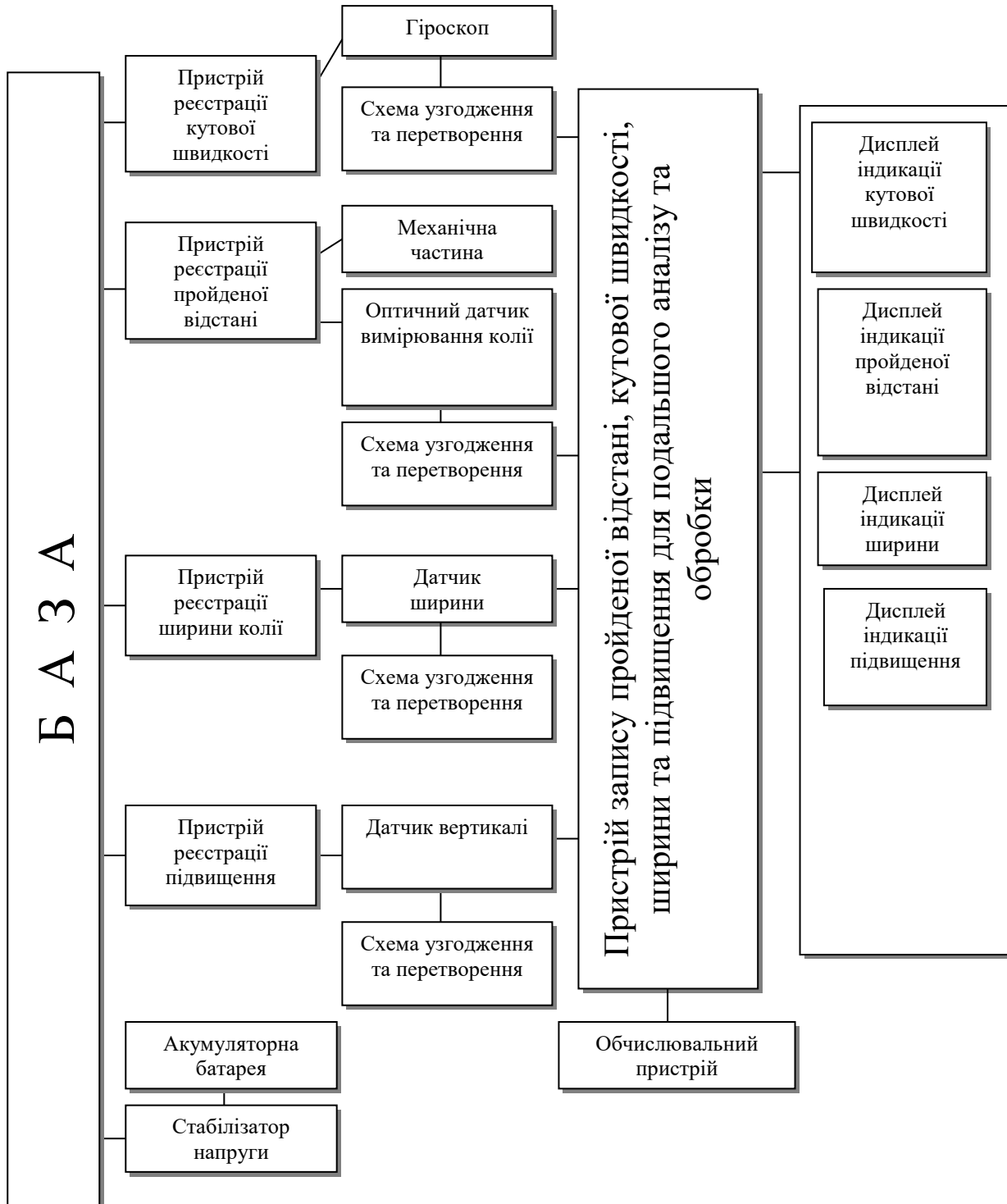


Рисунок 2.6 - Загальна схема пристрою для вимірювання параметрів залізничної колії

Гіроскоп у даному пристрої виступає в ролі датчика кутової швидкості. Значення його роботи полягає в тому, що при повороті його в горизонтальній

площині на виході відбувається зміна напруги. Знаючи вихідну напругу датчика при нульовій кутовій швидкості і «ціну розподілу шкали» тобто, на скільки відбувається збільшення або зменшення напруги на виході при повороті всієї системи з кутовою швидкістю рівною 1 град/с, можна обчислити кутову швидкість руху системи. Напруга, що змінюється в залежності від зміни кутової швидкості руху, не повинна спотворюватися. Для цього і використовуємо операційний підсилювач (ОП) К140УД17. Він відіграє роль «буфера» і запобігає впливу на вихідну напругу гіроскопа інших ланок схеми. Мається на увазі, що аналоговий сигнал, що надходить з гіроскопа, необхідно перетворити в цифровий сигнал. Для цього використовуємо аналого-цифровий перетворювач (АЦП), але його підключати прямо до гіроскопа не можна, оскільки АЦП стане «неузгодженим навантаженням» і буде впливати на вихідну напругу гіроскопа, буде вносити свої зміни і спотворювати результати. Параметри операційного підсилювача такі:

- $U_{\text{жив.}}=2 \times (3..18)\text{В}$ – напруга живлення;
- $K_D=200$ – мінімальний коефіцієнт підсилення;
- $I_{\text{п}}=5\text{мА}$ – споживаний струм;
- $U_{\text{см}}=0,25\text{мВ}$ – напруга зрушення «нуля»;
- $TKU_{\text{см}}=1,3\text{мкВ/К}$ – температурний коефіцієнт напруги зрушення

«нуля».

- $I_1=10\text{ мА}$ – вхідний струм;
- $\Delta I_1=5\text{мА}$ – різницевий вхідний струм;
- $U_{\text{дф max}}=15\text{ В}$ – припустиме значення диференціальної вхідної напруги;
- $U_{\text{сф max}}=13\text{ В}$ – припустиме значення синфазної вхідної напруги;
- $K_{\text{сф}}=100\text{ дБ}$ – коефіцієнт ослаблення синфазного сигналу;
- $f_1=0,4\text{ МГц}$ – частота одиничного посилення;
- $V_U=0,1\text{ В/мкс}$ – швидкість збільшення вихідної напруги;
- $U_{2\text{m max}}=12\text{ В}$ – найбільша амплітуда вихідної напруги;
- $R_{2\text{m min}}=2\text{ КОм}$ – найменший опір навантаження;
- $R_{\text{ДВХ}}=30\text{ МОм}$ – вхідний опір.

К1113ПВ1 – АЦП послідовного наближення, принцип роботи якого розглянемо на прикладі класичної структури (рис. 2.7а) 4-розрядного перетворювача, що складається з трьох основних вузлів: компаратора, регістра послідовного наближення (РПН) і ЦАП.

Після подачі команди «Пуск» із приходом першого тактового імпульсу РПН примусово задає на вхід ЦАП код, що дорівнює половині його шкали. Завдяки цьому напруга U_{oc} на виході ЦАП (рис. 2.7б)

$$U_{oc} = 2^3 h,$$

де h – квант вихідної напруги ЦАП, що відповідає одиниці молодшого розряду. Ця величина складає половину можливого діапазону перетворюваних сигналів. Якщо вхідна напруга більше, ніж ця величина, то на виході компаратора встановлюється 1, якщо менше, то 0. У цьому розглянутому випадку схема керування повинна переключити старший розряд d_3 назад у стан нуля. Безпосередньо слідом за цим залишок

$$U_{vx} = d_3 2^3 h$$

у такий же спосіб порівнюється з найближчим молодшим розрядом і т.д. Після чотирьох подібних кроків, що вирівнюють, у регістрі послідовного наближення виявляється двійкове число, з якого після цифро-аналогового перетворення виходить напруга, що відповідає U_{vx} . Вихідне число може бути зняте з РПП у виді рівнобіжного двійкового коду по N лініях. Крім того, у процесі перетворення на виході компаратора, формується вихідне число у виді послідовного коду старшими розрядами вперед.

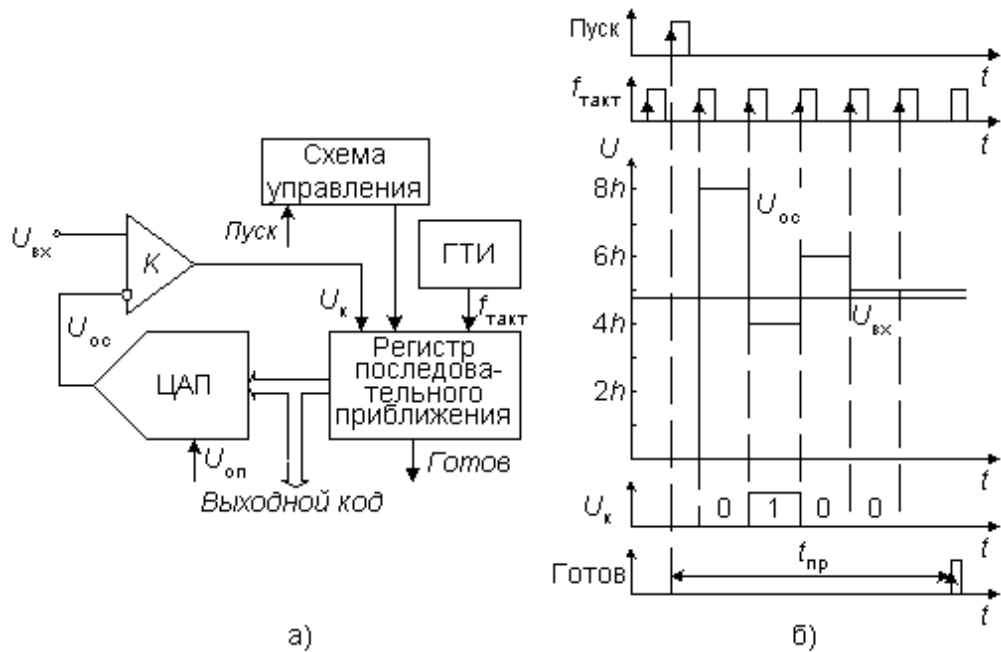


Рисунок 2.7 - Структурна схема і часові діаграми АЦП послідовного наближення

Даний клас АЦП займає проміжне положення по швидкодії, вартості і здатності, що дозволяє, між послідовно-паралельними і інтегруючими АЦП і знаходить широке застосування в системах керування, контролю і цифрової обробки сигналів.

Сигнал в цифровому вигляді далі надходить на мікроконтролер КР1816ВЕ51, що являє собою восьмирозрядну високопродуктивну однокристалну мікроЕОМ (ОМЕОМ), що виготовлена за високоякісної п-МОП технології. ОМЕОМ КР1816ВЕ51 містить маско-програмований у процесі виготовлення кристала ПЗП пам'яті програм місткістю 4096 байт і розрахований на застосування в масовій продукції. За рахунок використання зовнішніх мікросхем пам'яті загальний обсяг пам'яті програм може бути розширений до 64 Кб, а загальний обсяг пам'яті ОМЕОМ цього сімейства може досягати 128 Кб: 64 Кб пам'яті програм і 64 Кб пам'яті даних.

ОМЕОМ містять усі вузли, необхідні для автономної роботи:

- 1) центральний восьмирозрядний процесор;
- 2) пам'ять програм обсягом 4 Кб;

- 3) пам'ять даних обсягом 128 байт;
- 4) чотири восьмирозрядних програмованих канали введення-виведення;
- 5) два 16-бітові багаторежимні таймери/лічильники;
- 6) систему переривань;
- 7) послідовний інтерфейс;
- 8) тактовий генератор.

Система команд ОМЕОМ містить 111 базових команд із форматом 1, 2, або 3 байт.

За допомогою спеціальної програми записаної в МК відбувається обробка отриманої інформації і вивід її на семисегментні індикатори типу АЛС324А. Індикатор АЛС324А, цифровий, однорозрядний, напівпровідниковий, призначений для відображення інформації у виді цифр від 0 до 9 і десяткового знака. Показання на цих індикаторах повинні відповідати величині кутової швидкості системи.

З МК через виводи порту P3 індикатори зв'язані за допомогою універсального, восьмирозрядного регістра K531P24. Оскільки індикаторів використовується чотири, те необхідно зібрати багаторозрядний регістр, для складання якого в мікросхемах мають місце входи послідовних даних DS0 і DS7 і виходи Q0 і Q7. Паралельні дані зчитують з регістра через виводи Вх./Вих.0 – Вх./Вих.7. Для послідовного підключення 4-х регістрів IP24 необхідно вихід Q7 першого регістра з'єднати з входом DS0 другого.

Другий ключовий пристрій – це електронний датчик відстані, підключений до аналогічного мікроконтролера KP1816BE51, до якого також підключені індикатори типу АЛС324А, необхідні для індикації показання про пройденої відстань. До обох МК підключається зовнішня пам'ять, в яку відбувається запис значень кутової швидкості і пройденого шляху.

У схемі обов'язково повинна бути присутньою кнопка включення живлення і кнопка «Старт/Стоп» – початок і кінець вимірів. Живлення пристрою відбувається від автономного джерела, до складу якого входить акумуляторна

батарея (нікелево-кадмієва) і перетворюючий пристрій, на виході якого повинно бути $\pm 15\text{В}$ і $+5\text{В}$.

Алгоритм роботи пристрою зводиться до наступного. Після включення живлення оператор пристрою натискає кнопку «Старт/Стоп», на МК подається напруга і відбувається його скидання. Зміною розташування і напрямку руху гіроскоп встановлюється в нульовий стан. Після початку руху знімається напруга на датчику відстані і гіроскопі. По проходженню 1-ї секунди знята напруга з датчика відстані і гіроскопа перетворюється в цифровий код, що записується в пам'ять для наступної обробки й одночасно виводиться на індикатор. Якщо рух не припинився, то ці операції повторюються знову. Якщо рух припинився і натискається кнопка «Старт/Стоп», то це означає, що вимірювання закінчені.

2.2.2. Розробка принципової схеми пристрою реєстрації кутової швидкості. Принципова схема електронного пристрою для вимірювання кутової швидкості, що входить до складу електронного пристрою вимірювання параметрів кривої ділянки залізничної колії складається з: гіроскопа, операційного підсилювача, аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролера, семисегментних індикаторів і інших елементів.

Розглянемо принцип роботи даної схеми. У гіроскопа що знаходиться в нерухомому положенні або рухається прямолінійно на виводі 1 є присутня напруга 2,5 В. Це означає, що кутова швидкість рівна 0 гр./сек. При русі відмінному від руху по прямій і виникненні кутової швидкості напруга на цьому виході змінюється в залежності від величини цієї кутової швидкості.

Даний гіроскопічний датчик здатний вимірювати кутові швидкості в межах від -80 до $+80$ град./сек. При цьому «ціна розподілу шкали» складає 25 мВ/(град./сек.), тобто при повороті з кутовою швидкістю 1 гр./сек. напруга на виході гіроскопа змінюється на 25 мВ. З цього випливає, що бічні значення, одержувані на виході 1 лежать, в інтервалі 0,5 до 4,5 В. Ця напруга надходить на вхід 3 прецизійного, що володіє підвищеною точністю передатної функції завдяки більш високому вхідному опору операційного підсилювача К140УД17. Підсилювач налаштовано так, що величина сигналу, подаваного на його вхід, на

виході не змінюються, тобто тут резистори R3 і R4 (ними налаштовується коефіцієнт підсилення) мають однаковий номінал 10К, відповідно коефіцієнт підсилення $K=1$. Резистором R5 проводиться його балансування, а R6 регулює чутливість АЦП. Як АЦП був обраний 10-ти розрядний пристрій, що забезпечує необхідну точність перетворення аналогового сигналу в цифровий. Забезпечує перетворення як однополярної напруги (вивід 15 з'єднується з виводом 16) у діапазоні 0...9,95 В, так і біполярної напруги в діапазоні -4,975...+4,975 В в паралельний двійковий код. До складу ІС входять ЦАП, компаратор напруги, регістр послідовного наближення (РПН), джерело опорної напруги (ДОН), генератор тактових імпульсів (ГТІ), вихідний буферний регістр із трьома станами, схеми керування. Вихідні каскади з трьома станами дозволяють зчитувати результат перетворення безпосередньо на шину даних мікропроцесора. У ІС вихідний струм ЦАП порівнюється зі струмом вхідного резистора від джерела сигналу і формується логічний сигнал РПН. Стабілізація розрядних струмів ЦАП здійснюється вбудованим ІОН. По закінченні перетворення АЦП робить сигнал «готовність даних» та інформація з РПН надходить на цифрові входи через каскади з трьома станами.

Після перетворення сигналу в цифровий вигляд на інверсному виводі 17 «з'являється» сигнал логічного нуля, що дає готовність даних для передачі. Дані надходять на десятирозрядну шину, що з'єднує АЦП і МК.

Мікроконтролер КР1816ВЕ51 одержавши по 10-ти розрядній шині код, перетворює його по алгоритму спеціальної програми виведення інформації на цифрові індикатори. У даній мікросхемі були задіяні порти P0, P1, P2 і P3. При підключенні зовнішнього ОЗП використовуються порти P3, P0, P2 і керуючі сигнали ALE, WR, RD; порт P2 виставляє старший біт адреси зовнішнього ОЗП (при ALE=1), що запам'ятовується в регістрі (K555IP22). Після чого на виході RD VE51 з'являється 0 і надходить на вхід RD ОЗП. Зовнішня ОЗП переходить у режим читання, виставляє дані на ШД, що надходять на P0. У такий спосіб відбувається читання зовнішньої ОЗП. Якщо на виході WR з'являється 0, то він надходить на вхід WR ОЗП, що переходить у режим запису. Порт P0 виставляє

дані на ШД при $ALE=0$, що надходять у зовнішню ОЗП по ШД. У такий спосіб проводиться запис у зовнішню ОЗП.

Для синхронізації роботи МК до нього підключений кварцовий резонатор на 12 МГц. З порту P3 (виводи T04, T15) по одному з виводів йде сигнал синхронізації, а по іншому дані на семисегментні індикатори через регістри K531P24.

Оскільки ці індикатори з загальним катодом, то на катод потрібно подавати напругу низького рівня, тобто «0», а на анод – напругу високого рівня «1». При цих умовах індикатор буде висвітлювати необхідну цифру.

Перший з індикаторів є знаковим, другий показує ціле число, а інші два дробове.

2.3. Розрахунок транзисторного стабілізатора напруги

Розрахуємо транзисторний стабілізатор напруги для живлення електронних мікросхем компенсаційного типу за наступними вихідними даними: номінальна вихідна напруга стабілізатора $U_{вих}=5В$; номінальний струм навантаження $I_{вих}=0,2А$; припустимі відхилення напруги на вході стабілізатора від номінального значення убік збільшення ($a_{вх}$) і убік зменшення ($b_{вх}$) складають $a_{вх} = b_{вх} = 10\%$; припустимі відхилення вихідної напруги від номінальної $a_{вих} = b_{вих} = 0,2\%$.

У результаті розрахунку необхідно визначити тип транзисторів і стабілітрона, величини всіх деталей, що входять у схему стабілізатора і забезпечують заданий режим його роботи, необхідну величину вхідної напруги, коефіцієнт стабілізації схеми по напрузі і ККД стабілізатора.

Порядок розрахунку.

1. Визначаємо необхідне значення коефіцієнта стабілізації за формулою:

$$K_{cm(u)npеб} = \frac{a_{вх} + b_{вх}}{a_{вих} + b_{вих}} = \frac{10 + 10}{0,2 + 0,2} = 50$$

2. Знаходимо величину мінімальної напруги на вході стабілізатора

$$U_{\text{вх.мін}} = U_{\text{вих}} + U_{\text{к.елмін}} + \Delta U_{\text{вих}},$$

де $U_{\text{к.елмін}}$ – мінімально допустима напруга між емітером і колектором регулюючого транзистора, при якому робота ще відбувається на лінійній ділянці вихідної характеристики $I_{\text{к}} = f(U_{\text{к.е}})$ при $I_{\text{б}} = \text{const}$;

$\Delta U_{\text{вих}}$ – відхилення напруги на виході стабілізатора від номінальної.

Напруга $U_{\text{к.елмін}}$ для більшості транзисторів не перевищує 1-3В. При розрахунку $U_{\text{к.елмін}}$ можна приймати рівним 3В. Величина напруги $\Delta U_{\text{вих}}$ визначається величиною регулювання вихідної напруги, тобто $\Delta U_{\text{вих}} = 0,5\text{В}$. Таким чином,

$$U_{\text{вх.мін}} = 5 + 3 + 0,5 = 8,5\text{В}$$

Номінальна і максимальна напруга на вході стабілізатора з урахуванням припустимих відхилень вхідної напруги $a_{\text{вх}} = b_{\text{вх}} = 10\%$ відповідно рівні

$$U_{\text{вх}} = \frac{U_{\text{вх.мін}}}{\left(1 - \frac{b_{\text{вх}}}{100}\right)} = \frac{8,5}{1 - \frac{10}{100}} = 9,4\text{В}$$

$$U_{\text{вх.макс}} = U_{\text{вх}} \left(1 + \frac{a_{\text{вх}}}{100}\right) = 9,4 \left(1 + \frac{10}{100}\right) = 10,34\text{В}$$

3. Визначаємо максимальне спадання напруги на ділянці емітер-колектор регулюючого транзистора

$$U_{\text{к.елмакс}} = U_{\text{вх.макс}} - U_{\text{вих}} = 10,34 - 4,5 = 5,84\text{В}$$

4. Знаходимо максимальну потужність, що розсіюється на колекторі регулюючого транзистора

$$P_{\text{к1макс}} = U_{\text{к.елмакс}} \cdot I_{\text{вих.макс}},$$

де $I_{\text{вих.макс}}$ – максимальне значення струму навантаження.

При незмінному струмі навантаження

$$I_{\text{вих.макс}} = I_{\text{вих}} = 0,2\text{А}$$

Тому

$$P_{к1 \text{ макс}}=5,84 \cdot 0,2=1,168\text{Вт}$$

5. Вибираємо тип регулюючого транзистора.

При виборі необхідно виконати умови

$$I_{к1 \text{ макс}}= I_{\text{вих}} < I_{к1 \text{ макс доп}};$$

$$U_{к.е1 \text{ макс}} < U_{к.е1 \text{ макс доп}};$$

$$P_{к1 \text{ макс}} < P_{к1 \text{ макс доп}}.$$

Користуючись довідковими таблицями вибираємо транзистор T_1 типу КТ816В с такими параметрами: коефіцієнт підсилення по струму $B_1=25$, максимально допустиме напруження колектор – емітер $U_{к.е1 \text{ макс. доп.}}=45\text{В}$; максимально припустимий струм колектора $I_{к1 \text{ макс. доп.}}=3\text{А}$; максимально припустима потужність, що розсіюється на колекторі (без додаткового тепловідводу), $P_{к1 \text{ макс доп.}}=1,5\text{Вт}$.

Таким чином, для обраного транзистора КТ816В умови виконуються.

6. Вибираємо тип узгоджуючого транзистора T_2 . Транзистор T_2 призначений для узгодження великого вихідного опору підсилювача постійного струму, зібраного на транзисторі T_3 , з малим вхідним опором регулюючого транзистора T_1 .

Крім того, транзистори T_1 і T_2 , утворюють складений транзистор, що має загальний коефіцієнт підсилення по струму

$$B_{\text{заг}}=B_1 \cdot B_2,$$

де B_1 і B_2 – коефіцієнти підсилення по струму транзисторів T_1 і T_2 .

Великий коефіцієнт підсилення по струму $B_{\text{заг}}$ дозволяє значно підвищити коефіцієнт стабілізації схеми по напрузі.

Приймаючи

$$I_{к2}=I_{е2}=I_{б1},$$

де $I_{к2}$ і $I_{е2}$ – струми колектора і емітера транзистора T_2 ; $I_{б1}$ – струм бази транзистора T_1 , і з огляду на, що

$$I_{б1} \approx \frac{I_{к1}}{B_1} \approx \frac{I_{вих}}{B_1} = \frac{200}{25} = 8 \text{ мА.}$$

Крім того,

$$U_{к.э2.макс} \approx U_{к.э1.макс} = 5,84 \text{ В}$$

Таким чином, потужність, що розсіюється на колекторі транзистора T_2 , дорівнює

$$P_{к2 \text{ макс}} = U_{к.э2 \text{ макс}} \cdot I_{к2} = 5,84 \cdot 0,008 = 0,046 \text{ Вт}$$

Користуючись довідковими таблицями вибираємо транзистор T_2 типу КТ3107В с такими параметрами: коефіцієнт підсилення по струму $B_2=70$, максимально допустиме напруження колектор – емітер $U_{к.э2 \text{ макс. доп.}} = 20 \text{ В}$; максимально припустимий струм колектора $I_{к2 \text{ макс. доп.}} = 0,1 \text{ А}$; максимально припустима потужність, що розсіюється на колекторі (без додаткового тепловідводу), $P_{к2 \text{ макс. доп.}} = 0,3 \text{ Вт}$.

Оскільки $P_{к2 \text{ макс}} = 0,046 \text{ Вт} < P_{к2 \text{ макс. доп.}} = 0,3 \text{ Вт}$, то транзистор T_2 обраний правильно.

7. Вибираємо тип кремнієвого стабілітрона. Як джерело еталонної напруги звичайно використовується кремнієвий стабілітрон, що повинний мати номінальну напругу стабілізації

$$U_{ст} = (0,6 \dots 0,7) \cdot U_{вих} = (0,6 \dots 0,7) \cdot 5 = 3 \dots 3,5 \text{ В}$$

По таблиці з довідника вибираємо стабілітрон типу КС407А, у якого

$$U_{ст} = U_{ст} = 3,3 \text{ В}; I_{ст} = 20 \text{ ма}; I_{ст.макс} = 100 \text{ мА}$$

8. Знаходимо коефіцієнт розподілу напруги дільником R_2, R_3, R_4 ,

$$\alpha = \frac{U_{2 \text{ вих}}}{U_{вих}} \approx \frac{U_{ст}}{U_{вих}} = \frac{3,3}{5} = 0,66$$

9. Вибираємо тип керуючого (підсилювального) транзистора T_3 . На транзисторі T_3 зібраний підсилювач, що повинний реагувати на самі незначні коливання вихідної напруги і підсилювати них до величини, достатньої для керування регулюючим транзистором. Тому керуючий транзистор повинний забезпечувати достатнє посилення сигналу по напрузі. При виборі транзистора необхідно звернути увагу на величину колекторного струму $I_{кз}$. Цей струм повинний бути по можливості невеликим, але завжди перевищувати струм бази транзистора T_2 . Звичайно величина струму $I_{кз}$ вибирається в межах 0,5...2мА. Необхідне значення коефіцієнта підсилення по напрузі для керуючого транзистора можна знайти по формулі

$$K_{3(u)треб} = \frac{\Delta U_{вх} \cdot 100}{U_{вх} \cdot (a_{вх} + b_{вх}) \cdot \alpha}$$

де $\Delta U_{вх} = U_{вх.макс} - U_{вх.мін} = 12,21 - 10 = 2,21В$.

Одержимо

$$K_{3(u)треб} = \frac{2,21 \cdot 100}{5 \cdot (0,2 + 0,2) \cdot 0,66} = 167$$

Найбільш часто в якості керуючих використовуються малопотужні низькочастотні транзистори. Попередньо виберемо транзистор типу КТ208В з такими параметрами: коефіцієнт підсилення по струму $B_3 = 40$, максимально допустиме напруження колектора-емітера $U_{к.эз макс.доп.} = 20В$; максимально допустимий струм колектора $I_{кз макс.доп.} = 150мА$; максимально припустима потужність, що розсіюється на колекторі (без додаткового тепловідводу), $P_{кз макс.доп.} = 200мВт$. Визначимо фактичний коефіцієнт підсилення каскаду на транзисторі КТ208В. Для цього скористаємося формулою

$$K_{3(u)расч} = \frac{\Delta I_{кз}}{\Delta U_{б.эз}} \cdot R_1,$$

де $\frac{\Delta I_{кз}}{\Delta U_{б.э3}} = S_3$ – крутість характеристики транзистора T_3 (число, що

показує, на скільки міліамперів зміниться колекторний струм при зміні напруги між базою та емітером транзистора на 1В);

R_1 – опір навантаження в ланцюзі колектора транзистора T_3 .

Для малопотужних низькочастотних транзисторів, використовуваних у схемах стабілізаторів напруги, значення крутості лежить у межах

$$S_3 = (20 \dots 40) \text{ мА/В}$$

Приймаємо $S_3 = 30 \text{ мА/В}$.

Опір R_1 може бути знайдений по формулі

$$R_1 = \frac{0,5 \cdot U_{к.е1..мін} \cdot B_1 \cdot B_2}{I_{вих}} = \frac{0,5 \cdot 1,7 \cdot 25 \cdot 70}{0,2} = 7437,5 \text{ Ом}$$

Відповідно до таблиць приймаємо $R_1 = 7500 \text{ Ом}$. Потужність, що розсіюється на резисторі R_1 , складає

$$P_{R_1} \approx (I_{кз})^2 \cdot R_1 = (0,002)^2 \cdot 7500 = 0,03 \text{ Вт}$$

У такий спосіб

$$K_{3(u)расч} = 0,03 \cdot 7500 = 225 > K_{3(u)треб} = 167$$

Визначимо величину потужності, що розсіюється на колекторі транзистора T_3 ,

$$P_{кз макс} = U_{к.е3 макс} \cdot I_{кз}$$

Приймаючи

$$U_{к.е3 макс} = U_{вих} + \Delta U_{вих} - U_{ет} = 5 + 0,5 - 3,3 = 2,2 \text{ В}$$

одержимо

$$P_{кз макс} = 2,2 \cdot 0,002 = 0,0044 \text{ Вт} < P_{кз макс.доп.} = 0,2 \text{ Вт}$$

Отже, транзистор обраний правильно.

10. Визначаємо величини опорів резисторів і ємностей конденсаторів схеми. Як уже з'ясували опір навантаження в ланцюзі колектора транзистора T_3 $R_1=7500\text{Ом}$. Знайдемо опір вихідного дільника. Струм дільника I_d звичайно вибирають на один-два порядки вище струму бази керуючого транзистора T_3 . Номінальний струм бази транзистора T_3 можна знайти по формулі

$$I_{б3} = \frac{I_{к3}}{B_3} = \frac{0,15}{40} = 0,004\text{мА}$$

Вибираючи струм дільника $I_d=5\text{мА}$, знайдемо загальний опір дільника

$$R_d = R_2 + R_3 + R_4 = \frac{U_{вих}}{I_d} = \frac{5}{0,005} = 1000\text{Ом}$$

Враховуючи, що напруга стабілізації стабілітрона КС407А може змінюватися в межах 3,1...3,5В, визначимо опір нижнього плеча дільника для крайніх значень $U_{ет}$ і $U_{вих}$

$$(R_{д.н})_{\min} = R_d \frac{U_{ет.\min}}{U_{вих} + \Delta U_{вих}} = R_4 = \frac{1000 \cdot 3,1}{5 + 0,5} = 563\text{Ом}$$

$$(R_{д.н})_{\max} = R_d \frac{U_{ет.\max}}{U_{вих} - \Delta U_{вих}} = \frac{1000 \cdot 3,5}{5 - 0,5} = 777\text{Ом}$$

Величини опорів R_2 і R_3 рівні

$$R_3 = (R_{д.н})_{\max} - (R_{д.н})_{\min} = 777 - 563 = 214\text{Ом}$$

$$R_2 = R_d - (R_{д.н})_{\max} = 1000 - 214 = 786\text{Ом}$$

Отримані значення опорів дільника відповідають номінальним. Тому остаточно приймаємо $R_2=750\text{Ом}$; $R_3=220\text{Ом}$; $R_4=1000\text{Ом}$. Опір R_5 береться такої величини, щоб струм, що задається їм, через стабілітрон складав $I_{ст}=5\text{мА}$,

$$R_5 = \frac{U_{вих} - U_{ет}}{0,005} = \frac{5 - 3,3}{0,005} = 340\text{Ом}$$

По таблицях вибираємо резистор з опором $R_5=340\text{Ом}$.

Для збільшення швидкодії стабілізатора використовується ємнісний зв'язок між виходом стабілізатора і входом підсилювача, зібраного на транзисторі Т₃. З цією метою в схему стабілізатора включають конденсатор С₁. Величина ємності цього конденсатора вибирається порядку одиниць-десятків мікрофарад. Для схеми, що розраховується, можна використовувати електролітичний конденсатор ємністю 3мкф із робочою напругою 20В.

Конденсатор С₂ служить для підвищення стійкості стабілізатора й одночасно дозволяє зменшити вихідний опір схеми. Ємність конденсатора С₂ вибирається порядку 1000 – 2000мкФ. Для даної схеми можна використовувати електролітичний конденсатор ємністю 1000мкФ із робочою напругою 25В.

11. Знаходимо коефіцієнт стабілізації розрахованого стабілізатора по формулі

$$K_{cm(u)расч} = \alpha \cdot K_{з(u)расч} \cdot \frac{U_{вых}}{U_{вх}} = 0,66 \cdot 390 \frac{5}{9,4} = 137$$

Таким чином, коефіцієнт стабілізації розрахункового стабілізатора виявився більше необхідного, тому що

$$K_{cm(u)расч} = 137 > K_{cm(u)треб} = 50$$

12. ККД стабілізатора в номінальному режимі знаходимо по формулі

$$\eta = \frac{U_{вых} I_{вых}}{U_{вх} I_{вх}},$$

$$\text{де } I_{вх} = I_{вих} + I_{ст} + I_{д} = 200 + 5 + 5 = 210 \text{ мА.}$$

Таким чином,

$$\eta = \frac{5 \cdot 0,002}{9,4 \cdot 0,002} \cdot 100\% = 51\%$$

13. Складемо схему розрахованого стабілізатора:

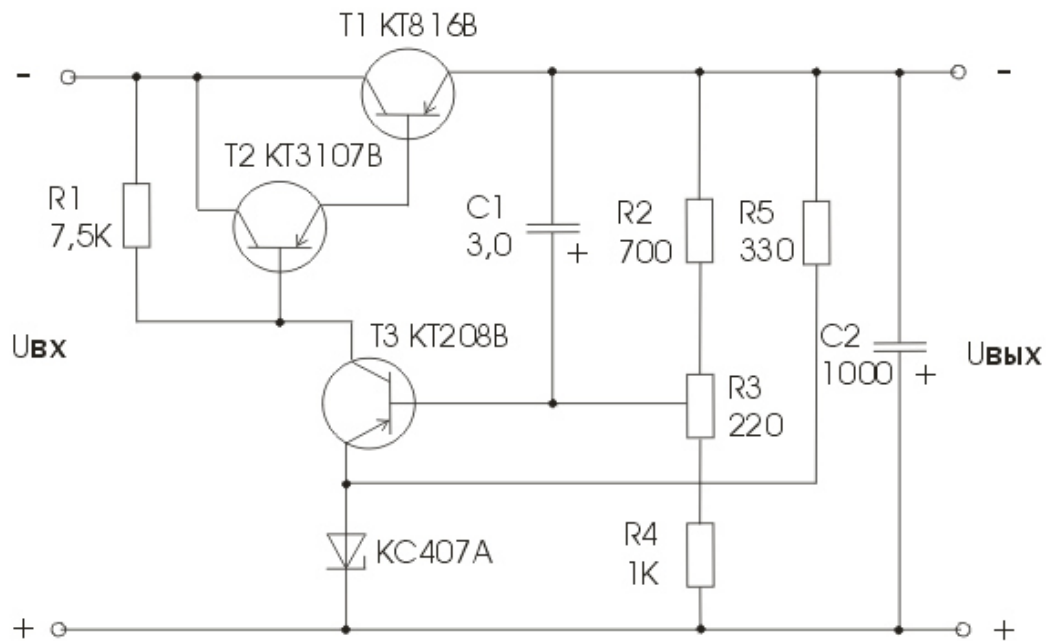


Рисунок 2.7 - схема розрахованого стабілізатора

Висновки. У цьому розділі було дане визначення кривої по кутовій швидкості матеріальної точки, що рухається по цій кривій; це відображено на рис. 2.2, а також приведена структурна схема пристрою (рис. 2.6), що розробляється, для вимірювання параметрів кривої ділянки залізничної колії. Дано розробку й описано принципову схему вузла вимірювання кутової швидкості і принципова схема пристрою запису в ОЗП. Зроблено розрахунок транзисторного стабілізатора напруги, й приведена його схема.

РОЗДІЛ 3. РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ ТА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛІ ДАТЧИКА ВИМІРЮВАННЯ ПРОЙДЕНОЇ ВІДСТАНІ

3.1. Опис обраного оптичного датчика для виміру руху пристрою

Для вимірювання пройденої відстані в проектованому пристрої було вибрано оптичний датчик. Головною задачею даної НДРС є розробка алгоритму роботи та програмного забезпечення моделі оптичного датчика.

До переваг таких датчиків можна віднести відсутність частин що рухаються й інерційних частин, надійність у роботі, точність позиціонування. У 1999 році фірмою Agilent Technologies була розроблена своя технологія оптичної навігації. На сьогоднішній момент фірмою Agilent випущено більш 75 мільйонів сенсорів різних модифікацій для оптичних мишей, що свідчить про популярність даної технології. До того ж, вищезазначена фірма випускає не тільки оптичні сенсори, але ще і практично всі необхідні компоненти для збору оптичної миші, що робить доступним виробництво оптичних мишей навіть для невеликих лабораторій. На рис. 3.1. показані два варіанти лінзи і затиску. Але якому би з них виробник не надав перевагу, принципово на роботу оптичної системи це не впливає.



Рисунок 3.1 - Складові частини оптичного датчика

Суть даної технології полягає в наступному: оптичний сенсор послідовно зчитує зображення поверхні (кадри), а потім математично визначає напрямок і величину переміщення.

Повна оптична система складається з чотирьох компонентів: оптичного сенсора, лінзи, червоного світлодіода і затиску для світлодіода. Як вона виглядає в зібраному виді, можна подивитися на рис. 3.2

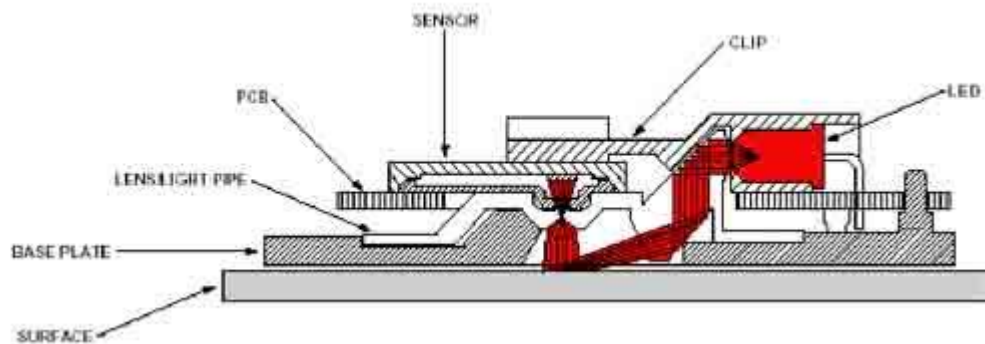


Рисунок 3.2 - Робота оптичної системи

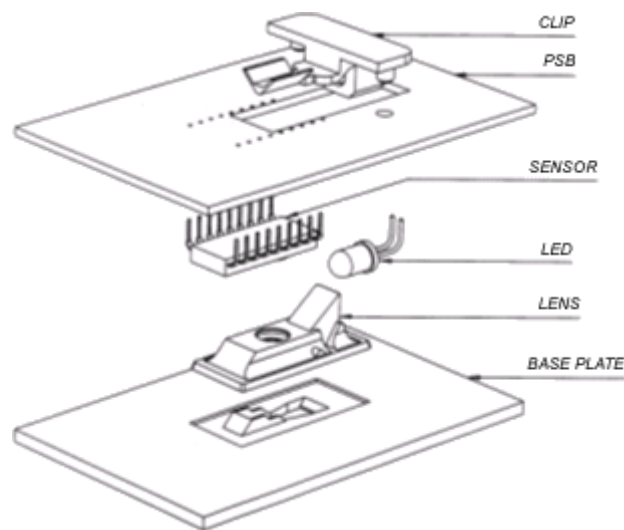


Рисунок 3.3 - Елементи оптичної системи

Оптичний сенсор містить у собі три функціональних блоки: систему зчитування зображення (IAS); цифровий сигнальний процесор (DPS); послідовний інтерфейс передачі даних. Конструктивно ж оптичний сенсор являє собою мікросхему із шістнадцятьма ніжками (мається варіант і з вісьмома), на нижній частині якої (з боку ніжок) розташований об'єктив. За об'єктивом розташована монохромна КМОП (CMOS) камера, що і фотографує невелику ділянку поверхні

площею близько квадратного міліметра. Кадр поверхні розбивається на маленькі ділянки (квадрати). Для кожної такої ділянки обчислюється усереднене значення яскравості. Діапазон значень, що привласнюються – від 0 до 63, де 0 привласнюється чорній ділянці, а 63 – білому. Таким чином, виходить мозаїчне зображення, що складається з квадратів різної яскравості. От один такий квадрат, тобто елемент зображення, і є точкою прив'язки, а точніше сказати, одним відліком (див. рис. 3.4). І здатність оптичної миші, що дозволяє, визначається в відліках на дюйм (counts per inch), тобто cpi, а не dpi, як у звичайних мишей. Фірма Agilent випускає сенсори із роздільною здатністю як 400, так і 800 cpi, причому моделі із роздільною здатністю 800 cpi можуть бути запрограмовані на роботу із роздільною здатністю 400 cpi. На ринку продажу комп'ютерної техніки також відома компанія Logitech, що також спеціалізується на продажі систем оптичної навігації і має більш низьку ціну продукції, на більш просунуті моделі оптичних систем, вищезгадана фірма ставить сенсори із роздільною здатністю 800 cpi.

Пам'ятаючи про те, що сенсор фотографує дуже невелику ділянку поверхні, що зчитується послідовно, кадри повинні накладатися один на одного з невеликим зсувом, поверхня фотографується з дуже великою швидкістю – 1500 знімків у секунду. Це дозволяє переміщати оптичний датчик зі швидкістю до 12 дюймів (30 сантиметрів) у секунду. Також існують варіанти сенсорів, що фотографують поверхню зі швидкістю в 2000 або 2300 знімків у секунду і дозволяють переміщати мишу зі швидкістю в 14 дюймів (35 см) у секунду.

Усе вищерозглянуте відноситься до системи зчитування зображення. Далі зняті кадри обробляються цифровим сигнальним процесором по спеціальному, звичайно ж, запатентованому алгоритму. Порівнюючи отримані кадри, процесор визначає величину і напрямок переміщення миші (див. рис. 3.4), після чого перетворює ці дані в координати.

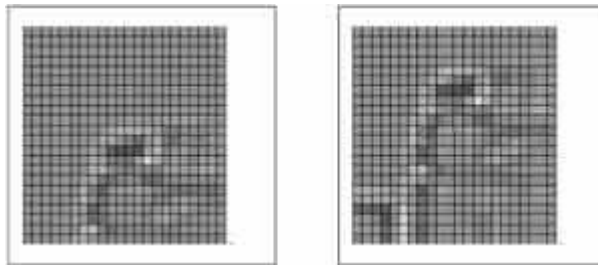


Рисунок 3.4 - Зовнішній вигляд кадрів, що знімаються

Через те що кварцуються сенсори здебільшого генератором з частотою 18 МГц (є варіанти на 24 МГц), то можна припустити, що потужність цифрового процесора складає 18 мільйонів операцій у секунду. Потім обчислені координати за допомогою послідовного інтерфейсу передаються в комп'ютер. Перші моделі сенсорів уміли «спілкуватися» з комп'ютером по інтерфейсу PS/2, а для роботи з інтерфейсу USB був потрібний додатковий контролер. Частота посилки координат при використанні інтерфейсу USB – 125 разів у секунду, PS/2 – 100 разів. Але через послідовний порт можуть установлюватися деякі параметри самого сенсора – зокрема, що дозволяє здатність і частота посилки координат.

Тепер розглянемо призначення інших компонентів оптичної системи. Тому що під датчиком темно навіть удень, то поверхню, що фотографує сенсор, необхідно підсвічувати. Камера сенсора налаштована на сприйняття світла в червоному спектрі випромінювання ($\lambda=639 \text{ nm}$). Тому і використовується червоний світлодіод, головна задача якого – навіть мінімальною кількістю випромінюваного світла забезпечувати роботу сенсора на всій робочій поверхні. Чим вища яскравість висвітлення, тим на більшій кількості поверхонь буде працювати сенсор. Щоб забезпечити рівномірне висвітлення поверхні, світло від світлодіода проходить по світловоду і розсіюється лінзою. Через іншу лінзу сенсор зчитує зображення поверхні. Конструктивно дві лінзи і світловід виконані як одна деталь і називаються одним словом «лінза». Крім функції розсіювання і фокусування світла, лінза виконує ще одну важливу функцію – захист сенсора від розряду електростатичної напруги. Зрозуміло, що лінза повинна розташовуватися на строго визначеній відстані від робочої поверхні і від сенсора. Тому друкована

плата (PCB) і опорна поверхня (base plate), на які встановлюються елементи оптичної системи, повинні мати строго визначені параметри, у тому числі і по товщині. Ну й останній елемент оптичної системи – це засувка. Служить вона для фіксації елементів оптичної системи відносно один одного.

Розглянемо поверхню, на якій повинна працювати дана система. Тому що сенсор використовує мікроскопічні особливості поверхні, то чим більше таких особливостей, тим краще. До таких можна віднести поверхні з гарною текстурою (чим володіє будь-яка тканина) і візерунковими особливостями. Як відомо, поверхня головки рейки має неоднорідну структуру з характерним візерунком на металі, що як не можна краще підходить для стабільної роботи датчика.

3.2. Розробка алгоритму та програмного забезпечення.

3.2.1. Опис алгоритму. Алгоритм роботи програмної моделі датчика пройденої відстані зображено на рис. 3.5.

Робота проектованої моделі основана на визначенні програмним шляхом координат покажчика комп'ютерної миші на екрані та наступному розрахунку лінійного переміщення за спеціальним алгоритмом. На початку роботи програми реалізовано визначення типу миші встановленої в системі та її параметрів. Після цього програма «чекає» на натиснення кнопки «СТАРТ». Після натиснення цієї кнопки програмою визначаються координати покажчика на екрані (точка відліку) та встановлюються на «0» дані про пройдену відстань. Далі ці дані виводяться в спеціальні поля для індикації в головному вікні програми. Після цього проводиться реєстрація руху миші, тобто програма реагує на щонайменші зміни координати X покажчика. При кожній зміні координати на один піксель (точку) програма додає до змінної, що зберігає пройдену відстань, одиницю. Далі значення цієї змінної виводиться в спеціальне поле для індикації пройденої відстані на головному вікні програми. Після кожної зміни координати X, що реєструється програмою, перевіряється натискання кнопки «СКИДАННЯ», що призначена для скидання показань пройденої відстані та нового визначення точки

відліку. Якщо кнопку «СКИДАННЯ» було натиснуто, робота програми повертається на початок, а саме на визначення координат та встановлення нової точки відліку. Для виходу з програми передбачена кнопка «Вихід». Алгоритм роботи програмної моделі побудовано таким чином, що програма реєструє тільки лінійні переміщення датчика за віссю X. Переміщення за віссю Y програмою не реєструються та не впливають на підрахунок загальної пройденої відстані.



Рисунок 3.5 - Алгоритм роботи моделі датчика

3.2.2. Програмні засоби створення моделі датчика пройденої відстані

Головне вікно програми для визначення пройденої відстані показано на рис.

3.6.

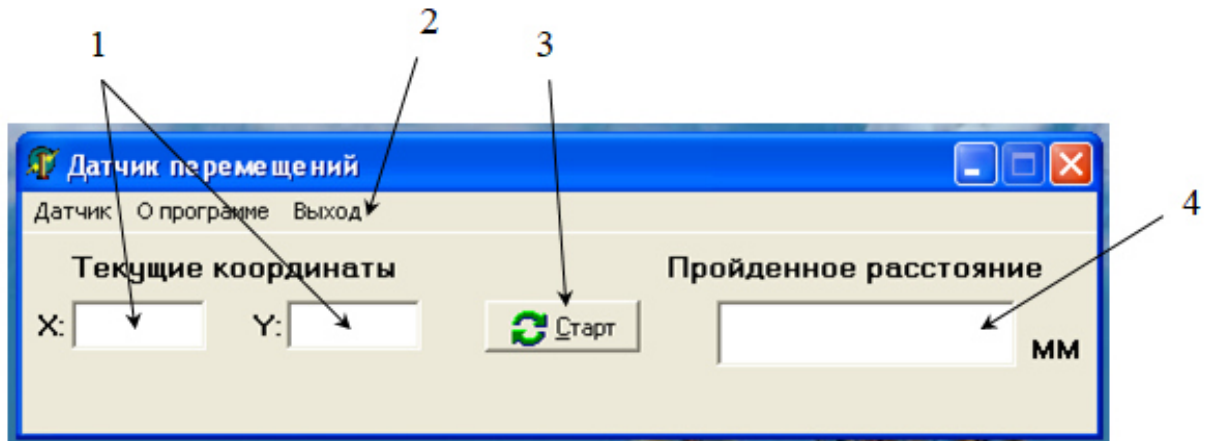


Рисунок 3.6 - Зовнішній вигляд головного вікна програми

Умовні позначення на рисунку:

1. Поля для індикації координат курсору на екрані;
2. Головне меню програми;
3. Кнопка старт;
4. Поле для індикації кінцевого результату обчислення пройденої відстані.

Для створення програмного забезпечення моделі датчика пройденої відстані було використано пакет прикладних програм Borland Delphi 6.0. Даний пакет є одним із лідерів у світі серед засобів програмування на високому рівні. Для програмної реалізації визначення координат курсору миші був використаний стандартний клас TMouse. Цей клас містить в собі команди та процедури для управління, визначення та налаштування параметрів стандартного маніпулятора типу «миша».

Діалогове вікно програми було створено за допомогою стандартного класу TForm, та об'єктів керування TEdit, TMemo, TButton, TLabel, що входять до його складу.

Далі приведемо основні функціональні блоки програми з коментарями та описом функцій, що виконують ці блоки.

- 1) Підключення необхідних бібліотек типів та процедур для створення програми сумісної з операційною системою WINDOWS®.

Uses Windows, ComObj, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms, Dialogs, Menus, StdCtrls, Buttons, ExtCtrls;

- 2) Реєстрація класів та типів що буде використано в програмі:

type

TForm1 = class(TForm)

MainMenu1: TMainMenu;

N1: TMenuItem;

N3: TMenuItem;

N4: TMenuItem;

N5: TMenuItem;

Edit1: TEdit;

Edit2: TEdit;

Label1: TLabel;

Label2: TLabel;

Label3: TLabel;

BitBtn1: TBitBtn;

Timer1: TTimer;

Edit3: TEdit;

Label4: TLabel;

Label5: TLabel;

procedure N5Click(Sender: TObject);

procedure FormCreate(Sender: TObject);

procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);

procedure Timer1Timer(Sender: TObject);

procedure Edit1Change(Sender: TObject);

```

private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

```

```

var
  Form1: TForm1;
  info:string;
  posx,posy:integer;
  mouse:TMouse;
  sm:integer;

```

- 3) Процедура обробки натиснення кнопки старт, що починає вимірювання та визначає початкові координати курсору миші та встановлює точку відліку:

```

procedure TForm1.BitBtn1Click(Sender: TObject);
begin
  Mouse.Capture;
  posx:=mouse.CursorPos.X;
  posy:=mouse.CursorPos.Y;
  Timer1.Enabled:=true;
  cnx:=0;
  Edit3.Text:=inttostr(cnx);
end;

```

- 4) Процедури індикації координат курсору, реєстрації зміни координат, обчислення величини переміщення та індикації пройденої відстані.

```

procedure TForm1.Timer1Timer(Sender: TObject);
begin

```

```
Mouse.Capture;  
posx:=mouse.CursorPos.X;  
posy:=mouse.CursorPos.Y;  
Edit1.Text:=inttostr(posx);  
Edit2.Text:=inttostr(posy);  
sm:=cnx mod 3;  
if sm=0 then  
    Edit3.Text:=inttostr(cnx*3);  
end;
```

```
procedure TForm1.Edit1Change(Sender: TObject);  
begin  
    cnx:=cnx+1;  
end;
```

Для організації періодичної перевірки зміни координати X курсору миші в програму введено програмний генератор часової затримки (таймер) стандартного класу TTimer. Цей компонент дозволяє організовувати програмні затримки часу від 1мс до 10 с. В даній програмі використана часова затримка на 1 мс. Це дозволяє перевіряти наявність зміни координати курсору миші з частотою 1000 разів на секунду, та достатньо швидко реєструвати щонайменші переміщення миші по поверхні.

Висновки. В цьому розділі приведено опис обраного датчика пройденої відстані. Наведено алгоритм роботи розробленої моделі та його опис. Також описані програмні засоби створення моделі з характеристикою основних блоків програми та функцій, що вони виконують.

ВИСНОВКИ

Існуючі методи виміру кривизни та інших параметрів колії є або ресурсномісткими (реєстратор кривизни шляхи), або вимагають великих витрат людино/годин (інструментальний метод). Даний же пристрій не є ресурсномістким і не вимагає великого обслуговуючого персоналу.

Розроблено структурну схему всього пристрою, а також принципова схема блоку відповідального за вимірювання, індикацію і запис кутової швидкості руху електричної системи по закривленій ділянці залізничної колії. Як датчик кутової швидкості був обраний лазерний гіроскоп ГЛ-1 виробництва фірми «ІСТОК». Цей гіроскоп відрізняється невеликими розмірами, надвисокою точністю і відносно низькою ціною. Однак є присутнім недолік у виді невеликого температурного дрейфу. Температурний дрейф можна компенсувати, ввівши в систему датчик температури навколишнього середовища.

По визначених величинах кутової швидкості і пройденого шляху за допомогою математичних операцій визначається шукана кривизна залізничної колії, що потім можна використовувати для додання кривої проектного положення, тим самим, підтримуючи тенденцію розвитку високошвидкісного руху.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Український державний університет науки і технологій [Електронний ресурс] Режим доступу:
http://diit.ust.ua/universcity/activity/official_information
2. Даніленко Е.І. Залізнична колія. Улаштування, проектування і розрахунки, взаємодія з рухомим складом (Том 1). – Інпрес, 2010. – 528 с.
3. Астаф'єв С.А., Ротц Ю.А. Динаміка та надійність мікромеханічних гіроскопів// Матеріали дев'ятої сесії міжнародної наукової школи «Фундаментальні та прикладні проблеми надійності та діагностики машин і механізмів» / За ред. Л.В.Єфремова, В.М. Мусалімова. – СПб, 2009.
4. Бондаренко А.А., Дубінін О.О., Переяславцев О.М. Теоретична механіка. – Знання, 2004. – 590 с.
5. Дикань В.Л., Зубенко В.О., Маковоз О.В., Токмакова О.В., Шраменко І.В. Стратегічне управління. – Київ: Центр учбової літератури, 2013.
6. Сотнік С.В. Параметрична модель гіроскопів. – Scholars Journal of Engineering and Technology. – Харків, 2018.
7. Бутько Т.В. Формування моделі розвитку залізничної системи швидкісних перевезень на основі принципів самоорганізації. – Вісник НТУ «ХП». Збірник наукових праць. – Харків, 2011.
8. Дьомін Ю.В. Залізнична техніка міжнародних транспортних систем. – Юнікон-Прес, 2011. – 352 с.
9. Матвіїв І.Б. Європейське залізничне законодавство (Том 1). – Укрзалізниця. ТОВ «НВП Поліграфсервіс». – Київ, 2006. – 296 с.
10. Безруков В.В., Профатілов В.І. Основи програмування в Delphi. – Дніпро, УДУНТ, 2001. – 258 с.
11. Артюшин Л.М., Дурняк Б.В., Машков О.А., Сівов М.С. Теорія автоматичного керування. – Львів: Видавництво УАД, 2004. – 272 с.
12. Павловський М.А. Теоретична механіка. – Київ: навчальне видання «Техніка», 2002. – 511 с.

13. Васильєва Л.Д. Напівпровідникові прилади. – Київ: видавництво «Кондор», 2018. – 556 с.