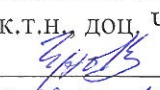


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

УДК 654.9

«Допущено до захисту»

В.о. завідувача кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях
к.т.н., доц. Чухов В.В.

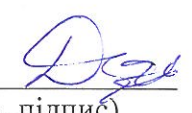

« 29 » 12 2022 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему "Дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті"

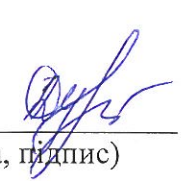
за спеціальністю 172 «Телекомунікації та радіотехніка»
освітній ступінь «магістр»

Виконавець роботи
студент 2 курсу, гр. ТРм-21-1


(дата, підпис)

Денисюк М.С.

Керівник роботи
к.т.н., доцент


(дата, підпис)

Дубина О.Ф.

Житомир
2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЖИТОМИРСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КОМП'ЮТЕРНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА БІОМЕДИЧНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ

**Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи магістра**

на тему "Дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті"

Виконав: студент 2 курсу, групи ТРм-21-1
спеціальності

172 «Телекомунікації та радіотехніка»

Денисюк М.С.

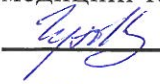
Керівник Дубина О.Ф.

Рецензент Нікітчук Т.М.

Житомир
2022

«Затверджено»

В.о. завідувача кафедри
комп'ютерних технологій у
медицині та телекомунікаціях

 В.В. Чухов

«29» грудня 2022 р.

Завдання
на кваліфікаційну магістерську роботу

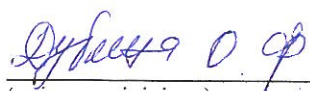
Денисюк Максим Сергійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

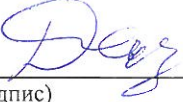
1. Тема роботи: Дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті від «12» 10 2022 р. № 460/с
2. Мета дослідження: Дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних і переносних пристроїв.
3. Основні задачі дослідження:
 - Проведення аналізу сучасних радарів виміру швидкості об'єктів.
 - Проведення аналізу радару на основі ефекту Доплера.
 - Дослідження швидкості руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних та переносних пристроїв.
4. Термін подання роботи до захисту 12 грудня 2022 р.
5. Дата видачі завдання «10» 05 2022 р.

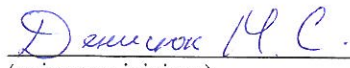
Науковий керівник


(підпис)


(прізвище, ініціали)

Завдання прийняв
до виконання


(підпис)


(прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Темою дипломної роботи є дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних і переносних пристроїв. Проведено аналіз сучасних радарів виміру швидкості об'єктів, аналіз радару на основі ефекту Доплера. Було зроблено дослідження швидкості руху автомобілів на маршруті за допомогою таких пристроїв, як: фіксовані автоматичні детектори швидкості, радар і лазерна гармата, ручний підрахунок. В результаті порівняння приладів між собою, було сформована висновки використання того, чи іншого пристрою. Були проведені розрахунки точності фіксації швидкості за кожним методом і порівнені не тільки з спідометром автомобіля, а також з системою V-BOX GPS яка надає дані про швидкість автомобіля і пройдений шлях за допомогою зафіксованих даних супутником.

Результати проведених досліджень можуть використовуватися під час проектування систем фіксації швидкості на маршруті, та запобігання аварій та травмування людей.

ANNOTATION

The topic of the diploma work is the study of the speed of cars on the route using stationary and portable devices. The analysis of modern radars for measuring the speed of objects, the analysis of the radar based on the Doppler effect was carried out. The study of the speed of cars on the route was carried out with the help of such devices as: stationary automatic speed sensors, radar and laser cannon, manual counting. As a result of the comparison of the devices with each other, the conclusions of the use of one or another device were formed. Calculations of the accuracy of fixing the speed by each method were carried out and compared not only with the car's speedometer, but also with the V-BOX GPS system, which provides data on the car's speed and the distance covered using data recorded by a satellite.

The results of the conducted research can be used during the design of systems for fixing the speed on the route, and to prevent accidents and injuries to people.

РЕФЕРАТ

Дипломна робота має на меті дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних і переносних пристроїв.

Сучасний швидкісний режим транспортних засобів впливає на виконання багатьох задач в цілому, а також на безпеку руху. Контроль даного процесу може здійснюватися за допомогою різних пристроїв, як стаціонарних, так і переносних

Дана дипломна робота містить: сторінок – 78, таблиць – 6, рисунків – 35.

Перший розділ присвячено аналізу загального принципу побудови вимірювання швидкості руху об'єкта за допомогою ефекту Доплера. Розглянуто загальні відомості про принципи роботи радарів на основі ефекту Доплера та проведено огляд існуючих доплерівських радарів.

У другому розділі проведено аналіз структурної та принципової схем типового доплерівського радара, конструкції приладу. Проведено розрахунок показників надійності.

Третій розділ присвячено дослідженню швидкості руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних та переносних пристроїв, а також оцінки точності виміру швидкості автомобілів різними приладами на різних принципах дії.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ.....	6
СКРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ.....	8
ВСТУП.....	9
1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РАДАРІВ ВИМІРУ ШВИДКОСТІ ОБ'ЄКТІВ.....	10
1.1 Загальні відомості про принципи роботи радарів на основі ефекту Доплера.....	10
1.2 Огляд існуючих доплерівських радарів.....	14
2. АНАЛІЗ РАДАРУ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА.....	31
2.1 Аналіз структурної схеми	31
2.2 Аналіз принципової схеми.....	34
2.3 Розрахунок показників надійності	47
3. ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА МАРШРУТІ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАЦІОНАРНИХ ТА ПЕРЕНЕСНИХ ПРИСТРОЇВ.....	50
3.1 Локальне дослідження швидкостей руху.....	50
3.2 Дослідження швидкості руху на маршруті...	58
3.3 Дослідження сучасних технологій детекторів руху.....	58
ВИСНОВКИ.....	73
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	75

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАЧКИ

ТЗ – Транспортний засіб;

СКП – Середньоквадратична похибка;

АП – Абсолютна похибка;

АПВ – Абсолютна похибка (відсоткова);

РТС – Розумні транспортні системи;

ВСТУП

Розвиток сучасних технологій в галузі автомобілебудування призводить до значного підвищення потужності силових агрегатів транспортних засобів. Також ці технології дозволяють здешевити процес виробництва автомобільного транспорту. Це в свою чергу призводить до появи великої кількості потужних автотранспортних засобів та перевантаження автомобільної інфраструктури.

Ці фактори призводять до перевищення швидкісного режиму та до збільшення кількості автотранспортних пригод. Перевищення швидкості транспортних засобів є однією із основних причин травмування та загибелі як пішоходів, так і водіїв.

Сучасні передові технології пропонують нам різні альтернативи в зборі даних про автомобільний трафік на дорогах. Однак, різноманіття пристроїв часто надають різну точність від реальної швидкості транспортних засобів (ТЗ). Відсутність знань про точність між різними пристроями часто цитується як спільна проблема як для дослідників транспорту, так і для науковців подібних сфер діяльності. Тому актуальною є питання дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті.

Мета роботи: Дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних і переносних пристроїв.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Аналіз сучасних радарів виміру швидкості об'єктів.
2. Аналіз радару на основі ефекту Доплера.
3. Дослідження швидкості руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних та переносних пристроїв.

Об'єктом дослідження є автомобільний трафік на дорогах.

Предметом дослідження є засоби вимірювання швидкості руху автомобільного транспорту.

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ РАДАРІВ ВИМІРУ ШВИДКОСТІ ОБ'ЄКТІВ

1.1 Загальні відомості про принципи роботи радарів на основі ефекту Доплера

Доплерівський радар - радар, який вимірює зміну частоти сигналу відбитого від об'єкта. За зміною частоти обраховується радіальна складова швидкості об'єкта (проекція швидкості на пряму, яка проходить через об'єкт і радар). Доплерівські радари широко застосовуються в різних областях: для визначення швидкості літаючих апаратів, кораблів, автомобілів, гідрометеорів (наприклад, хмар), морських і річкових течій, а також інших об'єктів.

Для радіохвиль хвиль характерне наступне: хвилі розповсюджуються в середовищі, всередині якого можуть рухатись джерело і приймач, так що має сенс питання не тільки про їх рух один по відношенню до одного (відносний рух), але і рух їх по відношенню до середовища.

Розглянемо тому окремо обидва, випадки[1]:

а) рух джерела

б) рух приймального приладу.

а) Джерело рухається відносно середовища із швидкістю v . Швидкість хвилі в середовищі c — постійна, не залежна від руху джерела.

Хай приймач знаходиться в точці B і джерело S_1 рухається із швидкістю v уздовж лінії S_1B , що сполучає джерело з приймальним приладом (рисунок 1.1).



Рисунок 1.1 – Рух джерела випромінювання відносно середовища та приймача

Хвиля, випромінювана в момент t_1 , коли, джерело знаходиться на відстані $S_1B = a$ від приладу, досягне останнього момент часу[1-3]:

$$\theta_1 = t_1 + a/c \quad (1.1)$$

Хвиля, випромінювана у момент $t_2 = t_1 + \tau$, досягне приймача у момент

$$\theta_2 = t_2 + \frac{a \pm v\tau}{c} \quad (1.2)$$

бо до моменту t_2 відстань між джерелом і приладом стане рівною $(a + v\tau)$ або $(a - v\tau)$ залежно від напрямку руху. Отже, хвилі, випромінені джерелом за час $\tau = t_2 - t_1$, діють на прилади протягом часу

$$\theta = \theta_2 - \theta_1 = \tau(1 \pm v/c) \quad (1.3)$$

Якщо ν_0 — частота, джерела, то за час τ джерелом буде випромінено

$N = \tau\nu_0$ хвиль і, отже, частота прийнята приладом, є $\nu = N/\theta$. Вона рівна

$$\nu' = \frac{\nu_0}{1+v/c} \text{ — в разі видалення джерела,} \quad (1.4)$$

$$\nu'' = \frac{\nu_0}{1-v/c} \text{ — в разі наближення джерела.}$$

Оскільки швидкість хвилі в середовищі визначається властивостями останньою, тобто не залежить від руху джерела і залишається рівною c , то в розглянутому випадку обов'язково повинно мати місце зміна довжини хвилі.

Якщо позначити через λ_0 довжину хвилі, що спостерігається у випадку відсутності руху джерела, а через λ — довжину хвилі, що сприймається в разі руху джерела, то знайдемо[2,3]:

$$\lambda_0 = \frac{c}{\nu_0} \quad (1.5)$$

$$\lambda = \frac{c}{\nu} = \frac{c}{\nu_0} \left(1 \pm \frac{v}{c}\right) = \lambda_0 \left(1 \pm \frac{v}{c}\right)$$

Отже, при русі джерела в середовищі швидкість хвилі відносно приладу, що знаходиться в цьому середовищі, залишається постійною, а, частота і довжина хвилі, що сприймаються приймачем, змінюються.

б) Приймач рухається відносно середовища із швидкістю v , швидкість хвилі в середовищі рівна c (рисунок 1.2).



Рисунок 1.2 – Рух приймача відносно середовища та випромінювача

Аналогічно приведеному вище для θ_1 і θ_2 вирази матимуть наступну залежність[2,3]:

$$\begin{aligned}\theta_1 &= t_1 + \frac{a}{c \mp v} \\ \theta_2 &= t_2 + \frac{a \pm v\tau}{c \mp v}\end{aligned}\quad (1.6)$$

Зближення між хвилею і приладом відбувається із швидкістю $c \mp v$ (швидкість хвилі відносно приладу) (рисунок 1.2). Таким чином,

$$\theta = \tau(1 \pm \frac{v}{c \pm v}) \quad (1.7)$$

і частота, що сприймається приймачем, буде рівна

$$\begin{aligned}\nu' &= \frac{\nu_0}{1 \pm v/(c \mp v)} = \nu_0(1 - v/c) \text{ - в разі віддалення приладу} \\ \nu'' &= \frac{\nu_0}{1 - v/(c \pm v)} = \nu_0(1 + v/c) \text{ - в разі наближення приладу}\end{aligned}\quad (1.8)$$

При русі приймача швидкість хвилі відносно його складається з швидкості хвилі відносно середовища і швидкості приладу відносно середовища, тобто рівна

$$(c \mp v) = c(1 \mp v/c) \quad (1.9)$$

Довжина хвилі, сприймана приймачем, залишається, таким чином, незмінною:

$$\lambda = \frac{c \mp v}{\nu} = \frac{c(1 \mp v/c)}{\nu_0(1 \mp v/c)} = \frac{c}{\nu_0} = \lambda_0 \quad (1.10)$$

Отже, в разі руху приймача частота і швидкість хвилі відносно приладу міняються, але довжина хвилі, що сприймається ним, залишається незмінною.

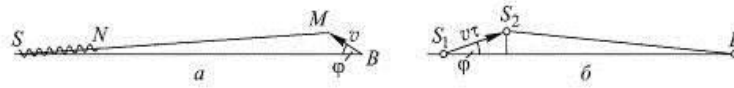


Рисунок 1.3 – Випадок руху приймача та випромінювача під кутом один до одного

Виведені формули відносяться до випадку, коли, спостереження проводиться вздовж лінії BS, по якій відбувається рух джерела або приладу, Якщо напрям спостереження складає кут φ з напрямом руху, то в виразах потрібно зробити наступні зміни:

По-перше, при русі приймача, замість $(c \mp vt)$ слід підставити $(c \mp v \cos \varphi)$, бо саме ця величина, дає в даному випадку швидкість зближення хвилі і приладу (рисунок 1.3) [4];

По-друге, у виразі для θ_2 замість $(a \pm vt)$ увійде, $(a \pm vt \cos \varphi)$, бо $BS_2 = BS_1 \pm S_1 S_2 \cos \varphi$.

При цьому вважаємо, що vt мале в порівнянні із $S_1 B = a$.

Таким чином, остаточні результати відповідають заміні v на $v \cos \varphi$, тобто введенню складової швидкості уздовж лінії SB (променева швидкість). Остаточо отримаємо[2]:

$$v = \frac{v_0}{1 \mp v \cos \varphi / c} = \frac{v_0(1 \mp v \cos \varphi / c)}{1 - (v \cos \varphi / c)^2} \text{ - в разі руху джерела} \quad (1.11)$$

$$v = v_0(1 \mp v \cos \varphi / c) \text{ - в разі руху приладу} \quad (1.12)$$

Отже, для випадку руху в середовищі ми маємо дві різні формули, які відрізняються один від одного, множником

$$\frac{1}{1 - (v \cos \varphi / c)^2}$$

тобто множником, що відрізняється від одиниці на величину другого порядку малості (відносно v/c).

Для більшості випадків, що розглядаються, відмінність ця невелика, і нею часто нехтують. Але воно має принципове значення, і, крім того, при сучасних технічних засобах досягає нерідка і практично сповна помітних величин.

Розглянемо випадок руху приладу відносно середовища із швидкістю v , а, джерела — з швидкістю u . Формула, що описує цей випадок, може бути отримана послідовно застосовуючи виведені вище формули, для випадку, що обидва вони рухаються в один бік, наздоганяючи один одного [8]:

$$v = v_0 \frac{1 + v/c}{1 + u/c} \quad (1.13)$$

Таким чином, якщо джерело і прилад рухаються спільно (тобто нерухомі один відносно одного), то явище Доплера немає місця. Але якщо $v \neq u$, то явище Доплера, відбувається, причому спостережувана зміна частоти залежить не від різниці $u - v$, а від самих величин u і v . Тому в даному випадку це явище дозволяє визначити не лише швидкість джерела відносно приладу, але і швидкість джерела, і приладу відносно середовища.

1.2 Огляд існуючих доплерівських радарів

Всі існуючі моделі доплерівських радарів можливо розділити по частотному діапазоні на радари, що працюють в оптичному діапазоні, та радари, що працюють в НВЧ діапазоні. Розглянемо декілька представників по кожній із цих груп.

Розглянемо радари, що працюють в оптичному діапазоні частот.

SNDWAY SW-1000A 1000м. Професійний лазерний монокулярний далекомір SNDWAY SW-1000A - компактний прилад для точного і швидкого вимірювання прямої відстані; відстані по горизонталі; кута нахилу і висоти від далекоміра до об'єкта; а також швидкості пересування об'єкта на відстані до 1000 м.

Основні характеристики:

- Вимірювана відстань: 3-1000 м
- Точність вимірювання відстані: ± 1 м
- Точність вимірювання швидкості: ± 5 км/год
- Збільшення: 7X

- Фокусування на окулярі
- Кут огляду: 7°
- Вбудований Li-ion акумулятор 750 мАч;
- Автовідключення після 20 секунд бездіяльності
- Діаметр об'єктиву: 24 мм
- Діаметр вихідної зіниці: 3.8 мм
- Лінзи з багатошаровим покриттям
- Ступінь захисту: IP54
- Розмір: 10.4 x 76.5 x 4.1 см

ККМОООН 032. Далекомір лазерний військовий на 700м ККМОООН 032, оптичний вимірювач кута, відстані, швидкості – дозволяє швидко і точно вимірювати відстань до потрібного об'єкта в радіусі 700 метрів. Прилад являє собою лазерний далекомір для вимірювання відстані і швидкості на середніх дистанціях. Прилад подібного типу найчастіше використовуються під час полювання, на стрільбищах, у військових цілях або військово-тактичних іграх (страйкбол, пейнтбол).

Далекомір має можливість кріплення на різні типи рушниць і луків для можливості швидкого розрахунку дальності і більш точної стрільби. Зважаючи на це, прилад буде максимально корисний у військових і спортивних цілях, при стрільбі на дистанції. Крім вимірювання відстані до об'єкта, далекомір вміє вимірювати (розраховувати) швидкість його переміщення, що допомагає при стрільбі по рухомій мішені.

Прилад має можливість проводити виміри на відстані не більше 700 м, при цьому похибка вимірювання становить не більше 1 метра. Така дальність розрахована за умови сканування об'єктів середньої відбивної здатності, Однією із важливих умов при роботі на межі дальності вимірювання, вимірюваний об'єкт або його поверхня повинна бути розміром не менше 2х2 метри і бажано плоска.

Далекомір має прямокутну форму корпусу, а сам корпус виконаний з анодованого алюмінію. На передній панелі приладу розташовані лазерний передавач і приймач. На лівій бічній стороні розташований регулятор

налаштуваннями. На тильній стороні розташований невеликий OLED екран і кнопка перемикання режимів роботи. Далекомір працює від однієї батареї типорозміру CR2, яку легко замінити при необхідності і має індикатор заряду батареї.

Прилад має ряд функцій для роботи в різних умовах і дозволяє працювати в тумані, вимірювати горизонтальну відстань, є режим туман + горизонтальна відстань, може вимірювати швидкість об'єкта. Прилад дозволяє швидко перемикатися між одиницями виміру (метри/ярди, км/год / милі/год).

Основні характеристики:

- Дальність вимірювання: 5 - 700 м.
- Точність: +/-1 м.
- Діапазон швидкості: 0 - 300 км/ч.
- Водонепроникність: IPX4.
- Батарейки: 3В CR2.
- Екран: OLED дисплей.
- Довжина хвилі: 940 нм.
- Матеріал: анодований алюміній.
- Розмір: 83 x 39 x 58 мм
- Колір: чорний.
- Вага: 223 грам.

Радар TruCam

Вага: 1,50 кг

Розмір: 21,0 x 9,8 x 31,7 см

Захист від впливу навколишнього середовища: класи захисту NEMA 4 / IP55
води і пилу

Діапазон робочих температур: -10 ° C до +60 ° C

Похибка швидкості: ± 2 км / год

Діапазон швидкості: 0 км / год до 320 км / год

Точність переміщення: ± 15 см абсолютна точність

Мінімальна відстань вимірювань: Швидкісний режим: 15,25 м.

У режимі погані погодні умови максимальна дальність: 61 метр.

Максимальна відстань виміру швидкості: 1200 м.

Час вимірювань: 0,33 секунди

Довжина хвилі лазера: 905 нанометрів

Розсіювання пучка лазера: 2,5 мілірадіан

Безпека для очей: FDA Клас 1 (CFR 21) IEC 60825-1

Зарядка і акумулятор:

Літій-іонний полімерний акумулятор (Забезпечує до 15 годин автономної роботи)

Зарядний пристрій:

Головний зарядний пристрій: від 110 В до 240 В змінного струму

Автомобільний зарядний пристрій: від 11 В до 16 В постійного струму

Апаратне забезпечення:

Захоплення і зберігання даних: Змінна SD (підтримує до 2 ГБ і більше)

Дисплей: 2,7-дюймовий (6,9 см), роздільною здатністю 240 x 320 пікселів, кольоровість 18 біт на піксель

Дисплей: сенсорний

Об'єктив камери: 3,1 мегапікселя (2048 x 1536) 75 мм

GPS-приймач: Канали: 20

Введення / виведення даних: RS232, послідовний комунікаційний порт RS485, сигнал спалаху в нічний час, порт USB 2.0, передача зроблених знімків, вхід під Сенсорну панель.

Програмне забезпечення:

Операційна система: Linux, з драйверами для користувача пристроїв

Протидія лазерджеммерам: Система автоматичного уникнення лазерних перешкод

Розмір відео: Стандартний Формат: 240x180 пікселів і 480x360 пікселів

Відео режими: LP (тривале відео), EP (розширене відео)

Роздільна здатність фотознімків: на вибір - 1920x1440 або 1440x1080 пікселів

Шифрування даних: AES-128, відповідно до стандартів США Federal Information Processing, Advanced Encryption, Бітність шифрування - 128 біт

Розглянемо радари, що працюють в НВЧ діапазоні частот.

Вимірювач швидкості «ВІЗИР»

Вимірювач швидкості радіолокаційний відео записуючий «ВІЗИР» призначений для вимірювання швидкості руху транспортних засобів (ТЗ), відеозапису факту порушення правил дорожнього руху, візуального відображення на екрані монітора, обробки, збереження та відтворення відеозаписів. Прилад призначений для контролю швидкісного режиму руху автотранспорту.

У стаціонарному режимі: забезпечується вимірювання швидкостей в діапазоні від 20 до 250 км/г. Межі абсолютної похибки вимірювання швидкості в стаціонарному режимі не більше 1 км/год.

У патрульному режимі: забезпечується вимір швидкості ТЗ при одночасному вимірюванні швидкості патрульного автомобіля. Прилад забезпечує вимірювання швидкості в діапазоні від 20 до 250 км/год (при швидкості патрульного автомобіля від 30 до 150 км/год, при цьому швидкість попутних ТС повинна відрізнятися від швидкості патрульного автомобіля не менше, ніж на 5 км/год). Межі абсолютної похибки вимірювання швидкості в патрульному режимі не більше 2 км/год.

Умови експлуатації:

Прилад зберігає свої параметри при експлуатації в наступних кліматичних умовах:

- температура навколишнього повітря від 0 до плюс 60 С в термочохлі від мінус 30 до плюс 10 ° С;
- відносна вологість повітря 98% при температурі 25 ° С;
- атмосферний тиск 84 - 106,7 кПа (630 - 800 мм. Рт. Ст.).

Основні технічні характеристики наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики «Візир»

Режим вимірювання швидкості	стаціонарний / патрульний
Діапазон вимірювання швидкості, км/год	від 20 до 250
Межі абсолютної похибки вимірювання швидкості, не більше: - в стаціонарному режимі - в патрульному режимі	± 1 км/год ± 2 км/год
Вибір напрямку руху контрольованих транспортних засобів	зустрічні / попутні
Максимальна дальність вимірювання швидкості на рівній дорозі по легковому автомобілю, м, не менше	400
Робоча частота випромінювання	$24,150 \pm 0,1$ ГГц
Працездатність від вбудованого акумулятора, не менше	4 години
Визначення географічних координат приладу	Є (широта, довгота)
Стандарт відеокамери	Sony FULL HD 1080
Графічна роздільна здатність кадру	1920x1080 пікселів (2Мп)
Автоматичне фокусування	Є
Зміна кута огляду	10-кратне оптичне збільшення
Регулювання яскравості зображення	Є
Максимальна дальність візуального визначення	150 м

номерного знаку, не менше	
Тип дисплею	Широкоформатний, сенсорний кольоровий дисплей
Швидкість відеозапису	3 кадра в секунду
Маса, не більше	1,2 кг

Мобільний радар "Радіс"

Радар являє собою вимірювач з ручним або автоматичним запуском вимірювань і призначений для контролю швидкості руху транспортних засобів з фіксуванням факту порушення швидкісного режиму.

- Точність вимірювань: ± 1 км / год;
- Розширений діапазон контрольованих швидкостей: 10-300 км / год;
- Висока швидкість вимірювань: менше 0,3 с;
- Селекція цілей у напрямку руху: зустрічні, попутні, всі цілі;
- Різниця швидкостей цілі і групи при виборі найшвидшої цілі складає не більше 3,0 км / год.
- Широкий вибір режимів для контролю швидкості:
 - в стаціонарному режимі; - в русі (вперед по ходу руху патрульного автомобіля і в зворотному напрямку);
 - в автоматичному або ручному режимі;
 - з вибором ближньої або найшвидшої цілі.
- Два дисплея (світлодіодний і рідко-кристалічний) забезпечують наочність і простоту управління за допомогою системи екранних меню;
- Збереження в пам'яті індивідуальних налаштувань при відключенні живлення;
- Можливість проведення вимірювань при зарядці акумулятора;
- Зручна змінна рукоятка;
- Вбудований ліхтарик для підсвічування документів в темний час доби;

• Літій-іонний акумулятор, вбудований в рукоятку, дозволить працювати з радаром протягом 16 годин.

Основні технічні характеристики зведено в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – основні технічні характеристики радар "Радіс"

Параметр	Значення
Робоча частота	$24.15 \pm 0,1$ ГГц (К-діапазон)
Дальність вимірювань, не менше	300, 500, 800 м (три рівня)
Діапазон швидкостей, що вимірюються	10 - 300 км/год
Похибка вимірювання швидкості, не більше	стаціонарно $\pm 1,0$ км/год в русі $\pm 2,0$ км/год
Час вимірювання швидкості	не більше 0,3 с
Дискретність порогового значення швидкості	1,0 км/год
Різниця швидкостей цілі і групи при виборі самої швидкої цілі	3,0 км/год (співвідношення відбитих сигналів 1:100)
Кількість комірок пам'яті	2
Час зберігання даних в пам'яті	10 хвилин
Густина потоку випромінювання в зворотному напрямку (на відстані 0,5 м)	не більше 10 мкВт\см ²
Середня потужність, що споживається	не більше 2,5 Вт
Автономне живлення	7,4 В, вбудована літій-іона АКБ

Тривалість роботи від АКБ**	не менше 16 годин
Напруга живлення	6-16 В (бортова мережа)
Вага блоку вимірювання	240 грам
Вага блоку вимірювання із рукояткою і АКБ	450 грам
Габаритні розміри з рукояткою (не більше)	155x150x61 мм

Таким чином, аналіз існуючих моделей доплерівських радарів показує, що обидва типи, і НВЧ і оптичні мають приблизно однакову функціональність та точність. Відмінності полягають у тому, що оптичні радары мають обмеження по погодним умовам. Вони погано працюють в умовах туману, дощу та снігу, однак внаслідок малого кута діаграми направленості випромінювача забезпечує велику вибірковість цілі.

НВЧ радары мають меншу вибірковість за рахунок більш широкої діаграми направленості антени, однак вони здатні працювати в більш складних погодних умовах.

На основі аналізу технічних характеристик існуючих приладів можливо сформулювати вимоги до радару, що розробляється:

- Діапазон робочих температур: -20 ° С до +60 ° С
- Похибка швидкості: ± 2 км / год
- Діапазон швидкості: 0 км / год до 320 км / год.

Радарний комплекс "Стріла"

При розробці радарного комплексу "Стріла" використовувалася радарна установка, що застосовується у військовій авіації для перехоплення і відстеження цілей. "Стріла" принципово відрізняється від усіх інших радарів тим, що здатна одночасно вимірювати швидкість не одного, не двох, а відразу всіх автомобілів,

що потрапили в його зону дії (в межах 4-х смуг) незалежно від щільності руху. Принцип роботи "Стріли" базується саме на ефекті Доплера[8]: вимірі швидкості автомобіля за допомогою порівняння частот випромінюваного і відбитого сигналу. "Стріла" випромінює короткі імпульси (приблизно 30 наносекунд) в діапазоні К.

Радар фіксує перевищення швидкості на відстані до 500 метрів, далі "спостерігає" за ТЗ і на відстані 150-50 м фотографує автомобіль порушника (в той момент, коли програма розпізнавання здатна розрізнити реєстраційний номер). Після чого дані про порушення передаються по радіоканалу в центр фіксації порушень ПДР, в якому інспектор, на підставі отриманих даних, виписує постанову про адміністративне порушення з квитанцією на оплату штрафу. Електронний лист з постановою, відправляється на застосунок «ДІЯ» власника автомобіля(1.4).



Рисунок 1.4 – Електронний лист з постановою про порушення швидкості

"Стріла" здатна розпізнавати навіть забруднені номерні знаки, в будь-який час доби, за будь-яких погодних умовах. При цьому, відстань, на якому можлива ідентифікація реєстраційного номера знижується разом з погіршенням видимості на дорозі. Ніч, сніг, дощ або туман можуть знизити дальність фіксації номерного знака в кілька разів, до 50 метрів.

Існує 2 типу комплексу "Стріла": "Стріла СТ" (стаціонарний) і "Стріла М" (мобільний) наведено на рисунку(1.5):



Рисунок 1.5 – "Стріла СТ" (стаціонарний) та "Стріла М" (мобільний)

Виробництво: Україна;

Робоча частота вимірювання швидкості: 24050-24250 МГц (К-діапазон);

Дальність вимірювання: до 500 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 20-300 км / ч.

Виявлення "Стріли" - одна з найскладніших завдань для радар-детектора (антирадара). Багато моделей найчастіше зовсім не можуть детектувати "Стрілу", або роблять це занадто пізно, коли у водія вже немає можливості знизити швидкість.

Радар радіочастотного виміру швидкості "Візор"



Рисунок 1.6 – Радар радіочастотного виміру швидкості "Візор"

Виробництво: ЗАТ "Ольвія", м.Харків;

Робоча частота вимірювання швидкості: 24050-24250 МГц (К-діапазон);

Дальність вимірювання: до 600 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 20-250 км / ч.

Радар "Арена" радіочастотного виміру швидкості

Комплекс "Арена" радар який автоматично вимірює швидкість автомобіля на відстані до 90 м, паралельно фотографуючи його. Дані про порушника передаються по радіоканалу на найближчий пост поліції або патрульний автомобіль, що знаходиться неподалік (дальність передачі даних не більше 1,5 км) по ходу руху. Радар здатний вимірювати швидкість як автомобіля, що наближається, так і віддаляється (вимірювання швидкості "в спину"). Як правило встановлюється на тринозі в 3-5 м від краю проїжджої частини. Підготовка до роботи займає всього 10 хвилин. Мобільний радарний комплекс отримує живлення від акумулятора, розташованого поруч в спеціальному боксі. Існує стаціонарна версія радара.



Рисунок 1.7 – Радар "Арена" радіочастотного виміру швидкості

Абсолютна мобільність: тринога з радаром може бути легко переміщена в багажнику патрульного автомобіля;

Інформативність: фотографія з зафіксованим порушенням містить зображення автомобіля, дату і час знімка, швидкість руху. Додатково може бути збережено місце контролю і дозволена швидкість руху на даній ділянці дороги;

Можливість використання в нічний час: до радару можна додатково підключити пристрій підсвічування (ІК прожектор).

Виробництво: ЗАТ "Ольвія", м.Харків;

Робоча частота вимірювання швидкості: 24050-24250 МГц (К-діапазон);

Дальність вимірювання: до 90 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 20-250 км / ч.

Радар "Крис" радіочастотного виміру швидкості



Рисунок 1.8 – Радар "Крис" радіочастотного виміру швидкості

Виробництво: ТОВ "Сімікон", м.Харків;

Робоча частота вимірювання швидкості: 24050-24250 МГц (К-діапазон);

Дальність вимірювання: до 150 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 20-250 км / ч.

Радар "Рапіра-1" радіочастотного виміру швидкості

Радар "Рапіра-1" використовується виключно в стаціонарному варіанті для вимірювання швидкості автомобілів на дуже близькій відстані - до 20 м. Радар також здатний працювати в складі різних апаратно-програмних комплексів. "Рапіра-1" встановлюється на відстані 4-9 метрів над дорогою під кутом в 25° і дозволяє визначати швидкість автомобіля у вузькій зоні контролю.



Рисунок 1.9 – Радар "Рапіра-1" радіочастотного виміру швидкості
Виробництво: ЗАТ "Ольвія", м.Харків;

Робоча частота вимірювання швидкості: 24050-24250 МГц (К-діапазон);

Дальність вимірювання: до 20 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 20-250 км / ч.

Радар "ЛІСД-2" лазерного виміру швидкості

Лазерний радар (Лідар) "ЛІСД-2" представлений в 2-х модифікаціях: "ЛІСД-2М" (стандартна модель) і "ЛІСД-2Ф" (покращена модель з блоком фотофіксації). В даний час випускається тільки "ЛІСД-2Ф". Для вимірювання швидкості радар використовує вузьконаправлене світлове випромінювання, за допомогою якого виділяється певний автомобіль в потоці, що порушує швидкісний режим. Лідар виконаний у вигляді моноблока, що зовні нагадує бінокль, з оптичним прицілом. Може працювати тільки стаціонарно, при цьому

вимірює швидкість в усіх напрямках. Конструкція "ЛІСД-2" передбачає кріплення плечового ремня і можливість установки на штатив.



Рисунок 1.10 – Радар "ЛІСД-2" лазерного виміру швидкості

Вузьконаправлене лазерне випромінювання, що дозволяє виділити в щільному потоці автомобілів будь-який транспортний засіб;

Наявність на екрані мітки, що вказує на межі лазерного випромінювання, що дозволяє однозначно ідентифікувати автомобіль, який порушив швидкісний режим;

Можливість використання як в ручному, так і в автоматичному режимі;

Відображення на знімку дати і часу порушення швидкості, а також значення обмеження швидкості на даній ділянці і значення відстані до автомобіля в момент вимірювання швидкості;

Фотофіксація номера автомобіля з руки - до 150 м, зі штатива - до 200 м.

Виробництво: ФГУП НДІ "Полюс" ім. М.Ф.Стельмаха; ФНПЦ ВАТ "Красногорський завод" ім. С.А.Зверева; ТОВ "НДЦ ІСС";

Довжина хвилі лазера: 800-1100 нм

Дальність вимірювання: до 400 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 1-200 км / ч.

Радар "Амата" лазерного виміру швидкості

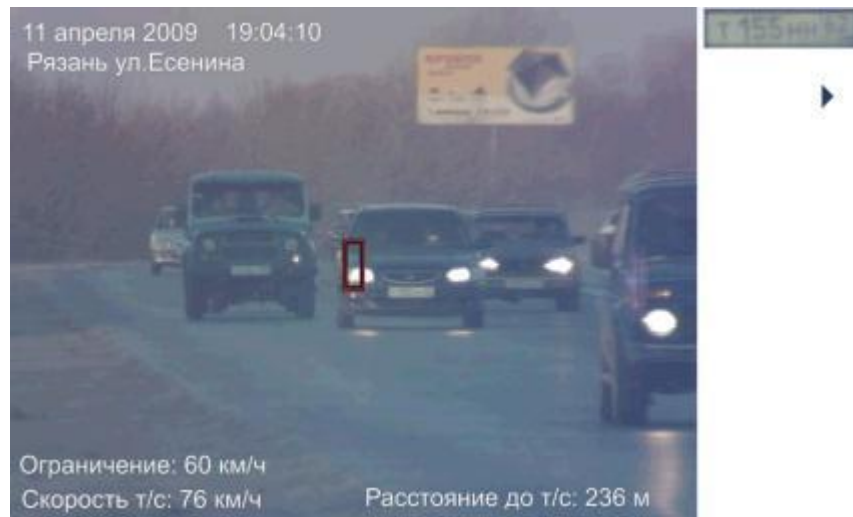


Рисунок 1.11 – Радар "Амата" лазерного виміру швидкості

Виробництво: ЗАТ НВП "Техноимпорта", м.Київ;

Довжина хвилі лазера: 800-1100 нм;

Дальність вимірювання: до 700 м;

Діапазон вимірюваних швидкостей: 1,5-280 км / ч.

Радар "Робот"



Рисунок 1.12 – Радар "Робот"

- Кількість смуг: від 2 до 6 смуг вимірювання одночасно.
- Крок зміни порога швидкості: ± 1 км / год.
- Управління: вбудований в передню панель блоку управління кольорової ж / к дисплей і 8 кнопок управління.
- Радар: частота 24,1 ГГц
- Швидкість затвора: регульована програмно, до 1/10000 сек.
- Температурний діапазон системи: - 40 +60
- Кількість фотографій 2.
- Програмне забезпечення передачі даних на ПК або Сервер, Програмне забезпечення розпізнавання номерів. ПО русифіковане.
- Напрацювання на відмову: не менше 50000 годин.
- Конструктивна можливість перевстановлення.

2 АНАЛІЗ РАДАРУ НА ОСНОВІ ЕФЕКТУ ДОПЛЕРА

2.1 Аналіз структурної схеми

Структурна схеми доплерівського радару залежить від функцій, що їх виконує прилад. Згідно опису ефекту Доплера та принципів роботи прототипів можливо визначити операції, що виконує радар та порядок виконання цих операцій[3]:

- Формування НВЧ коливання;
- Формування електромагнітної хвилі із електричного сигналу;
- Перетворення електромагнітної хвилі в електричний сигнал;
- Виділення низькочастотної складової;
- Вимірювання частоти низькочастотної складової;
- Розрахунок швидкості транспортного засобу та основі частоти низькочастотної складової;
- Відображення результатів розрахунків.

Структурна схема радару наведена на рисунку 2.1

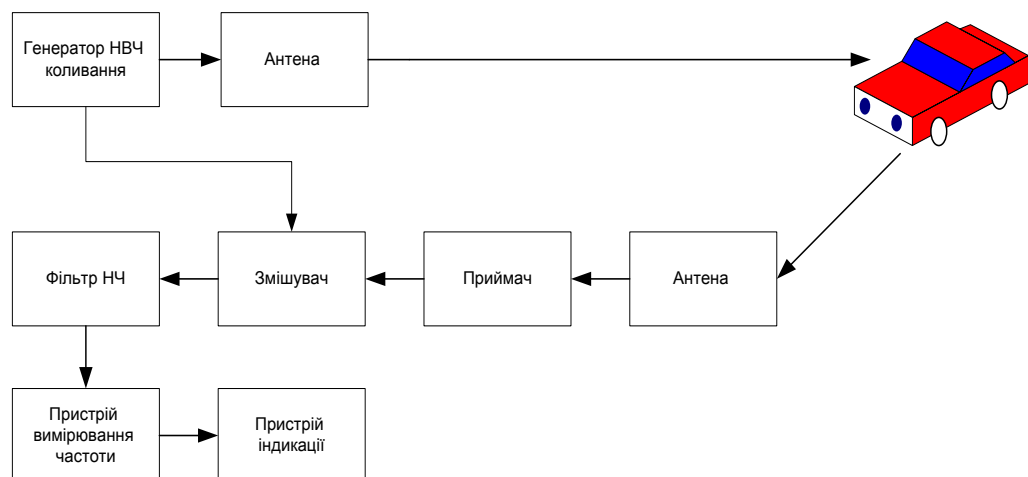


Рисунок 2.1 – Структурна схема радару

Розглянемо роботу радару, структурна схема якого наведена на рисунку 2.1. Генератор НВЧ формує синусоїдальне коливання заданої частоти.

Антенна перетворює електричний сигнал генератора НВЧ в просторову електромагнітну хвилю, яка випромінюється в заданому напрямку. При попаданні електромагнітної хвилі на автомобіль відбувається її відбиття від поверхні

автомобіля.

Відбита хвиля при поширенні попадає на антену приймального тракту радару. Ця антена здійснює зворотне перетворення електромагнітної хвилі в електричний сигнал. Цей сигнал має малий рівень, який недостатній для подальшої обробки. Тому для збільшення рівня сигналу після антени використано приймач який здійснює селекцію корисного сигналу та його підсилення.

Сигнал НВЧ після підсилення подається на змішувач, який здійснює зміщення сигналу в низькочастотну область.

Зазвичай змішувач формує велику кількість частотних складових, які є гармоніками вищого порядку суміші вхідного сигналу та коливання генератора НВЧ.

Виділена низькочастотна складова подається на пристрій вимірювання частоти, який здійснює вимірювання частоти та подає результати вимірювання на пристрій індикації.

Пристрій індикації відображає результати вимірювання швидкості у вигляді, зручному для оператора.

Формування сигналу НВЧ та обробку НВЧ сигналу можливо виконати лише в аналоговому вигляді.

Обробку низькочастотного сигналу можливо виконати як в аналоговому, так і цифровому вигляді.

Вид обробки залежить від вимог до способу відображення інформації та до точності вимірювань.

Аналогова обробка має більш просту реалізацію та меншу вартість. Однак до недоліків слід віднести меншу зручність користування, меншу функціональність.

Цифрова обробка має кращу функціональність, більшу точність, однак при цьому відрізняється більшою вартістю та меншою швидкістю.

Аналіз аналогів показує, що індикація більш зручна в цифровому вигляді, оскільки можлива індикація у вигляді цифр та важливою є розширена функціональність(можливість архівування результатів вимірювання, тощо).

Тому виберемо саме цифрову форму обробки низькочастотної складової.

Цифрова обробка в свою чергу може бути реалізована у вигляді програмної обробки, апаратної обробки та програмно-апаратної обробки.

Програмна обробка відрізняється найменшими витратами, однак характеризується низькою функціональністю та швидкодією.

Апаратна обробка має найкращі показники швидкодії, однак відрізняється великою вартістю, габаритами та енергією споживання.

Програмно-апаратна обробка є компромісною відносно приведених вище принципів обробки. Суть полягає в тому, що найбільш критичні по тривалості операції виконуються апаратним способом, а всі інші – програмним.

Оскільки вимоги до швидкодії у випадку доплерівського радару не є критичними, то виберемо програмно-апаратну обробку, оскільки деякі операції виконати програмним способом неможливо.

Із урахуванням наведеного вище структурна схема буде перетворена до виду, наведено на рисунку 2.2.

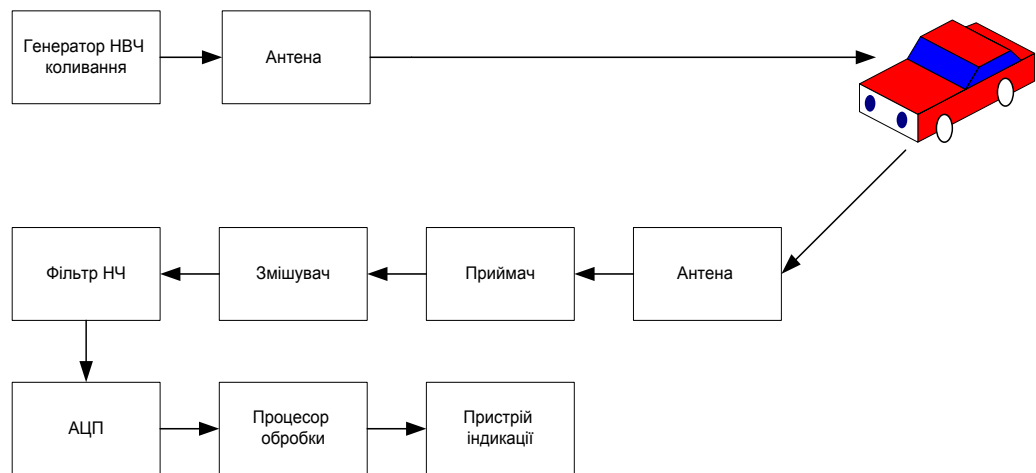


Рисунок 2.2 – Структурна схема доплерівського радару з цифровою обробкою

В порівнянні із схемою, наведеною на рисунку 2.1 відмінність схеми, наведеної на рисунку 2.2 полягає в наявності блоку АЦП та процесора обробки.

Блок АЦП здійснює перетворення аналогового сигналу, отриманого із блоку фільтра низької частоти до цифрового вигляду. Цифровий код із виходу блоку АЦП подається на блок процесора обробки.

Процесор обробки здійснює оцінку частоти вхідного сигналу, проводить

розрахунок значення швидкості автомобільного транспорту по відомій частоті низькочастотного сигналу.

2.2 Аналіз принципової схеми

Генератор НВЧ, підсилювач НВЧ сигналу та змішувач можливо реалізувати на основі використання дискретних елементів або на основі мікрозбірки.

Реалізація на основі дискретних елементів дозволяє отримати великі значення потужності вихідного сигналу передавача, а також великі значення коефіцієнтів підсилення. Однак при цьому така реалізація характеризується великими габаритами, вартістю, потужностями споживання та масою.

Реалізація у вигляді мікрозбірки дозволяє отримати компактний прилад із малою вартістю та масою.

Оскільки робота із великою потужністю не передбачається, то виберемо варіант на основі мікрозбірки, оскільки цей варіант більш економічний та технологічний. В якості мікрозбірки використаємо НВЧ сенсор MSAN-001, який складається із передавача та приймача, які працюють на частоті 24,125 ГГц. Потужність, що випромінюється та чутливість приймача забезпечують роботу на відстані до 1,28 км.

Також мікрозбірка містить в своєму складі змішувач. В результаті такої структури на вхід мікрозбірки необхідно подати лише живлення +5В та на виході отримуємо низькочастотний сигнал, частота якого визначається ефектом Доплера. Вихідна напруга низькочастотного сигналу лежить в межах від 0,01 до 0,2 В.

Проведемо розрахунок значення частоти Доплера за умови, що максимальна швидкість автомобільного транспорту згідно технічного завдання складає 320 км/годину або 88,9 м/с, та частоти радару 24,125 ГГц(довжина хвилі 12,4 мм)[5]:

$$f_d = \frac{2 \cdot v}{\lambda} = \frac{2 \cdot 88,9}{0,0124} = 14339 \text{ Гц.}$$

Тобто з виходу мікрозбірки НВЧ виходить низькочастотний сигнал із максимальною частотою, яка складає 14339 Гц. Ця частота визначає смугу

фільтра нижніх частот та вимоги до швидкодії блоку аналого-цифрового перетворення.

Розрахуємо зміщення частоти внаслідок ефекту Доплера для випадку швидкості 1 км/год(0,28 м/с)[10]:

$$f_d = \frac{2 \cdot v}{\lambda} = \frac{2 \cdot 0,28}{0,0124} = 45 \text{ Гц}$$

Отримане значення частоти визначає максимальну похибку, яку повинен забезпечувати радар при вимірюванні швидкості.

Тобто можливо визначити вимоги до процесора обробки:

- Розрядність визначається[13]:

$$R = \lg_2\left(\frac{14339}{45}\right) = 8,3 \approx 9$$

- Частота дискретизації АЦП перетворення згідно із теореми Найквіста[14]:

$$T_d = \frac{1}{2f} = \frac{1}{2 \cdot 14339} = 34,9 \text{ мкс.}$$

Таке значення періоду дискретизації відповідає частоті 28 678 Гц.

Частоту низькочастотної доплерівської складової можливо визначати або шляхом вимірювання періоду, або шляхом підрахунку кількості періодів за певний проміжок часу.

В першому варіанті у випадку, коли синусоїда перевищує значення нуля запускається лічильник на який подається послідовність імпульсів з певною частотою. Значення цієї частоти визначається необхідною точністю та розрядністю лічильника. В другому варіанті задається певний проміжок часу і підраховується кількість періодів синусоїди. Обидва варіанти можуть бути реалізовані стандартними засобами, які вбудовано в мікроконтролер. Оскільки розрядність не велика, вимоги до швидкодії також не є великими, то в якості мікроконтролера обробки даних використаємо мікроконтролер Atmel Attiny 2313.

Вказаний мікроконтролер має низьку вартість, при цьому досить велику швидкодію(до 20 млн. операцій в секунду), та всі необхідні вбудовані складові: 16 бітні лічильники, вбудований генератор та компаратор.

Для початкового обнулення процесора необхідно використати спеціальну схему обнулення, яка реалізована на резисторі R1 та конденсаторі C1. Схема включення приведена на рисунку 3.3

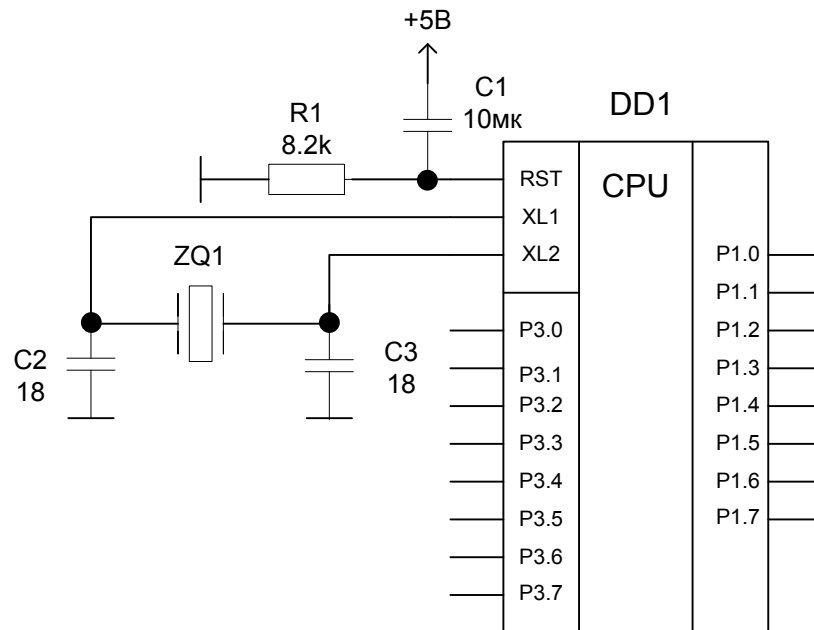


Рисунок 2.3 – Схема включення мікроконтролера

Особливістю вбудованого генератора тактових імпульсів мікроконтролера attiny2313 є те, що без зовнішніх частотозадаючих кіл, він здатен працювати лише на частотах до 4 МГц, для роботи на частоті 20 МГц необхідно використовувати кварцовий резонатор.

Для узгодження кварцового резонатора необхідно використовувати конденсатори ємністю 18пФ.

Для подачі команди на початок вимірювання швидкості використовуємо кнопку схема включення, якої наведена на рисунку 2.4

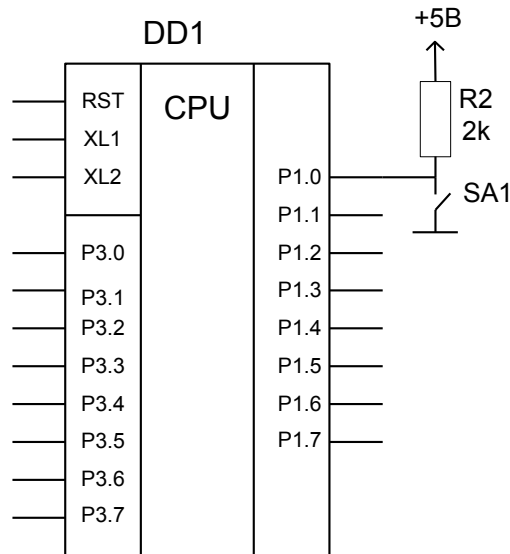


Рисунок 2.4 – Схема підключення кнопки до контролера

Робота кнопки основана на тому, що у випадку, коли кнопка замкнена, то на вхід порта подається напруга живлення +5В, у випадку коли кнопка замкнена, то вивід порта підключається до землі і вхідна напруга стає рівною 0В. В першому випадку мікроконтролер напругу +5В сприймає як логічну одиницю, а в другому – логічний нуль. Резистор при підключенні кнопки необхідний для зменшення струму, що протікає через коло джерело живлення, кнопка, вивід порту. Це необхідно для того, щоб струм, що протікає не перевищував максимально допустимого.

Вихідна напруга із мікросбірки НВЧ має досить мале значення 0,2 В, тоді як на вхід компаратора необхідно подати до 5В, таким чином сигнал необхідно посилити в 25 раз.

Розіб'ємо підсилювальний блок на два каскади. В першому відбудеться попереднє підсилення, а в другому – фільтрування.

Оскільки частотний діапазон роботи підсилювача не великий та не потрібно забезпечувати великі значення потужності, то можливо виконати каскади підсилювача на основі використання операційних підсилювачів.

Проведемо розрахунок підсилювального каскаду:

Коефіцієнт підсилення каскаду[12]:

$$K_u = \frac{\Delta U_{\text{вих}}}{\Delta U_{\text{вх}}} \quad (2.1)$$

Підставляючи значення в (2.1) отримуємо:

$$K_u = \frac{5}{0,2} = 25$$

В якості операційного підсилювача використаємо мікросхему LM358В. Частота одиничного підсилення цього операційного підсилювача складає $F_{on} = 1,2 \text{ МГц}$.

Розрахуємо:

$$F_g = \frac{5 \cdot 10^6}{25} = 200 \text{ кГц}$$

Відома умова, яка визначає можливість застосування операційного підсилювача[4]:

$$F_g \geq f_{\text{гр.в.}} \quad (2.2)$$

де $f_{\text{гр.в.}}$ – максимальне значення частоти сигналу.

Оскільки умова (2.2) виконується, то можлива побудова підсилювача по однокаскадній схемі. Схема підсилювача наведена на рисунку 2.5.

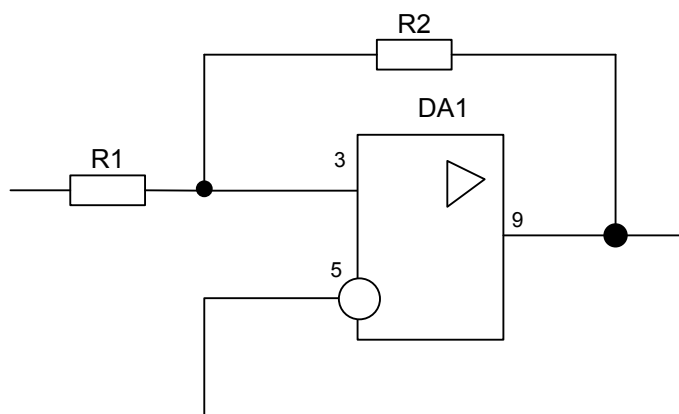


Рисунок 2.5 – Принципова схема підсилювача

Виберемо значення опору резистора рівним $R_2 = 100 \text{ кОм}$.

Коефіцієнт підсилення каскаду визначається виразом, який залежить лише від співвідношення опорів. Тому опір резистора можливо виразити[4,5]:

$$R_1 = \frac{R_2}{K_u - 1} \quad (2.3)$$

В цьому випадку можливо визначити значення:

$$R_1 = \frac{100000}{25 - 1} \approx 4,1 \text{ кОм}$$

Проведемо розрахунки активного фільтра. В результаті попередніх розрахунків можливо сформулювати наступні вимоги:

1. Коефіцієнт передачі на нульовій частоті рівний $K_u = 1$
2. Частота зрізу $f_{cp} = 14336 \text{ Гц}$
3. Частота загородження $f_s = 28672 \text{ Гц}$
4. Допустима нерівномірність АЧХ в смузі пропускання 3 дБ
5. Затухання на частоті f_s , $\text{дБ} > 40$

Фільтри Чебишева мають передавальну характеристику виду[9]:

$$K(P) = \frac{K_0}{1 + C_1 P + C_2 P^2 + \dots + C_n P^n} = \frac{K_0}{1 + \sum_{i=1}^n C_i P^i} \quad (2.4)$$

де n - порядок фільтра.

Оскільки корені знаменника комплексно-зв'язані, то $K(P)$ може бути представлена у вигляді[10]:

$$K(P) = \frac{K_0}{\prod_{i=1}^N (1 + a_i P + b_i P^2)} = \prod_{i=1}^N K_i(P) \quad (2.5)$$

У виразах (3.4) та (3.5) C_i, a_i, b_i - додатні дійсні коефіцієнти;

N -ціла частина виразу $(n + 1)/2$.

При опису фільтра в частотній області

$$P = j\Omega = j\omega/\omega_c$$

$$K(j\Omega) = K(\Omega) \cdot \exp[j\varphi(\Omega)] \quad (2.6)$$

де $\Omega = \omega/\omega_c$ - частота, нормована відносно частоти зрізу (ω_c);

$K(\Omega)$ - амплітудно-частотна характеристика (АЧХ);

$\varphi(\Omega)$ - фазо-частотна характеристика (ФЧХ).

АЧХ ФНЧ визначається як модуль передаточної характеристики (2,5)[5,9]:

$$K(\Omega) = \frac{K_0}{\sqrt{\prod_{i=1}^N [(1 - b_i \Omega^2)^2 + a_i^2 \Omega^2]}} \quad (2.7)$$

На рисунку 2.6 приводиться вид АЧХ фільтра Чебишева третього порядку. Частота зрізу (верхня гранична частота) для фільтра Чебишева визначається як частота, на якій АЧХ останній раз проходить через мінімальне в смузі пропускання значення.

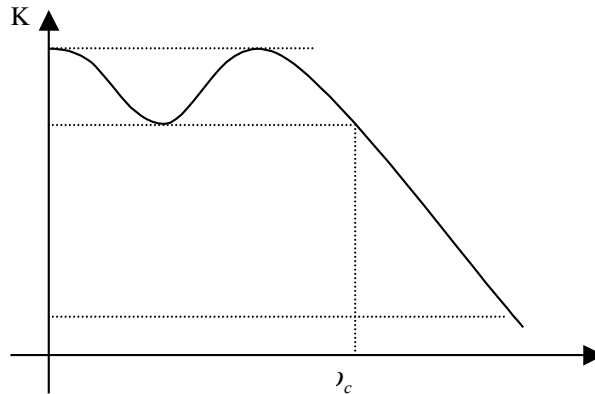


Рисунок 2.6 – АЧХ фільтра Чебишева

Розрахунок коефіцієнтів a_i, b_i і добротності ланок узагальненої АЧХ фільтра.

Коефіцієнти a_i, b_i являють собою коефіцієнти полінома, що апроксимує функцію передачі фільтра. Чисельне значення цих коефіцієнтів залежить від типу фільтра, його порядку, допустимої нерівномірності АЧХ в смузі пропускання і розраховується з співвідношень[7]:

$$\begin{aligned} \varepsilon &= \sqrt{10^{\delta_c/10} - 1} \\ \gamma &= \frac{\operatorname{arsh} 1/\varepsilon}{n} \\ b_i &= \frac{1}{ch^2 \gamma - \cos^2[(2i - 1)\pi/(2n)]} \\ a_i &= 2b_i \cdot sh \gamma \cdot \cos[(2i - 1)\pi/(2n)] \end{aligned}$$

Для опису властивостей ланок фільтра вводиться поняття добротності полюсів його передавальної функції, яка визначається співвідношенням:

$$Q_i = \sqrt{\frac{b_i}{a_i^2}}$$

Визначення порядку фільтру і кількості ланок.

Оскільки допустима нерівномірність АЧХ в смузі пропускання не дорівнює нулю $\delta_{\square} \neq 0$, то тип фільтра – фільтр Чебишева.

Для зручності подальших розрахунків проведемо попередні обчислення:

$$\omega_H = 2\pi \cdot f_c = 90030 \text{ Гц}$$

$$\omega_{H3} = 2\pi \cdot f_3 = 18060 \text{ Гц}$$

Використаємо формулу для розрахунку порядку фільтра Чебишева[9]:

$$n \geq \frac{\operatorname{arch}\sqrt{(10^{(\delta_3 \cdot 10)} - 1)(10^{(\delta_c \cdot 10)} - 1)}}{\operatorname{arch}(\omega_{H3}/\omega_H)}$$

Підставляючи вихідні дані в цю формулу, отримуємо:

$$n \geq \frac{\operatorname{arch}\sqrt{(10^4 - 1)(10^{0.3} - 1)}}{\operatorname{arch}(180060/90030)} \geq 4,27$$

Після округлення отримуємо $n = 5$.

Визначимо кількість ланок:

$$N = \left[\frac{n+1}{2} \right] = \left[\frac{5+1}{2} \right] = 3$$

Розрахунок коефіцієнтів a_i, b_i і добротності ланок узагальненої АЧХ фільтра.

$$\varepsilon = \sqrt{10^{\delta_c/10} - 1} = 0,998$$

$$\gamma = \frac{\operatorname{arsh} 1/\varepsilon}{n} = 0,18$$

Для фільтра Чебишева[9]:

$$b_i = \frac{1}{ch^2 \gamma - \cos^2[(i-1)\pi/(n)]}$$

$$a_i = 2b_i \cdot sh \gamma \cdot \cos[(i-1)\pi/(n)] = 11,27$$

$$b_1 = \frac{1}{ch^2 0,18 - \cos^2[(1-1)\pi/(3)]} = 0,76$$

$$b_2 = \frac{1}{ch^2 0,18 - \cos^2[(2-1)\pi/(3)]} = 0,12$$

$$b_3 = \frac{1}{ch^2 0,18 - \cos^2[(3-1)\pi/(3)]} = 1,07$$

Для опису властивостей ланок фільтра вводиться поняття добротності полюсів його передавальної функції, яка визначається співвідношенням:

$$Q_i = \sqrt{\frac{b_i}{a_i^2}} = 8,82.$$

Таким чином, розглянемо каскадну реалізацію фільтра 5-го порядку у вигляді сполуки 3-хв взаємонезалежних ланок першого і другого порядків.

Розрахунок ланки першого порядку на операційному підсилювачу з одиничним посиленням.

Характеристика ланки другого порядку в загальному вигляді має вигляд[6]:

$$K(P) = \frac{K_{oi}}{1 + a_i P}$$

Передавальна характеристика ланки наведеного на рисунку має вигляд[6]:

$$K(P) = \frac{R_2/R_1}{1 + \omega_c \cdot C_1 R_2 P}$$

$$a_i = \omega_c \cdot C_1 R_2$$

$$K_o = -R_2/R_1$$

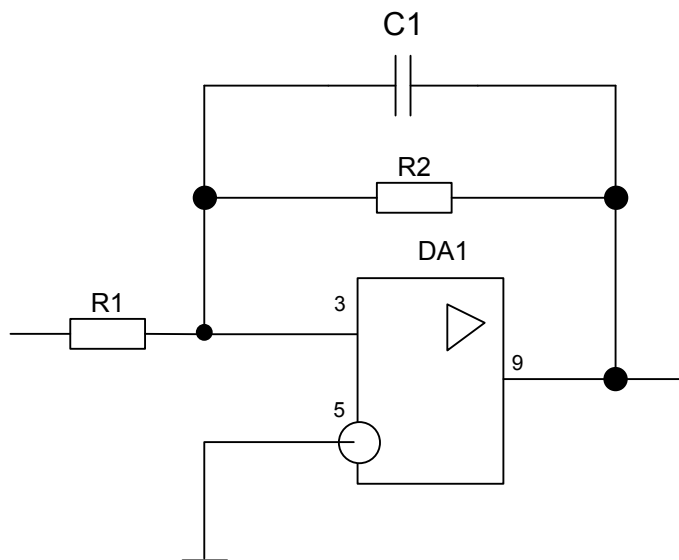


Рисунок 2.7 – Принципова схема першої ланки фільтра

Першу ланку виконаємо по схемі, наведено на рисунку 2.7.

Ємність конденсатора виберемо рівною 6,8 нФ.

Розрахуємо номінали резисторів R_1 і R_2

$$R_2 = a_i / (\omega_c \cdot C_1)$$

$$R_1 = R_2 / K_0$$

Отримаємо значення:

$$R_2 = 11,27 / (6,28 \cdot 14336 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9}) = 184 \text{ кОм}$$

$$R_1 = 184 / 1 = 184 \text{ кОм}$$

Для першого кола: $R_1 = 184 \text{ кОм}$ $R_2 = 184 \text{ кОм}$ (Ряд Е24)

Розрахунок ланки другого порядку на операційному підсилювачу з одиничним посиленням.

Характеристика ланки другого порядку в загальному вигляді має вигляд:

$$K(P) = \frac{K_{oi}}{1 + a_i P + b_i P^2} \quad (2.8)$$

Передавальна характеристика ланки, наведеної на рисунку 3.7, має вигляд:

$$K(P) = \frac{1}{1 + \omega_c \cdot C_1 (R_1 + R_2) P + C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2 \cdot \omega_c^2 \cdot P^2} \quad (2.9)$$

Із (2.6) і (2.7), отримуємо:

$$a_i = \omega_c \cdot C_1 (R_1 + R_2)$$

$$b_i = \omega_c^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_1 \cdot R_2$$

Схема такої ланки:

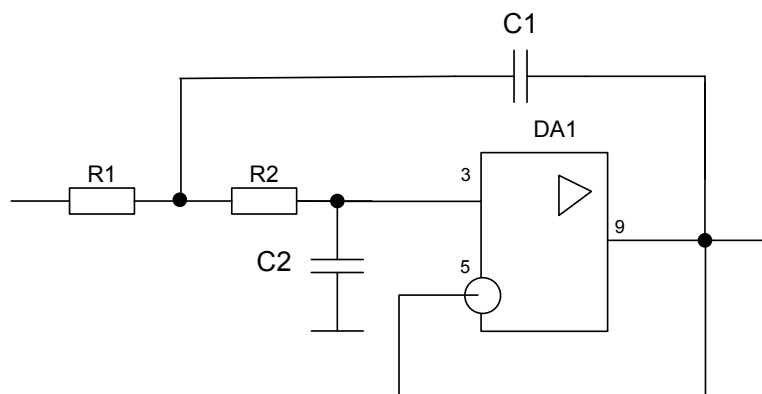


Рисунок 2.8 – Принципова схема другої ланки фільтра

Схема другої ланки наведена на рисунку 2.8.

Ємність конденсатора виберемо рівним $C_1 = 6,8 \text{ нФ}$

Вибираємо номінальне значення ємності C_2 таким, щоб виконувалася умова:

$$C_2 \leq (a_i^2 \cdot C_1) / (4b_i) \quad (2.10)$$

Після розрахунку за цією формулою отримали наступні обмеження для C_2 :

$$C_2 \leq (11,27^2 \cdot 6,8 \text{ нФ}) / (4 \cdot 0,76) = 284 \text{ нФ}$$

Розраховуємо номінали для R_1 і R_2 :

$$\begin{aligned} R_1 &= \frac{a_i \cdot C_2 + \sqrt{a_i^2 \cdot C_2^2 - 4b_i C_1 \cdot C_2}}{2 \cdot \omega_c \cdot C_1 \cdot C_2} \\ R_2 &= \frac{a_i \cdot C_2 - \sqrt{a_i^2 \cdot C_2^2 - 4b_i C_1 \cdot C_2}}{2 \cdot \omega_c \cdot C_1 \cdot C_2} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Отримуємо значення:

R_1

$$= \frac{11,27 \cdot 270 \cdot 10^{-9} + \sqrt{11,27^2 \cdot (270 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 11,27 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot 270 \cdot 10^{-9}}}{2 \cdot 6,28 \cdot 14336 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot 270 \cdot 10^{-9}}$$

$$= 18,4 \text{ кОм}$$

R_2

$$= \frac{11,27 \cdot 270 \cdot 10^{-9} - \sqrt{11,27^2 \cdot (270 \cdot 10^{-9})^2 - 4 \cdot 11,27 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot 270 \cdot 10^{-9}}}{2 \cdot 6,28 \cdot 14336 \cdot 6,8 \cdot 10^{-9} \cdot 270 \cdot 10^{-9}}$$

$$= 42 \text{ Ом}$$

Для другої ланки: $R_1 = 18 \text{ кОм}$ і $R_2 = 43 \text{ Ом}$ (Ряд Е24)

Розрахунок біквадратної ланки ФНЧ другого порядку.

Характеристика ланки другого порядку в загальному вигляді має вигляд:

$$K(P) = \frac{K_{oi}}{1 + a_i P + b_i P^2}$$

Передавальна характеристика ланки наведеної на рисунку має вигляд:

$$K(P) = \frac{(R_2 R_6) / (R_1 R_5)}{1 + \omega_c \cdot C_2 \frac{R_2 \cdot R_4 \cdot R_6}{R_3 \cdot R_5} P + C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{R_2 \cdot R_4 \cdot R_6}{R_5} \cdot \omega_c^2 \cdot P^2}$$

$$a_i = \omega_c \cdot C_2 \cdot \frac{R_2 \cdot R_4 \cdot R_6}{R_3 \cdot R_5}$$

$$b_i = \omega_c^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot \frac{R_2 \cdot R_4 \cdot R_6}{R_5}$$

$$K_{0i} = (R_2 R_6) / (R_1 R_5)$$

Схема такої ланки наведена на рисунку 2.9:

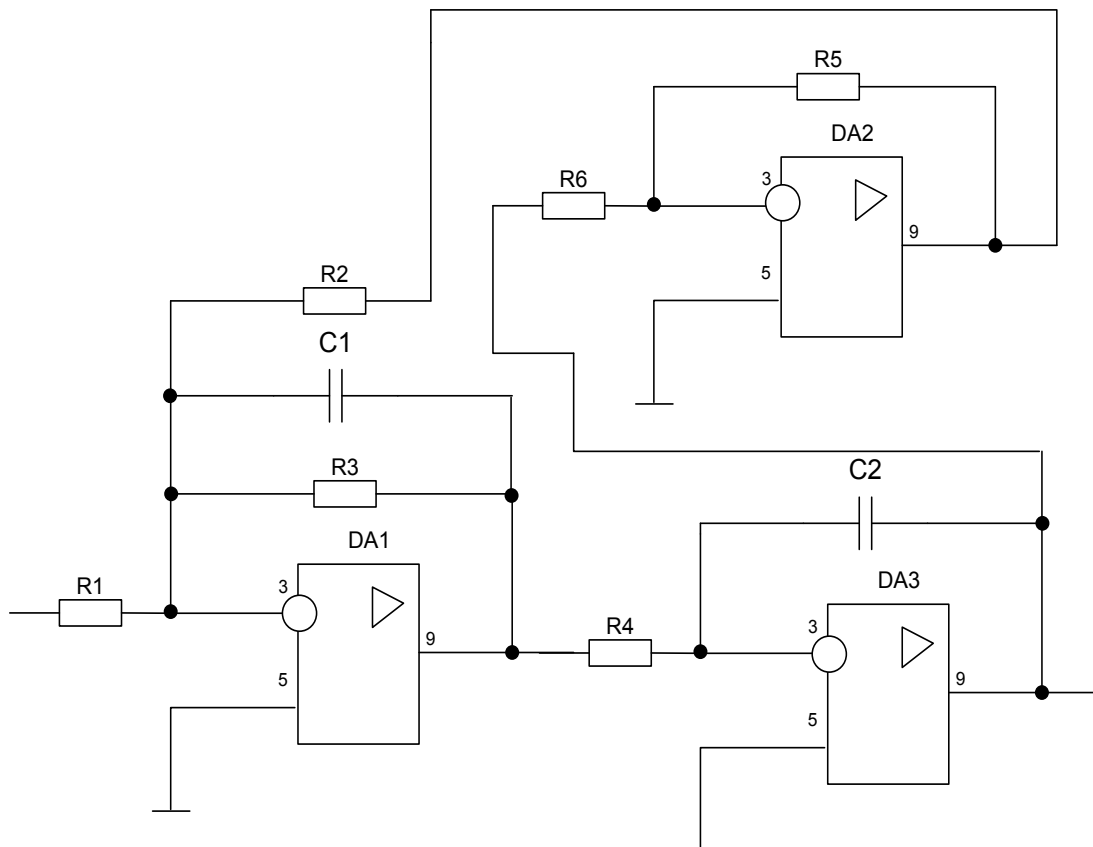


Рисунок 2.9 – Принципова схема третьої ланки фільтра

Виберемо номінальне значення ємності $C_1 = C_2$ рівною 6,8 нФ

Вибираємо номінальне значення опору R_1 , яке визначає вхідний опір ланки $R_1 = 10$ кОм (ряд E24).

Рахуємо номінали для R_2, R_3 і R_4 при значенні коефіцієнта підсилення $K_0 = 1$

$$R_2 = K_{0i} \cdot R_1$$

$$R_3 = b_i / (\omega_c C_1 a_i)$$

$$R_4 = b_i / (\omega_c^2 C_1^2 R_2)$$

Отримуємо значення:

$$R_2 = 1 \cdot 10 \text{ кОм} = 10 \text{ кОм}$$

$$R_3 = b_i / (\omega_c C_1 a_i) = \frac{0,76}{(6,28 \cdot 14336)^2 \cdot (6,8 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 10^4} = 1100 \text{ Ом}$$

$$R_4 = b_i / (\omega_c^2 C_1^2 R_2) = \frac{0,76}{(6,28 \cdot 14336) \cdot (6,8 \cdot 10^{-9}) \cdot 11,27} = 2020 \text{ Ом}$$

Для третьої ланки:

$$R_2 = 10 \text{ кОм}$$

$$R_3 = 110 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 202 \text{ Ом} \quad (\text{ряд E24})$$

Резистори в ланцюзі інвертуючого підсилювача DA2 вибираємо рівними.
 $R_5 = R_6 = 100 \text{ кОм}$ (ряд E24).

На вхід фільтра поставимо узгоджувальний каскад на повторювачу. Вхідний резистор $R_1 = 1 \text{ МОм}$.

Узагальнена схема всіх каскадів фільтрації наведена на рисунку 2.10.

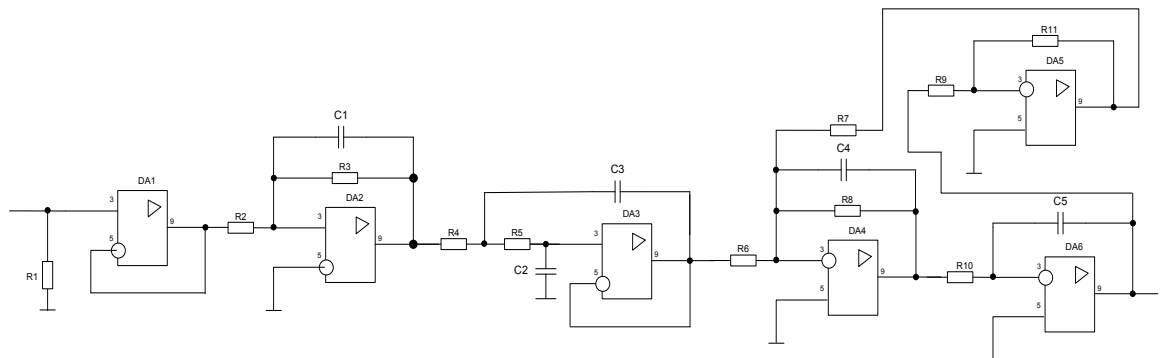


Рисунок 2.10 – Узагальнена принципова схема фільтра

Для відображення інформації про результати вимірювання швидкості необхідно використовувати індикатор. Існують багато різновидів типів індикаторів, однак на сучасному етапі найбільшого поширення набули рідкокристалічні модулі. Ці модулі являють собою блок в який входить безпосередньо рідкокристалічний екран, блок керування, який формує зображення по коду, який подається на вхід та порти вводу інформації.

Рідкокристалічний модуль дозволяє забезпечувати потрібну якість зображення при мінімальних масі, габаритах та потужності споживання.

Оскільки максимальна швидкість згідно технічного завдання складає 320 км, то для виводу даних достатньо трьох розрядний модуль.

В якості такого модуля використаємо Goodview LCD JXD0802A BLW.

Перевагою цього модуля є напруга живлення + 5 В, яка є стандартною і використовується також для живлення мікроконтролера та операційних підсилювачів.

2.3 Розрахунок показників надійності

Основною задачею проведення розрахунків в цьому розділі являється розрахунок середнього часу напрацювання до відмови та ймовірності безвідмовної роботи протягом заданого інтервалу часу, який зазвичай складає 8000 годин.

Допплерівський радар використовується у стаціонарному вигляді із максимальною температурою повітря +60°C. Внутрішній перегрів становитиме +5°C. таким чином, максимально можливе значення температури складатиме[2]:

$$T_p = 60 + 5 = 65^\circ\text{C}.$$

Середній час напрацювання до відмови T_0 визначається згідно виразу:

$$T_0 = 1/\lambda, \quad (2.12)$$

де λ - інтенсивність відмов, яка визначається виразом:

$$\lambda = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot \sum_{i=1}^m \lambda_i \cdot a_i \cdot N_i \quad (2.13)$$

де $k_1 = 1,04$ – коефіцієнт, який враховує вплив вібрації (приведений для стаціонарних умов),

$k_2 = 1,03$ – коефіцієнт, який враховує вплив ударних навантажень

$k_3 = 1$ – коефіцієнт впливу вологості (для $t = 20 - 40^\circ\text{C}$, вологості 60 – 70%),

$k_3 = 1$ – коефіцієнт впливу атмосферного тиску.

λ_i – номінальна інтенсивність відмов елементів i -й рівно надійної групи при експлуатації в заданих умовах ($\lambda_i = \lambda_{oi} a$),

N_i – кількість елементів в i -й рівно надійній групі,

a_i - поправочний коефіцієнт інтенсивності відмов i -й групи, який враховує вплив температури навколишнього середовища та електричне навантаження елемента,

m - кількість рівно надійних груп.

Розрахунок показників надійності для зручності зведено до таблиці 2.3.

Таблиця 2.1 – Розрахунок показників надійності

Назва	Тип	Кількість N_i , шт.	k_i	a_i	$\lambda_{0i} \cdot 10^{-6}$	$\lambda_i \cdot 10^{-6}$
Конденсатори	K10-50	8	0,6	0,65	0,45	1,404
Мікросхеми	MSAN-001	1	1,5	1,5	0,6	1,35
	LM358B	7	0,8	0,6	0,5	1,68
	attiny 2313	1	0,62	0,54	0,75	0,2511
Резистори	C5-35B	15	0,65	0,73	0,6	4,27
Кварцовий резонатор	KP-1056к	1	0,43	0,97	0,89	0,37
Індикатор	JXD0802A	1	1	1,08	14	15,12
Елементи монтажу	Плата друкована	1	1	1	0,1	0,1
	Пайка	425	0,6	0,6	0,006	0,918

Всього:						25,03

Інтенсивність відмов згідно наведених вище даних та виразів можливо визначити[1]:

$$\lambda = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot \sum_{i=1}^7 \lambda_i \cdot a_i \cdot N_i = 1,04 \cdot 1,03 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 25,03 \cdot 10^{-6}$$

$$= 26,81 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{ч}}.$$

Середній період до появи відмови становитиме[1]:

$$T_0 = 1/26,81 \cdot 10^{-6} \approx 37299_{\text{год}}$$

В розрахунках можливо вважати, що розподіл ймовірності відмов описується згідно експоненційного закону розподілу:

$$P(t) = e^{-\frac{t}{T_0}} \quad (2.14)$$

Проведемо розрахунки ймовірності безвідмовної роботи впродовж тривалості роботи 8000 годин[1]:

$$P(t) = e^{-\frac{8000}{37299}} = 0,81.$$

3 ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ АВТОМОБІЛІВ НА МАРШРУТІ ЗА ДОПОМОГОЮ СТАЦІОНАРНИХ ТА ПЕРЕНОСНИХ ПРИСТРОЇВ

Дослідження швидкості руху транспортного потоку

Головними завданнями дослідження швидкостей транспортного потоку на вулицях і дорогах є:

- визначення фактичних швидкостей руху транспортних засобів у конкретних дорожніх умовах;
- виявлення основних факторів, що викликають затримки й зниження швидкостей руху;
- встановлення ефективних і доцільних у даних конкретних умовах способів і заходів усунення або скорочення затримок руху й підвищення швидкостей руху при дотриманні вимог максимальної його безпеки.

Нижче викладаються різні методи дослідження швидкостей руху транспортних потоків і наводиться обладнання, яке використовується при таких дослідженнях.

3.1 Локальне дослідження швидкостей руху

Вимір швидкостей руху автомобілів на певній ділянці вулиці чи дороги називається локальним дослідженням швидкості.

Локальні дослідження мають істотне значення для: встановлення мінімально й максимально припустимих швидкостей руху транспортних засобів на певній ділянці вулиці або дороги; обмеження в'їзду на ділянку транспортних засобів певного типу; визначення розрахункової швидкості координації на ділянці ВДМ при введенні координованого регулювання на магістралі; розрахунку тривалості проміжних тактів; визначення розмірів зон забороненого обгону; аналізу дорожньо-транспортних пригод. Завдяки періодичним дослідженням швидкості руху в тому самому перетині може бути визначена тенденція зміни

швидкості руху транспортного потоку. Дослідження швидкостей до й після поліпшення умов руху дає можливість оцінити ефективність проведених інженерно-технічних заходів.

У практиці організації руху при проведенні локальних досліджень прийнято характеризувати швидкість руху транспортних засобів миттєвими її значеннями.

Миттєва швидкість руху являє собою фактичну швидкість руху одиночного автомобіля, що вимірювалась на короткій ділянці дороги й у конкретних дорожніх умовах. Середня миттєва швидкість руху є середнім значенням ряду миттєвих швидкостей, що вимірювались на даному відрізку дороги[4]:

$$\underline{V} = \frac{\sum_{i=1}^n V_i}{n}, \text{ км/год,} \quad (3.1)$$

де V_i – миттєва швидкість руху i – того автомобіля, км/год;

n – кількість автомобілів, швидкість яких вимірювалася.

Миттєві швидкості руху транспортних засобів можна вимірювати прямим або непрямим способом.

У першому випадку для виміру швидкостей руху автомобілів використовуються радары. Дія радару заснована на ефекті зміни частоти радіохвиль, відбитих від рухомих цілей. При цьому зміна частоти прямо пропорційна швидкості руху цих цілей.

Основна перевага радарів полягає в їхній компактності й простоті експлуатації. Однак при високій інтенсивності руху радар вже «не вирізняє» окремі автомобілі. Гарантована точність вимірів швидкостей руху автомобілів при використанні сучасних радарів становить 3 км/год.

При непрямому визначенні швидкості руху вимірюють час проїзду автомобілем базового короткого відрізка дороги.

На практиці час проїзду автомобілем заданої ділянки (бази) визначається за допомогою секундоміра. Границі бази можуть бути відзначені на проїзній частині лініями або іншими орієнтирами. Довжина базової відстані повинна відповідати рівню швидкостей, що досліджуються. Так, для швидкостей руху до 40 км/год достатня відстань 25-30 м, а для більших швидкостей необхідна відстань 50–60 м.

Якщо швидкості руху автомобілів перевищують 70 км/год, бажано збільшити базову відстань до 100 м.

При інтенсивності руху менш 200 авт./год спостерігач може вимірювати швидкості (або час проходження базової ділянки) практично всіх автомобілів. При більшій інтенсивності руху уже не можна виміряти швидкість кожного автомобіля, і тому це треба робити вибірково. Обсяг вибірки при цьому повинен бути достатнім для точного визначення необхідних характеристик.

Обсяг вибірки. Кількість необхідних вимірів миттєвої швидкості руху автомобілів, що забезпечують належну репрезентативність вибірки, визначається за формулою[1]:

$$n = \frac{t_{\delta}^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2}, \quad (3.2)$$

де t_{δ}^2 – значення функції довірчої ймовірності; при ймовірності $p = 0,954$ значення функції довірчої ймовірності $t_{\delta}^2 = 2$;

σ – середнє квадратичне відхилення миттєвих швидкостей руху автомобілів від середньої величини, км/год; визначається за результатами попередніх вимірів миттєвих швидкостей руху автомобілів;

Δ - припустима помилка спостережень, км/год.

Припустимо, що ми в ході проведення попередніх вимірів одержали дані про миттєві швидкості руху п'яти автомобілів: $V_1 = 35$ км/год, $V_2 = 50$ км/год, $V_3 = 45$ км/год, $V_4 = 53$ км/год, $V_5 = 47$ км/год. Середня миттєва швидкість руху становить:

$$\underline{V} = \frac{\sum_{i=1}^5 V_i}{5} = \frac{35 + 50 + 45 + 53 + 47}{5} = 46 \text{ км/год}$$

Визначаємо середнє квадратичне відхилення[4]:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^5 (V_i - \underline{V})^2}{5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(35 - 46)^2 + (50 - 46)^2 + (45 - 46)^2 + (53 - 46)^2 + (47 - 46)^2}{5}} =$$

$$= 6,13 \text{ км/год}$$

Якщо прийняти припустиму помилку спостереження $\Delta = \pm 1$ км/год, то за формулою (3.2) при довірчій ймовірності $p = 0,954$ кількість вимірів миттєвої швидкості руху автомобілів повинне бути не менш[4]:

$$n \geq \frac{2^2 \cdot 6,13^2}{1^2} = 151.$$

Таким чином, необхідно зробити виміри миттєвої швидкості руху як мінімум 151 автомобіля.

При зниженні вимоги до точності визначення швидкості вдвічі ($\Delta = \pm 2$ км/год), число необхідних вимірів скоротиться в чотири рази – до 38.

Методика визначення обсягу вибірки, що описана вище, й наведені формули можливо застосовувати не тільки при дослідженні швидкостей руху автомобілів, але й у багатьох інших випадках, коли спостерігаються випадкові явища й процеси.

Вибір автомобілів із транспортного потоку для виміру миттєвої швидкості руху повинен проводитися випадковим образом. Але при цьому необхідно спробувати одержати у вибірці таку пропорцію автомобілів різних типів, яка б приблизно відповідає фактичному складу транспортного потоку на ділянці.

Коли потрібно одержати середньодобові величини швидкості руху, дослідження проводять у наступні періоди часу: з 9 до 12 години, з 15 до 18 і з 20 до 22 години. Як правило, дослідження проводяться в гарних погодних умовах. Для одержання достовірних даних рекомендуються виміри швидкості руху автомобілів виконувати в різні дні тижня й брати за основу середнє значення із цих вимірів.

Аналіз і обробка даних отримана в результаті вимірів інформація підлягає первинній обробці, як правило, зведенню у варіаційні ряди або в таблиці. Її

обробляють відповідно до методів математичної статистики й графічно оформляють у вигляді гістограм і кумулятивних кривих.

Методика побудови цих графічних матеріалів наступна:

- всі отримані значення миттєвих швидкостей групують за інтервалами. Звичайно інтервал (крок) групування приймають 5 км/год;
- для кожного інтервалу визначають частість швидкостей (P_i)[3]:

$$P_i = \frac{m_i}{n}, \quad (3.3)$$

де m_i – число значень швидкості, що потрапили в i -тий інтервал (частота);
 n - загальна кількість вимірів швидкості.

За результатами розрахунку частоті будують гістограму розподілу миттєвих швидкостей руху транспортних засобів (рис. 3.1 а);

- для кожного інтервалу визначають накопичену частість (F_i) – це послідовна сума частостей кожного інтервалу. Так:

- а) для першого інтервалу – $F_1 = P_1$;
- б) для другого інтервалу – $F_2 = P_1 + P_2 = F_1 + P_2$;
- в) для третього інтервалу – $F_3 = P_1 + P_2 + P_3 = F_2 + P_3$;
- г) для всіх наступних інтервалів – $F_i = F_{i-1} + P_i$.

За результатами розрахунку накопиченої частоті будують кумулятивну криву розподілу миттєвих швидкостей руху транспортних засобів (рис. 3.1 б).

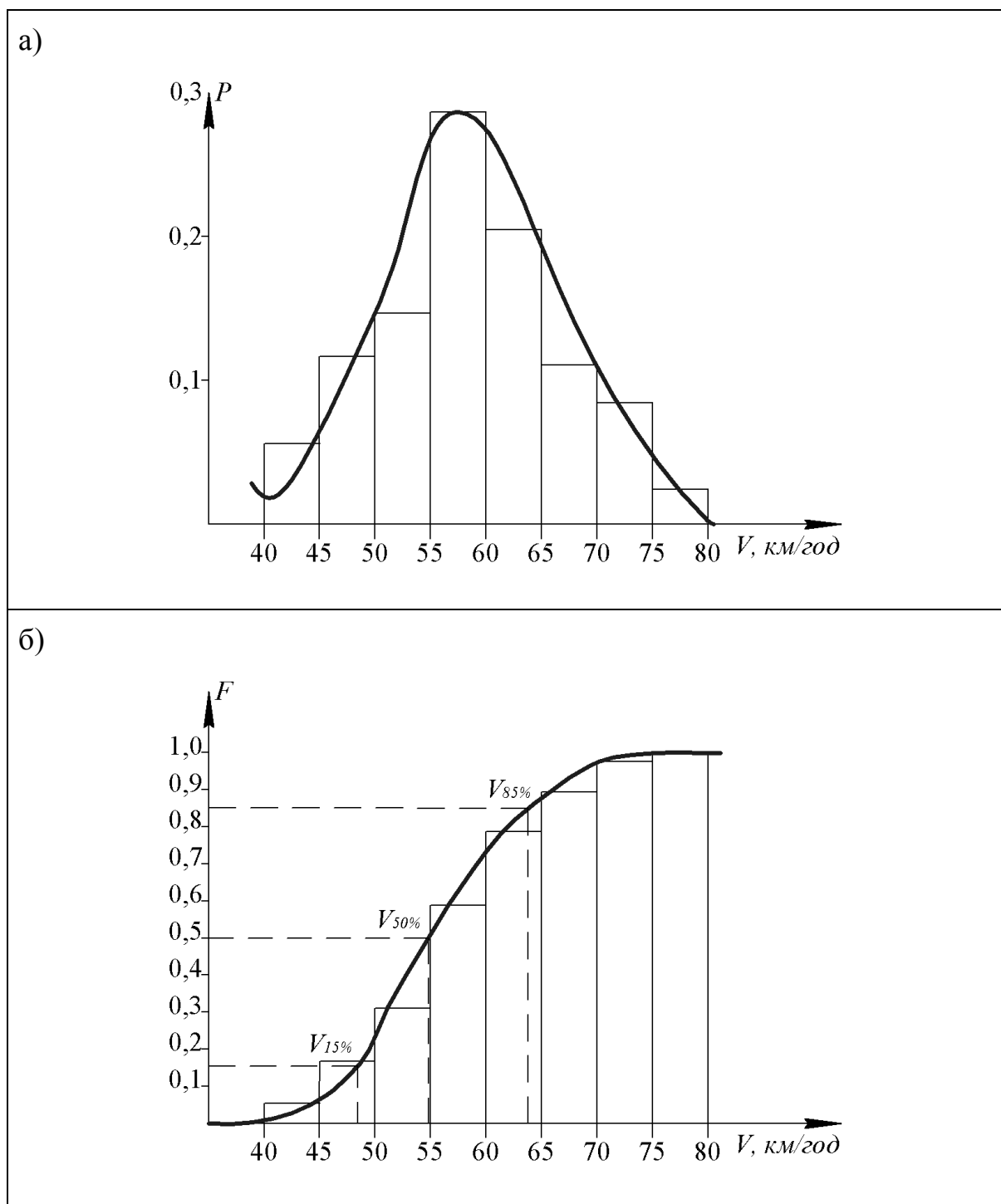


Рисунок 3.1 – Гістограма (а) й кумулятивна крива (б) розподілу миттєвих швидкостей руху транспортних засобів (приклад)

Аналізуючи дані локальних вимірів миттєвих швидкостей руху автомобілів з використанням кумулятивної кривої можна одержати кілька характеристик транспортного потоку: швидкість 15 % - вої забезпеченості ($V_{15\%}$), швидкість 50 % - вої забезпеченості ($V_{50\%}$), швидкість 85 % - вої забезпеченості ($V_{85\%}$).

$V_{15\%}$ - це швидкість руху, яку у транспортному потоці не перевищують 15 % транспортних засобів. У практиці регулювання дорожнього руху приймають у якості мінімально припустимої на даній ділянці.

$V_{50\%}$ (медіана) приймається як середнє значення швидкості транспортного потоку й використовується в техніко-економічних розрахунках. Медіаною називається швидкість, з перевищенням якої їде стільки ж автомобілів, скільки їдуть і з більш повільною швидкістю.

$V_{85\%}$ характеризує максимально-припустиму для даних умов швидкість руху транспортних засобів і використовується для прийняття рішень з організації дорожнього руху.

Для визначення асиметрії розподілу миттєвих швидкостей руху автомобілів використовують 7 і 93 % - ів швидкості ($V_{7\%}$ і $V_{93\%}$). Індекс асиметрії обчислюється в такий спосіб[1]:

$$I = \frac{2(V_{93\%} - V_{50\%})}{V_{93\%} - V_{7\%}}. \quad (3.4)$$

Індекс асиметрії, що дорівнює одиниці, указує на симетрію розподілу миттєвих швидкостей щодо медіани. Якщо його значення менше 1, то це означає, що крива розподілу відхиляється убік менших швидкостей, а вище 1 – убік високих швидкостей (тобто в транспортному потоці переважають автомобілі, що рухаються зі швидкістю вище середньої).

Порівняння результатів двох локальних досліджень швидкості руху. Для того щоб визначити, чи є істотною різниця між середніми миттєвими швидкостями транспортних засобів для двох локальних досліджень (наприклад, до й після проведення заходів на ділянці вулиці, або результатів локальних досліджень на двох ділянках вулиці) необхідно перевірити наступну умову[1]:

$$|\underline{V}_1 - \underline{V}_2| > 2\sigma_d, \quad (3.5)$$

$$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{\epsilon 1}^2 + \sigma_{\epsilon 2}^2}, \quad (3.6)$$

де $\underline{V}_1$ й $\underline{V}_2$ – середні миттєві швидкості руху транспортних засобів відповідно для 1 і 2 досліджень, км/год; визначаються за формулою (3.1)[3];

σ_{e1} і σ_{e2} – стандартна помилка середньої вибірки відповідно для першого й другого локального дослідження. Ця величина визначає діапазон, у якому перебуває фактична середня швидкість усього транспортного потоку на тій же ділянці й у той же час, коли проводиться вибіркове обстеження.

$$\sigma_e = \sqrt{\frac{\sigma^2}{n}}, \quad (3.7)$$

σ – середнє квадратичне відхилення миттєвих швидкостей руху від середньої величини, км/год; визначається для всієї вибірки;

n – кількість автомобілів у вибірці.

Якщо умова (3.5) виконується, то з 95 % - вою ймовірністю можна стверджувати, що різниця середніх миттєвих швидкостей є статистично значимою й викликана не випадково. Приклад розрахунку наведений нижче в таблиці 3.4.

Таблиця 3.1 – Порівняння результатів двох досліджень швидкості руху

Параметр	Дослідження 1	Дослідження 2
Середня миттєва швидкість, $\underline{V}$, км/год	17,3	19,0
Стандартна помилка середньої, σ_e , км/год	0,34	0,5
$ \underline{V}_1 - \underline{V}_2 = 17,3 - 19,0 = 1,7$ км/год.		
$\sigma_d = \sqrt{\sigma_{e1}^2 + \sigma_{e2}^2} = \sqrt{0,34^2 + 0,5^2} = 0,605$ км/год.		

Так як 1,7 більше $2 \cdot 0,605 = 1,21$, то різниця між середніми миттєвими швидкостями в першому й другому дослідженні є істотною.

3.2 Дослідження швидкості руху на маршруті

Середня швидкість руху на маршруті довжиною L , км, визначається із співвідношення[4]:

$$\underline{V_i} = \frac{60L}{t}, \quad (3.8)$$

де t – час руху по маршруту, хв.

Проїзди по маршруту повинні виконуватися не менш трьох разів у кожную сторону. Швидкість руху по маршруту не повинна перевищувати встановлених обмежень. У процесі руху по маршруту не допускаються навмисні зупинки.

Реєстрація часу руху виконується обліковцем, що перебуває рядом з водієм автомобіля. Для реєстрації використовують секундомір.

Коли потрібно визначити середню швидкість автомобіля в русі (технічну швидкість), то час, витрачений на зупинки, віднімається зі знаменника у вищенаведеній формулі.

Коли про швидкість на ділянці дороги довжиною L потрібна більш докладна інформація, то швидкість зручно описувати середнім значенням і дисперсією, що отримала назву «шум прискорення». На практиці «шум прискорення» визначається виміром проміжків часу Δt_i , за які швидкість руху змінюється на 3 км/год.

3.3 Дослідження сучасних технологій детекторів руху

Передові технології пропонують нам різні альтернативи в зборі даних про трафік. Однак різноманіття пристроїв часто надають різну точність від реальної швидкості транспортних засобів(ТЗ). Відсутність знань про точність між різними пристроями часто цитується як спільна проблема як для дослідників транспорту, так і для науковців подібних сфер діяльності. В цьому розділі розглядаються найточніші дані про трафік вимірювального пристрою у порівнянні з істинною швидкістю руху транспорту, у досліджуваному автомобілі використовується

пристрій V-BOX GPS, який надає максимально точні дані про швидкість руху ТЗ. В дослідженні охоплено два класи технологій, а саме пристрої збору даних про трафік, які є стаціонарними (зафіксовані детектори порушень швидкісного ліміту) і малогабаритні переносні вимірювальні прилади (лазерна гармата, радарна гармата). Надзвичайно важливо розглянути, які пристрої мають найбільш точний збір даних, порівняти всі технології між собою та обрати найкращий серед усіх варіантів.

Навіть з найкращими засобами та технікою похибки завжди існують і від цього не втекти. Так само, неважливо як саме швидкість вимірюється у фіксованому місці, це дуже відносно, справжня швидкість ТЗ не реєструється за однаковим принципом так-як різні пристрої через різні умови можуть реагувати по-різному, не викликаючи розбіжності в даних. Точні дані необхідні для підтримки контролю на дорогах, але через велику кількість різноманітних транспортних рішень, які впливають на функціонування та загалом фіксацію транспортної системи, управління та планування руху. З цієї причини надзвичайно важливо, щоб дані трафіку, зібрані з пристроїв, були точні[15]. Вимірювання швидкості транспортних засобів є звичайним і важливим завданням фахівцями-спеціалістам багатьох пов'язаних з дорожнім рухом дисциплін, у т.ч інженери, менеджери, дослідники та особам правоохоронних органів. Транспортні агентства часто використовують результати швидкості досліджень, як основу для прийняття важливих рішень, наприклад встановлення обмеження швидкості, визначення часу сигналів світлофора, розміщення дорожніх знаків та визначення ефективності контрзаходів. В досліді бере участь декілька датчиків для вимірювання швидкості.

Усі ці технології мають певні переваги та недоліки, навіть неправильно встановлений чи налагоджений пристрій буде надавати некоректні показники, розміщення в різних місцях будь то стовпи, рекламні білборди, безпосередньо на дорозі, узбіччях, постах поліції чи прилеглих територіях за будь якої погоди, температури, матимуть певні погрішності в отриманих значеннях. Ці фактори можуть призвести до розбіжностей у швидкості даних та зібрані дані про

швидкості можуть не відповідати таким швидкостям які були в дійсності. Вимірювальні пристрої швидкості можуть реагувати по-різному, можлива певна розбіжність цих даних. Дослідження продемонструє точність швидкостей за кожним приладом вимірюванням швидкості, до складу яких входять фіксовані детектори швидкості, лазерна гармата, радарна гармата та ручний підрахунок у порівнянні з пристроєм встановленим в експериментальний автомобіль де значення його швидкості будуть істинними.

- Фіксовані автоматичні детектори швидкості

Основними компонентами фіксованих автоматичних детекторів є дорожні датчики, такі як безпосередньо зафіксовані на дорозі у вигляді двох з'єднаних між собою ліній сенсорів. Для дослідження, використовується попередньо сформована лінія. Складену з датчиків лінію підключають до пристрою RoadPod VT від компанії MetroCount, який розташований на узбіччі дороги живиться від акумулятора 12 вольт. Сформована лінія підключена до одноканального шлейфового сповіщувача, який підключається до мікропроцесора. Попередньо сформована лінія діє як інструмент для виявлення присутності транспортного засобу та руху вперед машини. Це короткий опис встановлення попередньо сформованої лінії:

- Дві лінії датчиків встановлені на вибраному місці, як показано на Рис.3.2.



Рисунок 3.2 – Процес монтажу дорожніх датчиків

- Два дорожні датчика з'єднані з двома лініями всередині MetroCount. Ці два датчики під'єднані до мікропроцесора.
- Потрібно переконатися, що є наявне підключення датчиків перед тим, як розпочати збір даних. Рис. 3.3 показує MetroCount, який готовий до фіксування даних.



Рисунок 3.3 – Дорожні датчики, встановлені на дорозі

- Комбінації сигналів від лінії датчика та сигналу детектора обробляються мікропроцесором, що призводить до фіксації даних про трафік. Всі дані будуть відображені і записуються мікропроцесором.
- Дані можна зафіксувати шляхом завантаження їх за допомогою особистого комп'ютера, який підключений через (послідовно під'єднаний) кабель (USB).
- Б. Радар і лазерна гармата

Обладнання для ручної фіксації, таке як радар і лазерний пістолет все ще широко використовується для тимчасового збору даних. Однак він обмежений через безпеку, вартість та складності погодних умов. Як радар, так і лазерна гармата вимірюють швидкість. Ефективна відстань вимірювання для радіолокаційної гармати становить від 60 метрів до 3000 метрів. Для точного вимірювання швидкості радіолокаційна гармата потребує прямої видимості, і нею легко керувати людині. Однак, якщо трафік інтенсивний або якщо транспортних засобів велика кількість, можуть знадобитися два спостерігачі, або навіть більше. Лазерна гармата або лідар пістолет – це технологія виявлення та визначення

відстані, яка випромінює серію імпульсів інфрачервоного лазерного променя для вимірювання швидкості цілі. Технологія може програмно ігнорувати негоду, навіть сили променя вистачить щоб стріляти крізь скло. Але лазерний пістолет має вузьке поле зору, а радіолокаційна гармата має широке поле огляду та запрограмоване повідомляти про найактивніший або найшвидший автомобіль. Рис. 3.4 показує як радар, так і лазерну гармату.



Рисунок 3.4 – Радар і лазерна гармата

- Ручний підрахунок

Ручний підрахунок або також відомий як формула швидкості руху також використовується в цьому дослідженні. Де швидкість руху визначається діленням загальної відстані від часу руху автомобіля. А саме розрахунок проходження прямолінійної ділянки обраної дороги, фіксуючи час, який необхідно для проходження заданої відстані, назвемо її «зоною спостереження». Для цього експерименту обрана пряма ділянка дороги де розташована розмітка довжини «зони спостереження». Збираючи дані, певний спостерігач запускає та зупиняє секундомір як тестований транспортний засіб входить і виходить із початкової та кінцевої точки позначеної ділянки дороги. Тестова ділянка позначена, як показано на рис. 3.5.

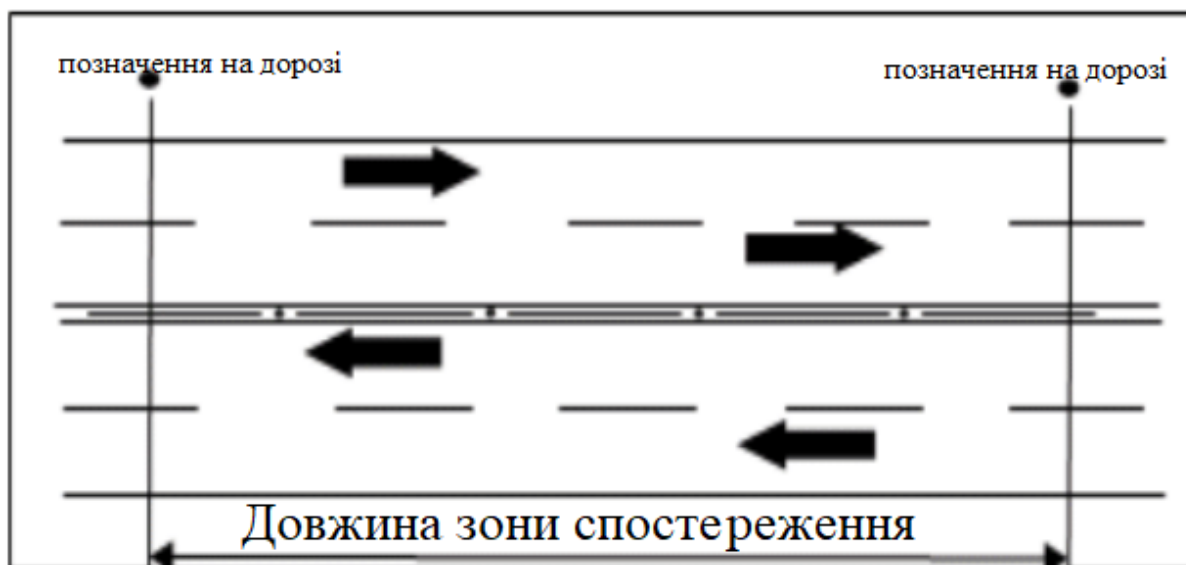


Рисунок 3.5 – Довжина зони спостереження

- Використання технології на основі GPS

Технології на основі GPS в тестовому транспортному засобі відносять до категорії розумних транспортних систем (РТС), а саме моніторинг роботи в реальному часі, виявлення інцидентів та визначення їх місця на маршруті. Вони також збирають дані про трафік у реальному часі. Хоча саме такі системи для транспортних засобів потребують досить високої вартості впровадження та фіксованого місця в корпусі автомобіля, ці засоби пропонують таку перевагу як, низька вартість за одиницю зібраних даних швидкості автомобіля, безперервність збору даних, автоматизований збір даних та відсутність перешкод для руху. Завдяки оснащенню GPS-приймачами для прийому сигналів від супутників. GPS в основному складається з трьох компонентів якими є: супутники, елементи керування та користувач, зображено на рис. 3.5. За основу для прикладу візьмемо V-BOX GPS - потужний пристрій для вимірювання параметрів рухомого транспортного засобу[15]. Прилад розроблений на основі високопродуктивних супутникових приймачів нового покоління, вміє вимірювати швидкість, пройдену відстань, прискорення, час на колі та інші показники. Завдяки невеликому розміру та простоті встановлення, VBOX ідеально підходить для використання на автомобілях, мотоциклах, всюдиходах та водного транспорту, використаємо для

збору даних про швидкість. Встановивши пристрій VBOX у тестовому автомобілі для порівняння з іншими варіантами виміру швидкостей технологій.



Рисунок 3.6 – V-BOX GPS

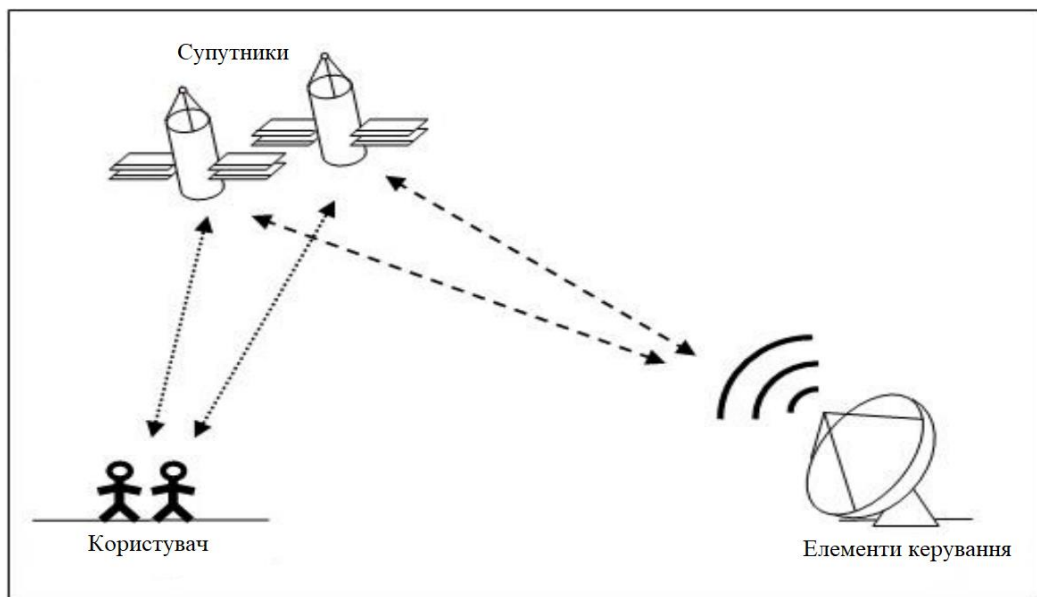


Рисунок 3.7 – Моделювання збору даних GPS

Для вимірювання швидкості руху через різну фіксацію швидкості вимірювальних пристроїв, швидкість збирали відразу за допомогою всіх чотирьох різних способів для вимірювання швидкості. Дані були зібрані в одному напрямку ділянки дороги, де були розміщені всі інструменти і розташовані для зручності спостерігачів для збору швидкості даних випробувального автомобіля. Тестовий автомобіль в який і встановлено GPS-обладнання VBOX, яке фіксує справжню швидкість як базову(істинну). Транспортний тест-засіб було піддано 14-ти пробігам зі збільшенням швидкості від 5-70 км/год. На рис. 3.8 показано обрану

ділянку досліджуваної території та розташування приладів вимірювання швидкості.



Рисунок 3.8 – Зона дослідження та розташування приладів вимірювання швидкості

Таким чином, усі дані про швидкість за допомогою різних пристроїв вимірювань швидкості порівнювали з V-BOX GPS, та перевіреним бортовим лічильником на тестованому автомобілі. Згенеровано лінійну лінію тренду (графік), де точки будуть лежати близько до прямої, і якщо дані про швидкість з інших пристроїв збігаються з фактичними значеннями з даними швидкості V-BOX GPS означатиме що, дані точні. Якщо точки були далеко від лінії, це означало б, що є розбіжність в даних. З рис. 3.9 можна помітити, що значення V-BOX GPS в порівнянні зі значеннями спідометра тестованого автомобіля лінії тренду (R^2) збігається і дорівнює одиниці, тому надалі це значення можна вважати як істинне.

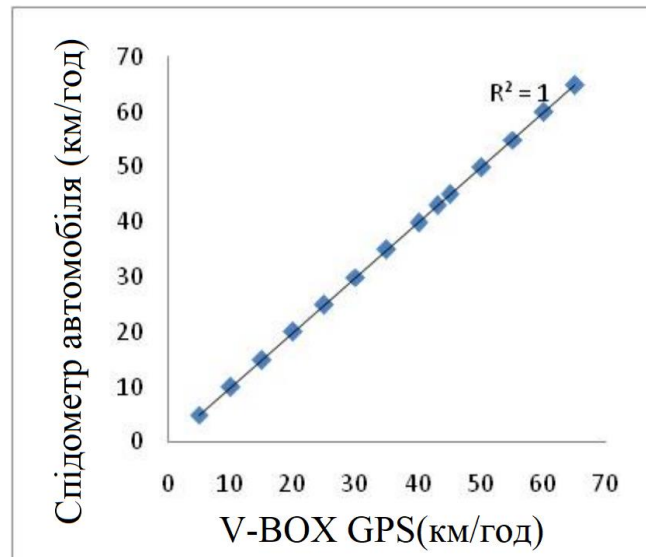


Рисунок 3.9 – Перевірені дані спідометра автомобіля (фактична швидкість тестового автомобіля) у порівнянні з VBOX GPS

На рис. 3.10 зображено діаграму розкиду між фіксованим автоматизованим трафіком швидкості та пристроєм VBOX GPS де значення лінії тренду (R^2) відповідає значенню 0,986. На рис. 3.11 показано діаграму розсіювання між лазерною гарматою та пристрій VBOX GPS де лінія тренду (R^2) дорівнює 0,985. Третя діаграма розсіювання зображена на рис. 3.12 різниця між ручним підрахунком і пристроєм VBOX GPS лінія тренду (R^2) відповідає 0,885. Нарешті, рис. 3.13 – діаграма розсіювання між радарною гарматою та GPS-пристроєм VBOX отримуємо лінію тренду (R^2) зі значення 0,515. Коли різні пристрої вимірювання швидкості були порівнянні з V-BOX GPS, найбільшим значенням (R^2) отримали від фіксованих автоматизованих детекторів швидкості наступний по точності став лазерний пістолет, потім ручний підрахунок і нарешті радар. Якщо відкинути найточніші значення від фіксованих автоматичних детекторів та лазерної гармати, радарна гармата та ручний підрахунок показали найгірші показники точності в порівнянні з істинними значеннями швидкості автомобіля[15].

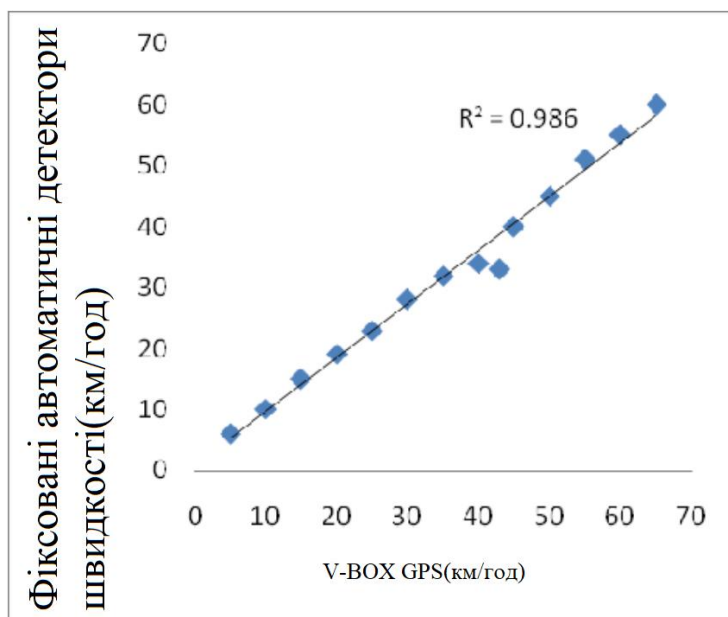


Рисунок 3.10 – Діаграма розсіювання для фіксованих автоматичних детекторів швидкості у порівнянні з V-BOX GPS

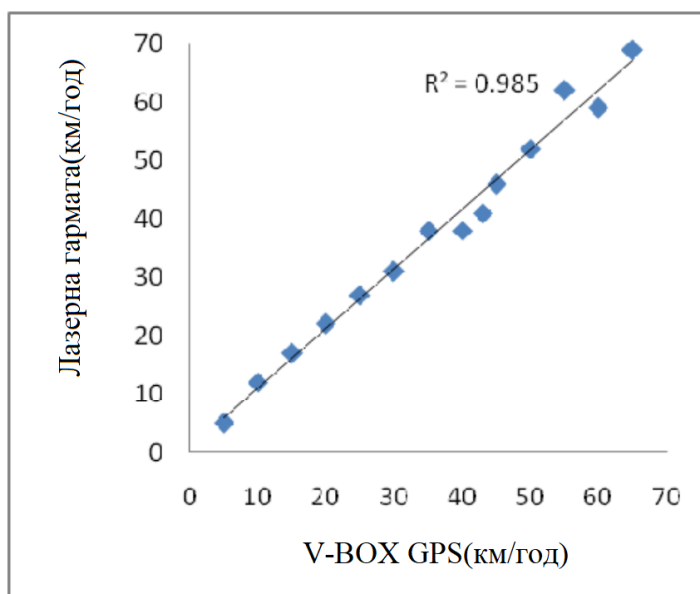


Рисунок 3.11 – Діаграма розсіювання для лазерної гармати та VBOX GPS

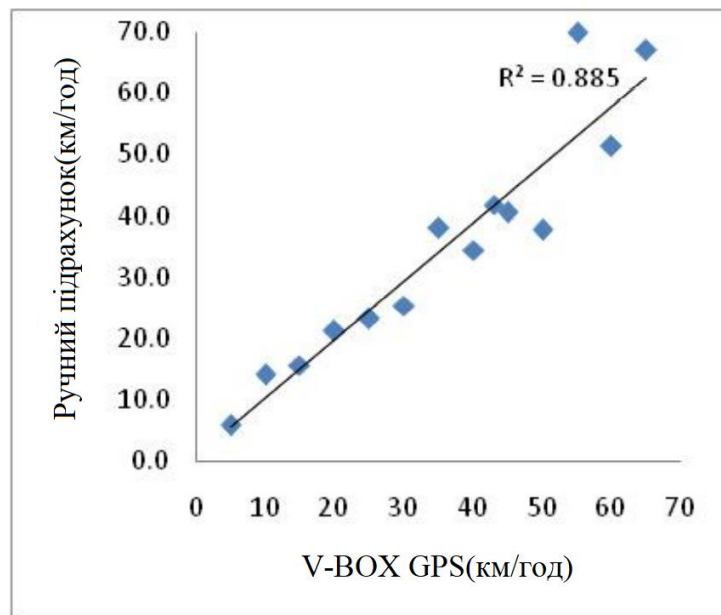


Рисунок 3.12 – Діаграма розсіювання для ручного підрахунку в порівнянні з VBOX GPS

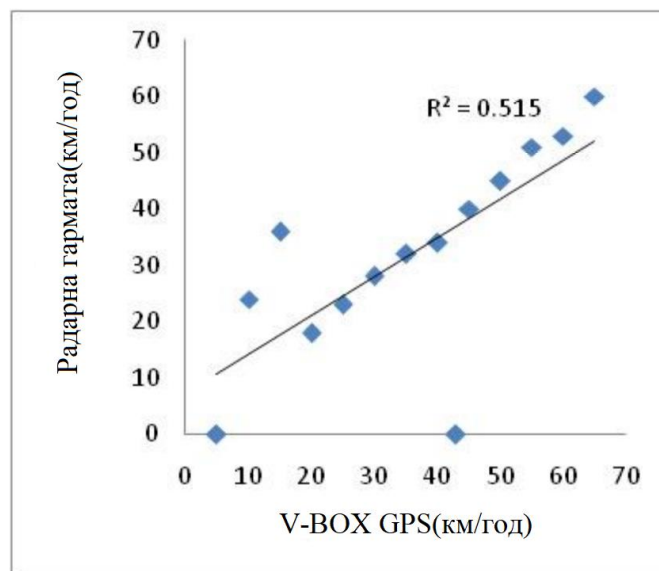


Рисунок 3.13 – Діаграма розсіювання між радарною гарматою та VBOX GPS

Для оцінки точності використовується кілька значень, а саме: як середньоквадратична похибка (СКП)[5], абсолютна похибка (АП)[6] і абсолютна похибка (відсоткова) (АПВ)[6]. Похибки визначаються як різниці між швидкостями, вимірюється безпосередньо приладами та V-BOX GPS

$$\text{СКП} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (y - y_i)^2}{N}} \quad (3.9)$$

$$АП = \frac{\sum_{i=1}^N |y - y_i|}{N} \quad (3.10)$$

$$АПВ = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N |y - y_i|}{N} \cdot 100}{N} \quad (3.11)$$

де:

СКП = середньоквадратична похибка;

АП = абсолютна похибка;

АПВ = абсолютна похибка (відсоткова) ;

y_i = дані з пристроїв вимірювання швидкості ;

y = дані швидкості V-BOX GPS;

N = кількість розглянутих наборів даних;

Таблиця 3.2 показує зведення СКП, АП та значення АПВ. Середньоквадратична похибка та абсолютна похибка (відсоткова) були найменшими при фіксованих автоматичних детекторах швидкості в порівнянні з V-BOX GPS, далі лазерний пістолет, ручний підрахунок і радіолокаційна гармата. Загальна абсолютна похибка була від 0,43 км/год до 3,36 км/год. Всі прилади показали малу невідповідність значень між пристроями. Тим не менш, найбільш точним є фіксовані автоматичні детектори швидкості[15].

Таблиця 3.2 – Резюме значень СКП, АП та АПВ

Прилад для вимірювання швидкості	СКП(км/год)	АП(км/год)	АПВ(%)
Фіксовані автоматичні детектори швидкості	2,74	1,50	7,12
Лазерна гармата	4,40	3,36	9,35
Ручний підрахунок	6,32	0,82	14,18
Радарна гармата	7,72	0,43	26,86

На основі дослідження було помічено, що фіксовані автоматичні детектори швидкості мають вищу точність порівняно з V-BOX GPS. Таблиця 3.3 показує висновок, який можна зробити на основі дослідження, а саме переваги та недоліки кожного пристрою.

Таблиця 3.3 – Переваги та недоліки кожного пристрою

Пристрій вимірювання швидкості	Переваги	Недоліки
Фіксовані автоматичні детектори швидкості	• Швидко та легко встановити для постійного і тимчасового запису даних. • Використовуйте низьку потужність для роботи. • Датчики легко розмістити на дорожньому покритті та легко налаштувати.	• Через високу вологу датчики можуть вийти з ладу. • Датчик може давати збій при високій масі ТЗ. • Від вантажних машин датчики швидко руйнуються, та виходять з ладу.

Лазерна гармата	• Лазер гармати охоплює ОДИН конкретний транспортний засіб.	• Не кожен транспортний засіб можна було зафіксувати, коли автомобільний трафік великий. • Деякі дані можуть бути втрачені навіть під час використання. • Дані мають бути захоплені в суворих межах а середня експлуатаційна дальність близько 240 метрів.
Ручний підрахунок	• Точний але залежить від реакції людини яка фіксує швидкість.	• Можливі помилки від перевіряючого при високій швидкості руху. • Точність зафіксованих даних залежать від перевіряючого.
Радарна гармата	• Портативний і простий у використанні	• Від погодних умов точність радара може знижуватись. • Може зафіксувати інший ТЗ з протилежної смуги. • Радар дає збій при зчитуванні декількох транспортних засобів, тому що ціль має бути лише одна.

Технологічний прогрес приніс величезні зміни за останні роки в галузі легко-переносних приладів вимірювання швидкості та фіксованих пристроїв вимірювання, виготовлення та вдосконалення їх до більш надійних, точних,

простіших у використанні та безпечних. Завдяки цим причинам, такі пристрої стають все більш популярним серед приватних фірм і відділів транспортування[15].

ВИСНОВКИ

Таким чином, у відповідності до поставленої мети в магістерській роботі було проведено дослідження швидкостей руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних і переносних пристроїв.

У першому розділі проведено аналіз сучасних радарів виміру швидкості об'єктів. Розкрито загальні відомості про принципи роботи радарів на основі ефекту Доплера. Також зображено, що існує велика кількість різноманітних доплерівських радарів, показано їх характеристики.

У другому розділі проведено аналіз радару на основі ефекту Доплера. А саме аналіз структурної схеми радару, також на рисунках, аналіз принципової схеми, також зображено розрахунок показників надійності.

У третьому розділі проведено дослідження швидкості руху автомобілів на маршруті за допомогою стаціонарних та переносних пристроїв. Проведено локальне дослідження швидкостей руху, на певній ділянці дороги, також виконано дослідження швидкості руху на маршруті, і дослідження сучасних технологій детекторів руху.

Результати проведених досліджень показали, що при необхідності встановлення певних фіксуючих засобів на дорозі, для фіксації швидкості автомобілів, можуть виникнути певні проблеми через нюанси дорожнього полотна, місця встановлення, погодних умов. Також отримали певні значення точності в порівнюючи засоби фіксації між собою, найкращі показники показали фіксовані автоматичні детектори руху через свою простоту та точність отриманих даних, але вартість такої системи залишається досить високою, наступною стала лазерна гармата, яка не сильно вступає по точності, але через погодні умови або високу кількість автомобілів можливий збій фіксації швидкості, також непогано проявив себе ручний підрахунок, вартість мізерна, а показник точності є виском, але фіксувати швидкість необхідно буде на рівній ділянці дороги, також це має бути декілька людей які і будуть фіксувати коли транспортний засіб проїхав певні рубежі, і найгіршим серед всіх варіантів виявився радарна гармата де

точність вимірів була досить низькою, але через свою малу вартість не є найгіршим варіантом, при сприятливих погодних умовах і без можливих перешкод перед автомобілем з якого намагаються отримати його швидкість, радар може отримати відносно точні значення.

Основні теоретичні та практичні результати роботи доповідались на III Всеукраїнській науково-практичній інтернетконференції здобувачів вищої освіти та молодих учених «Інформаційно Комп'ютерні технології: стан, досягнення та перспективи розвитку» (м.Житомир, 2021р), V всеукраїнській науково-технічній конференції «Комп'ютерні технології»: іновації,проблеми,рішення» (01.02.2022р, м. Житомир).

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Білуха М. Т. Методологія наукових досліджень: навч. підручник / М. Т. Білуха. – К.: АБУ, 2002. – 480 с.
2. Скрипник Ю. О. Радіочастотні системи вимірювання швидкості транспортних засобів / Ю. О. Скрипник. – Харків : ХНУРЕ, 2017. – 350 с.
3. Ковальчук І. В. Основи радіолокації: підручник / І. В. Ковальчук. – Київ : КНУБА, 2018. – 410 с.
4. Мельник П. О. Радіочастотні технології в транспорті: дослідження і застосування / П. О. Мельник. – Львів : ЛНУ, 2020. – 298 с.
5. Дробязко Т. І. Радіохвильові методи вимірювання параметрів руху / Т. І. Дробязко. – Київ : КПІ, 2019. – 270 с.
6. Губарєв О. С. Технології радіочастотного моніторингу на транспорті / О. С. Губарєв. – Одеса : ОНПУ, 2021. – 312 с.
7. Лисенко В. П. Методи та алгоритми обробки сигналів у радіолокаційних системах для вимірювання швидкості / В. П. Лисенко. – Харків : ХАІ, 2022. – 280 с.
8. Савченко Т. В. Аналіз точності радіочастотних систем контролю руху автомобілів / Т. В. Савченко. – Київ : КНУБА, 2017. – 210 с.
9. Черненко О. С. Радіотехнічні системи моніторингу руху транспорту / О. С. Черненко. – Дніпро : ДНУЗТ, 2018. – 345 с.
10. Skolnik M. I. Introduction to Radar Systems / M. I. Skolnik. – New York : McGraw-Hill, 2001. – 768 p.
11. Richards M. Fundamentals of Radar Signal Processing / M. Richards. – New York : McGraw-Hill, 2014. – 536 p.
12. Griffiths H. An Introduction to Passive Radar / H. Griffiths. – Cambridge : Cambridge University Press, 2020. – 430 p.
13. Barton D. K. Radar Technology for Automotive Applications / D. K. Barton. – London : Artech House, 2016. – 290 p.

14. Levanon N. Radar Principles / N. Levanon. – New York : Wiley, 1988. – 320 p.
15. Griffiths J. Radar Signal Analysis and Processing Using MATLAB / J. Griffiths. – New York : Wiley, 2019. – 500 p.
16. Haykin S. Cognitive Radar: The Knowledge-Aided Fully Adaptive Approach / S. Haykin. – New York : Wiley, 2013. – 418 p.
17. Richards M. A. Principles of Modern Radar / M. A. Richards. – Raleigh : Scitech Publishing, 2010. – 850 p.
18. Patole S. Automotive Radar Sensors in the Autonomous Age / S. Patole. – New York : Springer, 2017. – 400 p.
19. Rao M. Radar and AR Techniques for Measuring Automotive Speeds / M. Rao. – New York : Springer, 2019. – 312 p.
20. Grzeskowiak M. Automotive Radar Speed Measurement: A Comparative Study // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2019. – Vol. 68, No. 2. – P. 1234-1245.
21. Salih M. Enhancing the Accuracy of Automotive Speed Detection Using Radar Systems // IEEE Sensors Journal. – 2020. – Vol. 20, No. 5. – P. 432-441.
22. Kim S. Advances in Doppler Radar for Automotive Speed Measurement // IEEE Transactions on Radar Systems. – 2021. – Vol. 34, No. 7. – P. 345-356.
23. Zhang H. High-Resolution Speed Detection for Autonomous Vehicles Using Millimeter-Wave Radar // Sensors. – 2020. – Vol. 20, No. 12. – P. 1645-1657.
24. Wang Y. A Novel Radar-Based System for Real-Time Vehicle Speed Monitoring // IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems. – 2022. – Vol. 23, No. 9. – P. 812-824.
25. Smith J. Improving Vehicle Speed Detection Using Radar Signal Processing Techniques // IEEE Access. – 2021. – Vol. 9. – P. 35890-35900.

- 26.Liu P. Accuracy Enhancement in Automotive Radar Speed Measurement // Journal of Radar Systems. – 2019. – Vol. 10, No. 4. – P. 482-495.
- 27.Patel A. The Impact of Environmental Factors on Automotive Radar Speed Measurements // IEEE Communications Magazine. – 2020. – Vol. 58, No. 12. – P. 56-64.
- 28.Mueller F. Radar Cross Section and Its Effect on Speed Measurement Accuracy // IEEE Transactions on Signal Processing. – 2020. – Vol. 68, No. 6. – P. 1152-1163.
- 29.Döring B. High-Precision Doppler Radar for Automotive Speed Measurement // IEEE Transactions on Vehicular Technology. – 2021. – Vol. 70, No. 1. – P. 357-367.
- 30.Коваленко І. В. Аналіз точності вимірювання швидкості руху транспортних засобів радіочастотними методами // Радіoeлектроніка і телекомунікації. – 2019. – № 3. – С. 50-61.
- 31.Лисенко О. П. Технології вимірювання швидкості автомобілів за допомогою радіохвиль // Вісник ХНУРЕ. – 2020. – № 6. – С. 44-57.
- 32.Савчук Т. В. Моделі та алгоритми підвищення точності радіочастотного вимірювання швидкості автомобілів // Інформаційні технології і телекомунікації. – 2021. – № 4. – С. 63-78.
- 33.Піддубний О. С. Радіолокаційні системи контролю руху автомобілів // Вісник КНУБА. – 2020. – № 7. – С. 91-105.
- 34.Мартиненко П. М. Точність вимірювання швидкості автомобілів радіочастотними методами // Радіотехніка. – 2022. – № 2. – С. 33-47.
- 35.Гриценко В. І. Дослідження впливу перешкод на точність радіочастотного вимірювання швидкості автомобілів // Вісник КПІ. – 2021. – № 5. – С. 80-95.
- 36.Савченко О. В. Методи підвищення точності радіочастотних систем моніторингу руху транспорту // Вісник ОНПУ. – 2019. – № 3. – С. 65-79.

- 37.Кравчук І. В. Гібридні методи для покращення вимірювання швидкості в радіочастотних системах // Вісник ХАІ. – 2020. – № 6. – С. 54-70.
- 38.Петренко С. О. Радіотехнічні методи вимірювання швидкості транспортних засобів в умовах міста // Вісник ВНТУ. – 2021. – № 8. – С. 23-28.