

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет
Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Юрій КИРИЧУК

(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2023 р.

Дипломний проєкт

на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою

«Комп’ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

на тему: Автоматизована система контролю якості дорожнього покриття

Виконав: студент IV курсу, групи ПМ-91

Бейгер Олександр Геннадійович

(прізвище, ім’я, по батькові)

_____ (підпис)

Керівник професор, д.т.н., професор Черепанська І.Ю.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Консультант

_____ (назва розділу)

_____ (посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище, ініціали)

_____ (підпис)

Рецензент к.т.н., доцент Сазонов А. Ю.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

_____ (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному
проєкті немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ – 2023 року

**Пояснювальна записка
до дипломного проєкту**

на тему: «Автоматизована система контролю якості
дорожнього покриття»

Київ – 2023 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) приладобудівний факультет
(повна назва)

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю
(повна назва)

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

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

Освітньо-професійна програма
«Комп'ютерно-інтегровані технології проектування приладів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Юрій КИРИЧУК
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ ___ ” _____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Бейгеру Олександрю Геннадійовичу

1. Тема проєкту «Автоматизована система контролю якості дорожнього покриття», керівник проєкту Черепанська Ірина Юріївна, професор, д.т.н., затвержені наказом по університету від «30» квітня 2023 р. № 2057-с

2. Термін подання студентом проєкту «09» червня 2023

3. Вихідні дані до проєкту: опис існуючих методів, систем, тестів для контролю якості дорожнього покриття, ДСТУ ISO 9000-2001, ДБН В.2.3-4:2015, ДСТУ Б В.2.7-119:2011, ДБН А.3.1-5:2016.

4. Зміст пояснювальної записки: вступ, методи та засоби контролю якості дорожнього покриття, розробка структурної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, розробка функціональної схеми автоматизації контролю якості дорожнього покриття, розробка схеми електричної принципової автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, алгоритмічно-програмне забезпечення роботи автоматизованої системи контролю якості

дорожнього покриття, висновки, список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу: структурна схема автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, функціональна схема автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, електрична принципова схема автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, креслення корпусу для датчиків автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, блок-схема алгоритму автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, програмний код для мікроконтролера при обслуговуванні датчиків, презентація.

6. Дата видачі завдання «17» лютого 2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз стану сучасних рішень на ринку методів сортування плодів овочевих,	19.02.2023	
2	Розробка структурної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття	16.03.2023	
3	Розробка функціональної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття	02.04.2023	
4	Розробка електричної принципової схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття	04.05.2023	
5	Розробка алгоритмічно-програмного забезпечення роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття	29.05.2023	
6	Написання вступу	31.05.2023	
7	Формулювання висновків та напрямків подальших досліджень	03.06.2023	
8	Оформлення списку використаної літератури	05.06.2023	
9	Оформлення додатків	08.06.2023	
10	Оформлення графічного матеріалу	10.06.2023	

Студент

Олександр БЕЙГЕР

Керівник

Ірина ЧЕРЕПАНСЬКА

АНОТАЦІЯ

У дипломному проекті розглянуті існуючі методи контролю якості асфальтобетонного покриття та обґрунтовано необхідність побудови автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття. Розроблена система вимірює такі параметри як густина асфальту, його планарність та температуру суміші при укладці. Для дипломного проекту були обрані сучасні недорогі датчики, мікроконтролер, радіоелементи, що мають малу похибку і забезпечують високу точність, швидкодію та продуктивність контролю якості дорожнього покриття.

В дипломному проекті розроблено структурну схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, функціональну схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, електричну принципову схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття та монтажну схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, крім того побудовано блок-схему алгоритму роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.

Ключові слова: автоматизована система, контроль якості, асфальтобетонний, датчик температури, датчик товщини, датчик планарності, гіроскоп, акселерометр.

ANNOTATION

The diploma project examines the existing methods of asphalt concrete pavement quality control and substantiates the need to build an automated road surface quality control system. The developed system measures such parameters as asphalt density, its planarity and the temperature of the mixture during laying. For the diploma project, modern low-cost sensors, microcontrollers, radio elements, which have a small error and ensure high accuracy, speed and productivity of road surface quality control, were chosen.

In the diploma project, a structural diagram of an automated road surface quality control system, a functional diagram of an automated road surface quality control system, an electrical schematic diagram of an automated road surface quality control system, and an assembly diagram of an automated road surface quality control system were developed. In addition, a block diagram of the automated road surface quality control system was constructed. road surface quality control systems.

Keywords: automated system, quality control, asphalt concrete, temperature sensor, thickness sensor, planarity sensor, gyroscope, accelerometer.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	8
1.1. Основні етапи технічного нагляду побудови дороги з асфальтним покриття.....	8
1.2. Регламентування контролю якості державними будівельними нормами ДБН В.2.3-4:2015.....	14
1.3. Основні засоби та методи підприємств для контролю якості укладеного дорожнього покриття.....	16
1.4. Існуючі пристрої та системи, які використовуються для контролю якості дорожнього покриття.....	19
1.5. Методи які використовуються в лабораторії для оцінки фізичних та хімічних властивостей асфальтового покриття.....	26
1.6. Мета та задачі роботи.....	30
2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	31
2.1. Визначення показників якості та їх значень при автоматизованому контролю якості дорожнього покриття.....	31
2.2. Структурна схема автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	37
2.3. Опис структури автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	39

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>	<i>Бейгер О. Г.</i>				<i>Автоматизована система контролю якості дорожнього покриття. Пояснювальна записка</i>	<i>Літ</i>	<i>Аркуш</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>	<i>Черепанська І. Ю.</i>					н	2	
<i>Реценз.</i>						<i>КПІ ім. Ігоря Сікорського, ПМ-91</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								

3.	РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	40
3.1.	Схема функціональна автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	40
3.2.	Опис функціональної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	40
3.3.	Розробка специфікації функціональної схеми автоматизації контролю якості дорожнього покриття.....	42
3.4.	Розробка корпусу для кріплення датчиків автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	43
4.	РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНЦИПОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	44
4.1.	Схема електрична принципова автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття	44
4.2.	Розрахунок та вибір елементної бази схеми електричної принципової автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	44
4.2.1.	Розрахунок та вибір датчиків.....	45
4.2.2.	Розрахунок та вибір виконавчих механізмів.....	46
4.2.3.	Вибір мікроконтролера.....	47
4.2.4.	Розрахунок та вибір з'єднувальних провідників....	47
4.3.	Розробка специфікації схеми електричної принципової автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	48
5.	АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ.....	49
5.1.	Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.....	49

5.2. Розробка програмного коду для мікроконтролера при обслуговуванні датчиків.....	50
5.3. Розробка інструкції користувача та загальної техніки безпеки.....	52
ВИСНОВКИ.....	55
НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	56
ДОДАТКИ.....	59

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		4

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСКЯДП – Автоматизована система контролю якості дорожнього покриття

АЦП - Аналого-цифровий перетворювач

АРМ – Автоматизоване робоче місце

ДСТУ - Державні стандарти України

ДБН - Державні будівельні норми

НПАОП - Державні нормативні акти з охорони праці

ARAN - Automated Road Analyzer

GPS - Global Positioning System

GPR - Ground Penetrating Radar

MCV - Moisture Condition Value

ISO - International Organization for Standardization

SCRIM - Sideway-force Coefficient Routine Investigation Machine

SMS – Short Message Service

TOF - Time-of-Flight

SPDT - Single Pole, Double Throw

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

ВСТУП

У сучасному світі, дорожнє будівництво та ремонт доріг є важливим елементом розвитку інфраструктури країни, оскільки це впливає на безпеку та комфорт користувачів доріг.

Очевидно, що *актуальність* розробки автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття в Україні має високий пріоритет, через те, що з часом дорожнє покриття зазнає зносу, з'являються тріщини, ями, вибоїни та інші дефекти, які погіршують якість руху на дорозі та є однією з причин аварій на дорогах. Тому виникає потреба в регулярному контролі якості дорожнього покриття.

Наша країні має значні проблем з дорожнім покриттям, основні з яких:

- погана якість доріг. Багато доріг в Україні мають низьку якість покриття. Це означає, що дороги швидко руйнуються, утворюються ями та тріщини, що негативно впливає на комфорт та безпеку руху транспорту;

- недостатнє утримання та ремонт доріг. Україна стикається з проблемою недостатнього утримання та своєчасного ремонту доріг. Багато ділянок доріг потребують капітального ремонту, але відповідні роботи проводяться недостатньо швидко та ефективно;

- проблеми з безпекою. Деякі ділянки доріг в Україні мають недостатнє освітлення, слабо видимі дорожні знаки та розмітку, а також небезпечні перехрестя та розв'язки. Це призводить до збільшення кількості дорожньо-транспортних пригод і порушень правил дорожнього руху;

- корупція. Проблема корупції також впливає на якість дорожнього покриття в країні. Недостатня прозорість у процесі прийняття рішень щодо будівництва та ремонту доріг;

Через ці причини, в більшості населених пунктах, існуючі дороги потребують ремонту або взагалі не придатні для використання.

Основною метою розробки автоматизованої системи контролю якості

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

дорожнього покриття буде впровадження ефективного і точного інструменту для оцінки стану доріг, виявлення дефектів та забезпечення безпеки дорожнього руху. Ця система забезпечить покращення процесу виявлення та усунення проблемних ділянок дорожнього покриття, сприяння зниженню витрат на ремонт і підтримку якості дорожньої інфраструктури.

Тема дипломного проєкту - розробка автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття на основі сучасних програмних та технічних засобах автоматизації.

Для досягнення поставленої мети в дипломному проєкті вирішуються наступні завдання:

1. Аналіз сучасних методів та засобів контролю якості дорожнього покриття.
2. Розробка структурної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.
3. Розробка функціональної схеми автоматизації контролю якості дорожнього покриття.
4. Розробка електричної принципової схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.
5. Розробка алгоритмічно-програмного забезпечення роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

1. МЕТОДИ ТА ЗАСОБИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

При будівництві дороги з асфальтним покриттям, потрібно проводити контроль і спостереження за процесом будівництва, щоб забезпечити якісне виконання робіт та дотримання вимог технічних стандартів. Відповідно до ДСТУ 180 9000-2001 «Системи управління якістю. Основні положення та словник», якість - це ступінь, до якого сукупність власних характеристик задовольняє вимоги [1]. Основна мета технічного нагляду - переконатися, що дорожнє покриття буде безпечним для користування, відповідати встановленим стандартам (ДСТУ 2587:2010), не порушуватиме екологічні норми навколишнього середовища.

1.1. Основні етапи технічного нагляду побудови дороги з асфальтним покриттям

1. Перевірка проектної документації.

Перевіряючий повинен ознайомитися з проектом дороги, включаючи плани, специфікації та вимоги до матеріалів і якості робіт, надати рекомендації або зауваження до даних документів.

2. Візуальний огляд об'єкту.

Перевіряючий стежить за виконанням робіт на об'єкті, спостерігає за правильністю виконання всіх процесів, включаючи підготовку до укладки, укладання асфальтного шару, нанесення розмітки, установка знаків, тощо. Він має переконатися, що всі етапи виконуються належним чином, перевірити послідовність та правильність укладання кожного шару (рис. 1.1).

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8



Рисунок 1.1. Шарування дорожнього покриття [3]

3. Контроль якості матеріалів.

Перевіряючий повинен перевірити якість використовуваних матеріалів, таких як пісок, підкладка, бітум, щебінь, відсів і т. д. Він має право взяти проби матеріалів для лабораторного аналізу з метою перевірки їх відповідності вимогам.

Вимоги щодо матеріалів які використовуються при будівництві асфальтованого покриття

3.1. Вимоги до бітумного в'язучого згідно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [2].

Наступні:

1) Для виробництва гарячої асфальтобетонної суміші необхідно використовувати бітумні в'язучі: нафтові дорожні в'язкі бітуми марок БНД 40/60; БНД 60/90; БНД 90/130 згідно з ДСТУ 4044 або бітуми нафтові згідно з чинними нормативними документами [2].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

2) Для виробництва холодної суміші необхідно використовувати рідкі нафтові бітуми марок СГ 70/130, СГ 130/200, МГ 70/130, МГ 130/200, МГО 70/130, МГО 130/200 за ГОСТ 11955 та БСГР 40/70, БСГР 70/130, БСГР 130/200; БПГР 40/70, БПГР 70/130, БПГР 130/200; БПГЗ 40/70, БПГЗ 70/130, БПГЗ 130/200 [2].

3.2. Вимоги до крупного заповнювача (щебеню) згідно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [2].

Наступні:

1) Для приготування суміші необхідно використовувати щебінь із природного каменю, що отримують дробленням гірських порід (ДСТУ Б В.2.7-75), щебінь із гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів (ДСТУ Б В.2.7-34), щебінь із металургійних шлаків (ДСТУ Б В.2.7-149) [2].

2) Для приготування суміші необхідно використовувати щебінь таких фракцій: від 5 (3) мм до 10 мм, від 10 мм до 15 мм, від 10 мм до 20 мм, від 15 мм до 20 мм, від 20 мм до 40 мм [2].

3) Вміст зерен пластинчастої (лещадної) та голчастої форми у щебені не повинен перевищувати для сумішей марки І: типу А1, А - 15 %, Б1, Б - 20 %, В - 30 % за масою; для сумішей марки ІІ: типу А1, А - 17 %, Б - 25 %, В - 35 % за масою [2].

3.3 Вимоги до дрібних заповнювачів (піску) згідно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [2].

Для виробництва суміші необхідно використовувати щільні природні та (або) штучні дроблені піски, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-32 та (або) ДСТУ Б В.2.7-76, ДСТУ Б В.2.7-210 (крім вимог до вмісту фракцій менше ніж 0,071 [2].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

3.4. Вимоги до мінерального порошку згідно ДСТУ А.3.1-5:2016 [6].

1) Мінеральний порошок із гірських порід, який використовують для виробництва суміші, а також для її покращення, повинен відповідати вимогам ДСТУ А.3.1-5:2016 [6].

2) Як мінеральний порошок допускається використовувати для асфальтобетонної суміші марки П молоті основні металургійні шлаки і (або) цемент низької активності (марки не вище 300) згідно з ДСТУ Б В.2.7-46 за відповідності вимогам ДСТУ А.3.1-5:2016 [6].

4. Вимірювання товщини шару виконується наступним чином

Перевіряючий використовує спеціальне обладнання, наприклад, непроникний геометр (рис. 1.2) або радарний зонд (рис. 1.3), для вимірювання товщини асфальтного покриття [4].



Рисунок 1.2. Геометр [5].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11



Рисунок 1.3. Радарний зонд [5].

5. Контроль рівня та компактності.

Перевіряючий контролює, щоб асфальтний шар розміщувався в одній площині. Він використовує спеціальні інструменти, наприклад, вібраційний каток або плиту (рис. 1.4), для забезпечення належної компактності шару [7].

Рисунок 1.4. Віброплита [8].



					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		12

6. Перевірка якості поверхні.

Перевіряючий оцінює якість поверхні асфальтного покриття, відсутність тріщин, просідань, вм'ятин, наявних дефектів.

Здійснюється шляхом візуального огляду всього відрізка дорожнього покриття та проводяться додаткові діагностичні тести, які допоможуть виявити потенційні проблеми[10].

7. Управління забезпеченням якості.

Перевіряючий здійснює контролювання процесів забезпечення якості, такі як маркування матеріалів, ведення журналів робіт, складання актів прийому-передачі, виконаних робіт перевірки. Також в його обов'язки входить систематичне проведення іспитів та оцінки якості дорожнього покриття через різні відрізки часу після укладання дороги.

8. Верифікація.

Відповідно до стандарту ISO 9000, верифікація процесів проводиться практично завжди і виконується методом перевірки (звірення) характеристик наданих послуг заданим вимогам. Результатом є висновок про відповідність (або невідповідність) наданих послуг встановленим вимогам. Верифікація повинна здійснюватися відповідно до раніше запланованих заходів, щоб переконатися в тому, що вихідні дані відповідають вхідним вимогам [20].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

1.2. Регламентування контролю якості державними будівельними нормами ДБН В.2.3-4:2015

При входному контролі до початку робіт із спорудження земляного полотна необхідно перевірити відповідність національним стандартам проектних та натурних показників виду ґрунтів (зернового складу, пластичності) за ДБН В.2.1-10-2018 та їх стану (вологість, щільність) в кар'єрах, резервах, виїмках, природних основах насипів та транспортних споруд [9].

Також необхідно перевіряти склад та об'єм геодезичної розбивочної основи згідно з вимогами ДБН В.1.3-2, закріплення ґрунтових кар'єрів та резервів на місцевості [9].

При роботі на крутосхилах крутизною понад 1:3, а також на слабких ґрунтах необхідно постійно (в період будівництва) перевіряти відсутність осідань та зсувів земляного полотна нівелюванням [9].

При розширенні земляного полотна додатково контролюють глибину розпушування поверхні укосів (не менше ніж 0,3 м) або параметри уступів [9].

Операційний контроль якості спорудження земляного полотна передбачає перевірку [9]:

- правильності розміщення осьової лінії поверхні земляного полотна в плані та висотних відміток [9];
- товщини родючого шару ґрунту, що зрізається [9];
- щільності ґрунту в основі земляного полотна [9];
- вологості ґрунту, який використовується для спорудження земляного полотна [9];
- товщини шарів ґрунту, що відсипається в тіло насипу [9];
- однорідності ґрунту в шарах насипу [9];
- щільності ґрунту в шарах насипу [9];

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

- рівності поверхні земляного полотна (у тому числі пошарово при влаштуванні земляного полотна) [9];
- поперечного профілю земляного полотна (відстань між віссю та брівкою, поперечний похил, крутизна укосів) [9];
- відповідності влаштування траншей [9];
- відповідності проекту підготовленої основи гід труби [9];
- відповідності проекту матеріалів фільтруючих шарів [9].

При операційному контролі якості земляних робіт, що виконуються у зимових умовах, додатково контролюють наявність мерзлих грудок якості очищення поверхні від снігу та криги [9].

При операційному контролі якості спорудження земляного полотна на болотах додатково контролюють повноту виторфовування, величину осідання, геометричні розміри вертикальних піщаних дрен та коефіцієнт фільтрації піску, що застосовується [9].

При операційному контролі якості спорудження земляного полотна із великоуламкових ґрунтів додатково необхідно контролювати кількість вологості дрібнозему [9].

Перевірку правильності розміщення осьової лінії земляного полотна, висотних відміток, параметрів поперечного профілю земляного полотна, узбіч та товщини шарів необхідно виконувати за допомогою геодезичних інструментів та шаблонів [9].

Щільність та вологість ґрунту необхідно визначати згідно з національними стандартами. При операційному контролі для однорідних ґрунтів дозволяється використовувати прискорений та

польовий експрес-методи, але не більше ніж 90 %. При прийнятному та інспекційному контролі використання експрес-методів не дозволяється [9].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		15

1.3. Основні засоби та методи підприємств для контролю якості укладеного дорожнього покриття

Отримання зразків-вирубок (рис. 1.5) з асфальту для досліджень та аналізу виконується за допомогою спеціального обладнання та процедур, які можуть варіюватись залежно від конкретних потреб дослідження. Найчастіше для взяття такого зразку використовують бензиновий керновідбірник (рис. 1.6.).

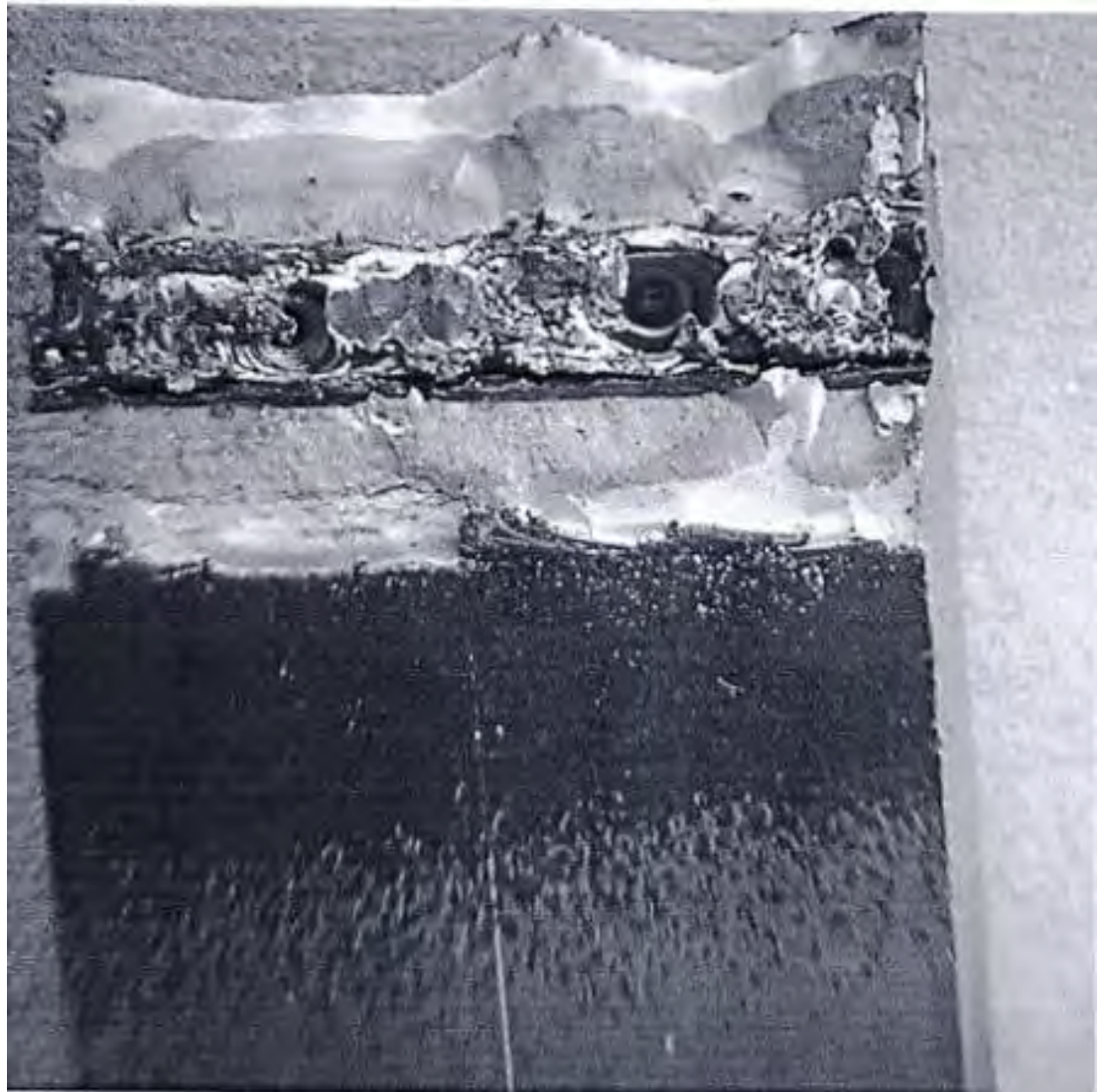


Рисунок 1.5. Зразок-вирубка

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16



Рисунок 1.6. Бензиновий керновідбірник

Алгоритм взяття зразка-вирубки:

1. Підготовка місця.

Перед отриманням зразків слід підготувати місце, звідки будуть братись вирубки, тобто потрібно провести очищення поверхні асфальту від бруду, пилу та інших домішок.

2. Вибір локальних точок.

Визначення місця на асфальтовому покритті, з яких буде взято зразки. Зазвичай це місця, які представляють інтерес або вимагають аналізу, наприклад, ділянки з видимими пошкодженнями, тріщинами або вибоїнами.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

3. Вирубка зразків.

Для отримання зразків-вирубок використовують спеціальні інструменти, такі як вирубний бордюрний ніж, кругла або прямокутна вирубка. Ці інструменти дозволяють вирізати невеликі шматочки асфальту з потрібного місця.

Важливо дотримуватись правильних технік вирубки, щоб забезпечити належну якість зразків і уникнути пошкоджень.

4. Збір зразків.

Після вирубки зразків їх збирають і поміщають в пластикові контейнери або пакети, які забезпечують герметичне упакування. Це дозволяє зберегти зразки від забруднення та зберігати їх у стані, який не зазнає змін протягом транспортування до використання в лабораторії.

5. Маркування зразків.

Кожен зразок повинен бути чітко позначений, щоб відрізнити його від інших. Маркування може включати ідентифікатори, які вказують на місце взяття зразка, дату та будь-яку іншу важливу інформацію.

6. Транспортування.

Зразки-вирубки треба перевезти в лабораторію для подальшого дослідження і аналізу. Під час транспортування важливо забезпечити, щоб зразки не пошкодилися або не змінили своїх властивостей. Для цього їх можна упакувати у відповідні контейнери, а також інколи застосовувати методи пакування, наприклад, використовуючи піни або інші амортизуючі матеріали.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

7. Дослідження і аналіз.

Після доставки зразків у лабораторію проводять різноманітні дослідження та аналіз, щоб оцінити їх фізичні та хімічні властивості. Це можуть бути такі процедури, як вимірювання густини, випробування на стійкість до навантажень, аналіз складу, визначення рівня зносу тощо.

Отримані дані та результати аналізу зразків-вирубків з асфальту допомагають оцінити якість асфальтового покриття, виявити потенційні проблеми або пошкодження, дослідити причини їх виникнення та розробити ефективні методи ремонту або покращення дорожнього покриття.

1.4. Існуючі пристрої та системи, які використовуються для контролю якості дорожнього покриття

Станом на 2023 рік існує достатня кількість різних пристроїв та систем для контролю якості дорожнього покриття. Одним із широко розповсюджених пристроїв є Automated Road Analyzer (ARAN).

Automated Road Analyzer - це спеціалізований транспортний засіб, розроблений для вимірювання різних параметрів дорожнього покриття. Основним завданням ARAN є автоматизоване збирання і аналіз даних, пов'язаних з якістю і станом доріг [14].

Характеристики ARAN.

ARAN обладнаний різноманітними датчиками для вимірювання параметрів дорожнього покриття, включаючи профіль, текстуру, тріщини, розміри вибоїн і багато іншого, ця машина також має систему географічного позиціонування (GPS), яка дозволяє точно визначати місцезнаходження дефектів на дорозі, а також ARAN може працювати з високою швидкістю, що дозволяє збирати дані про дорожнє покриття на великій відстані за короткий період часу.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Детальніше про функції які виконує даний автомобіль :

- Вимірювання профілю - ARAN сканує поверхню дороги, вимірюючи висоту, глибину тріщин і розміри вибоїн, а також серйозність пошкодження;
- Визначення текстури - машина аналізує текстуру дорожнього покриття, що дозволяє виявляти покриття з низьким опором руху або незадовільну структуру покриття.
- Збір і аналіз даних -: ARAN автоматично збирає дані і зберігає їх для подальшого аналізу та обробки.

Окремо потрібно виділити плюси цього автомобілю для контролю якості дорожнього покриття. Саме головне - автоматизований процес, ARAN використовує автоматизований підхід для збору даних, що дозволяє ефективно і швидко оцінити якість дорожнього покриття. Висока точність, що допомагає виявити навіть найменші дефекти дороги. З цього випливає збереження часу і ресурсів, використання ARAN дозволяє економити час і зусилля, оскільки всі системи не потрібно носити людині, через те що вони вже вмонтовані в автомобіль, також це надає можливість за однаковий період часу проаналізувати більший відрізок об'єкту.

Проте така модель контролю має основним мінуси. Основним недоліком ARAN є його висока вартість. Це вимагає значних інвестицій для придбання та підтримки цього пристрою. крім того ARAN вимагає спеціально підготовленого транспортного засобу для його ефективного використання, що також збільшує витрати на придбання автомобілю і його ремонту. Іншим недоліком ARAN є необхідність спеціалізованих навчань і кваліфікації персоналу для його ефективного використання.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Оскільки пристрій працює з великим обсягом даних, необхідно мати досвід і знання для правильного аналізу та інтерпретації отриманих результатів.

Крім того, ARAN може бути обмежений в деяких типах доріг або умовах. Наприклад, на дуже вузьких або перешкоджених вулицях, його ефективність зменшується через обмежену маневреність.

Щодо ціни ARAN, вартість може суттєво варіюватися в залежності від виробника, конфігурації та додаткових функцій. Ціни на таку систему можуть починатися від кількох сотень тисяч до мільйонів доларів.

На рис. 1.7. показано комплектацію системи із штатним автомобілем.



Рисунок 1.7. ARAN з використанням автомобіля

Щоб краще зрозуміти що являє собою ця система, розглянуто будову Automated Road Analyzer. Вона включає такі основні компоненти:

Транспортний засіб - ARAN встановлюється на спеціально призначений транспортний засіб, який може бути вантажівкою, автобусом або іншим рухомим засобом, також транспортний засіб повинен бути обладнаний системою географічного позиціонування (GPS) для точного визначення місцезнаходження дефектів на дорозі.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

Датчики – система використовує лазерні датчики або акустичні сенсори для точного вимірювання вертикального профілю дороги, вони зчитують висоту дорожнього покриття на різних точках і дозволяють отримати 3D-модель профілю дороги, а також параметри, такі як глибина профілю і шорсткість поверхні.

Відеокамери для виявлення дефектів - можуть бути додані до комплектації для виявлення тріщин, вибоїн та інших дефектів на дорожньому покритті. Ці камери записують відео з метою подальшого аналізу та оцінки стану дороги.

Власна серверна частина - включає в себе комп'ютерну систему, яка обробляє зібрані дані, виконує аналіз і зберігає результати. Ця система також забезпечує взаємодію з оператором та відображає поточні дані та графіки. Побудована на базі операційної системи Windows.

ARAN використовується регулярно у сучасному світі для контролю якості дорожнього покриття на різних етапах життєвого циклу дороги. Система використовується під час будівництва нових доріг для перевірки відповідності специфікаціям та якості виконання. Також ARAN використовується для регулярного моніторингу і оцінки стану існуючих доріг, що вимагають ремонту або обслуговування. Використовується дорожніми організаціями, підрядними компаніями, науковими установами та іншими організаціями, які займаються контролем якості дорожнього покриття.

Іншим варіантом системи контролю якості дорожнього покриття є Ground Penetrating Radar (GPR).

Ground Penetrating Radar є неінвазивною технологією, яка використовує електромагнітні хвилі для вимірювання товщини шарів дорожнього покриття та виявлення дефектів.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Дана система працює з радіочастотами в діапазоні від 10 до 3000 МГц. Вибір конкретної частоти залежить від потреб конкретного дослідження. Глибина, на яку можуть проникнути частоти GPR, залежить від різних факторів, таких як, властивості укладеного дорожнього покриття, розмір антени і вибір частоти. Зазвичай, GPR здатний виявити дефекти на глибину до 0,3-6 метрів. Також система може забезпечити високу роздільну здатність, що дозволяє розрізняти малі дефекти та структури на дорожньому покритті.

Основні відомості щодо будови GPR:

Антенa - GPR має антену, яка генерує електромагнітні хвилі і приймає їх від відображених об'єктів. Антенa може бути виготовлена в різних формах, включаючи планарні або конічні антени, а також різні частоти, що визначає їх роздільну здатність і глибину проникнення.

Блок керування та обробки сигналу – складається з електронного блоку керування та обробки сигналу, який генерує, передає та обробляє радіосигнали, отримані від антени. Він здатен генерувати короткочасні електромагнітні імпульси, а також приймати та підсилювати слабкі сигнали, що повертаються від об'єктів під поверхнею. Цей блок також відповідає за аналіз та візуалізацію даних.

Датчики - GPR використовує різні типи датчиків для реєстрації електромагнітних сигналів. Це високочастотні приймачі, які знаходяться на задній антені, або спеціалізовані сенсори, які вимірюють додаткові параметри, такі як глибина, імпеданс, втрати сигналу тощо.

Контрольно-вимірювальні пристрої - вони дозволяють перевірити точність вимірювань, налаштувати параметри системи та забезпечити якісну роботу GPR.

Які ж функції виконує дана система? По-перше - вимірювання товщини шарів. GPR дозволяє точно виміряти товщину дорожнього покриття, виявляючи роздільні границі між шарами матеріалу.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Виявлення дефектів - дозволяє виявляти дефекти на дорожньому покритті, такі як вибоїни, тріщини, пустоти, некомпактність тощо. Визначення структури асфальтобетонної суміші - GPR може допомогти визначити структуру дорожнього покриття, виявляючи роздільні границі між різними шарами [15].

Основні переваги системи:

GPR є неінвазивною технологією, що дозволяє виміряти параметри покриття без пошкодження дороги. Також система має високу роздільну здатність, що дозволяє виявити навіть малі дефекти та порушення структури. Ще однією перевагою GPR, є різноманітність застосування, система може використовуватися для контролю доріг, аеропортів, залізниць та інших типів інфраструктури.

Основні недоліки GPR:

Залежність від умов.

Результати GPR можуть бути некоректними або неточними через властивості дорожнього покриття, через наявність вологи або металевих предметів, що можуть перекривати сигнали.

Обмежена глибина проникнення.

Глибина, до якої може діяти GPR, обмежена і залежить від різних факторів, так як доступна частота чи параметри шарів дорожнього покриття.

Потреба у спеціалісті.

Використання GPR вимагає спеціальних знань та кваліфікації оператора для правильного аналізу та інтерпретації отриманих даних.

Ціна.

Ціна GPR може варіюватися в залежності від виробника, моделі та додаткових опцій, але зазвичай вартість GPR системи становить від декількох тисяч до десятків тисяч доларів.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

На рис. 1.8. показано застосування системи на асфальтованому покритті.



Рисунок 1.8. Застосування GPR спеціалістом на об'єкті

Систему GPR використовують у багатьох галузях, включаючи дорожньо-будівельні роботи, геологічні та геотехнічні дослідження, інженерні тести мостових та тунельних споруд.

Розглянувши сучасні системи для контролю якості дорожнього покриття, можна зробити висновок, що на даний момент недорогого, мобільного та вітчизняного варіанту ще не існує, тому мета цього дипломного проєкту полягає в розробці такої системи, яка зможе вирішити проблеми описані вище та забезпечить автоматизований контроль за зруйнованими та тільки побудованими дорогами в Україні.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25

1.5. Методи які використовуються в лабораторії для оцінки фізичних та хімічних властивостей асфальтового покриття

В спеціальних лабораторіях проводять комплексні випробування зразків, які допомагають оцінити фізичні та хімічні властивості укладеного асфальтованого покриття. Для цього використовують:

Тест на проникнення бітуму:

Його основний принцип полягає у визначенні глибини, на яку проникає голка як зразок асфальту за певних умов навантаження, часу та температури [8].

Тест проводиться за таких умов:

Навантаження = 100 г

Температура = 25°C

Час = 5 сек

Глибина проникнення вимірюється в одиницях 0,1 мм і повідомляється в одиницях проникнення (наприклад, якщо голка проникає на 8 мм, число проникнення асфальту дорівнює 80). Оцінка проникнення базується на тесті на проникнення [8].

Випробування точки розм'якшення бітуму:

Точка розм'якшення визначається як температура, при якій зразок бітуму більше не може витримувати вагу сталевий кульки вагою 3,5 г. Використовується апарат Ball & Ring. Вода використовується для бітуму з температурою розм'якшення 80°C і нижче. Температура підвищується зі швидкістю 5°C за хвилину [8].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

В'язкість бітуму:

Напруження зсуву прикладається до бітумної плівки, затиснутої між 2 плоскими пластинами і вимірюється швидкість деформації. В'язкість у паскалях-секундах визначається як напруга зсуву, поділена на швидкість деформації [8].

Перевірка показника стану вологи (MCV):

Існує залежність між зусиллям на ущільнення, вмістом вологи та щільністю. Випробування MCV включає випробування ґрунту при фіксованому вмісті вологи та шляхом збільшення кількості ударів трамбівки, визначення зусилля ущільнення, за якого подальше збільшення щільності не відбувається. Як загальний орієнтир рекомендовано MCV 8,5 як нижню межу прийнятності ґрунту для ущільнення при його природному вмісті вологи, очікувані труднощі при земляних роботах, коли MCV падає значно нижче цього значення [8].

Тест індексу лущення:

Це випробування виключає заповнювачі, непридатні для бітумного розпилення та ущільнення сколів [8].

Індекс лускатості — це відсоток маси частинок, найменший розмір яких становить менше трьох п'ятих середнього розміру. Максимальний індекс лущення становить 25%. Він не повинен перевищувати 35%. Для цього використовуються оптичні методи, наприклад, мікроскопія або фотографування, для детального вивчення дефектів [8].

Тест на сульфатну міцність:

Цей тест призначений для перевірки стійкості до дезінтеграції після занурення в 20% розчин сульфату натрію. Цей тест використовується для оцінки сприйнятливості до погодних умов [8].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Відсоткова щільність відмови:

Це вимір відносного ступеня ущільнення піддослідного зразка порівняно з подібним зразком укладеного дорожнього покриття, ущільненим до відмови (навіть якщо в зразку залишаться пустоти) в лабораторних умовах, що допомагає оцінити щільність асфальтової суміші. Використовуються спеціальні прилади, наприклад, пікнометри або градуювальні циліндри.

Тест на стійкість до ковзання готового покриття дороги за допомогою системи SCRM:

Він працює шляхом перетягування колеса під кутом до напрямку руху. Хоча колесо вільно обертається, кутова різниця призводить до бокової сили, яка вимірюється та дає коефіцієнт тертя. Випробування проводять на мокрій дорозі, оскільки наявність води забезпечує мінімальний опір ковзанню [8].

Аналіз складу:

Цей аналіз дозволяє визначити хімічний склад асфальтової суміші, зокрема вміст бітуму, агрегатів та домішок. Використовуються різні методи, такі як газова хроматографія або спектроскопія, для ідентифікації та кількісного визначення компонентів.

Випробування на стійкість до води:

Застосовують випробувальний барабан з насосною системою для симуляції дощових умов або випробувальну камеру щоб визначити водонепроникність асфальтового покриття.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Тест на достатню товщину:

Використовуються спеціальні прилади, такі як ультразвукові дефектоскопи, які можуть непрямо вимірювати товщину шару асфальту, не пошкоджуючи його. Випробувальний зразок ущільнюється стандартизованим способом у сталевий циліндр, оснащений плунжером, що вільно рухається. Потім зразок піддається навантаженню, що прикладається через плунжер. Ця дія подрібнює заповнювач до ступеня, який залежить від опору матеріалу роздавлюванню. Ступінь подрібнення оцінюють просіюванням подрібненого зразка. Процедура повторюється з різними навантаженнями, щоб визначити максимальну силу, яка створює даний ситовий аналіз[8].

Екологічний тест:

Зразок може бути підданий тестуванню на вміст шкідливих речовин за допомогою хімічних аналізаторів для визначення концентрації шкідливих речовин, таких як важкі метали, нафтопродукти чи інші забруднюючі речовини, які не входять до переліку визначеними нормами (ДСТУ 2587:2010). Це допомагає визначити вплив дорожнього покриття на навколишнє середовище.

За допомогою вище наведених тестів, перевіряючий та лабораторна команда аналізує стан укладеного дорожнього покриття, виявляє можливі проблеми та за потреби вживає відповідні заходи для його покращення та підтримки.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

1.6. Мета та задачі роботи

Основною метою розробки автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття буде впровадження ефективного і точного інструменту для оцінки стану доріг, виявлення дефектів та забезпечення безпеки дорожнього руху. Ця система забезпечить покращення процесу виявлення та усунення проблемних ділянок дорожнього покриття, сприяння зниженню витрат на ремонт і підтримку якості дорожньої інфраструктури.

Мета дипломного проєкту - розробка автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття на основі сучасних програмних та технічних засобах автоматизації.

Для досягнення поставленої мети в дипломному проєкті вирішуються наступні завдання:

1. Аналіз сучасних методів та засобів контролю якості дорожнього покриття.
2. Розробка структурної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.
3. Розробка функціональної схеми автоматизації контролю якості дорожнього покриття.
4. Розробка електричної принципової схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.
5. Розробка алгоритмічно-програмного забезпечення роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

2. РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

Розробка автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття і її практичне застосування в майбутньому дозволить знизити витрати на ремонт та підтримку дорожнього покриття, забезпечить більш точну та швидку оцінку його та дозволить зменшити залежність від людського фактору, що може виникнути при ручному контролі. Маючи потенціал для використання в реальних умовах розробка зможе стати важливим інструментом для дорожніх організацій та підприємств у плануванні та проведенні ремонтів доріг.

2.1. Визначення показників якості та їх значень при автоматизованому контролю якості дорожнього покриття

При розробці автоматизованої системи контролю якості важливо вибрати лише декілька ключових значень показників параметрів, які критично впливають на якість дорожнього покриття. В розроблюваній системі буде обрано три ключові параметри: товщина асфальту, його температура та планарність.

Щоб отримати ці дані, потрібно виконати аналіз, а саме отримати показники необхідних значень. У разі виявлення відхилень значень показників в будь-якому із вказаних трьох ключових параметрів буде показано попередження відповідальним особам.

Попереджувальні повідомлення пропонується надсилати через SMS (служба коротких повідомлень). В розроблюваній автоматизованій системі контролю якості, пропонується класифікувати ці повідомлення за трьома різними рівнями важливості. Наприклад, *попередження високого рівня*

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

(вищий рівень важливості), *попередження середнього рівня* та *попередження низького рівня*.

Попередження високого рівня мають найвищий рівень важливості, вони надсилаються на адміністративний та/або стратегічний рівні управління процесом виконання дорожньо-будівельних робіт.

Попередження середнього рівня, які мають нижчий рівень важливості, передаються на тактичний рівень управління. Попередження низького рівня передаються на виконавчий рівень для оперативного прийняття рішень у короткотривалому інтервалі часу для забезпечення заданих показників якості на місті.

Правила попередження можуть бути різними для різних проектів. У табл. 2.1 представлена ієрархія рівнів вказаних попереджень, які будуть використовуватись. Готова система контролю якості буде постійно перевірити дані кожної наступної ділянки і формувати вибірку з 10 зразків. Після сформованої вибірки, система визначить рівень попередження за рівнями важливості.

Таблиця 2.1.

Правила сповіщення про якість дорожньо-будівельних робіт

Вид показника	Умова запуску	Рівень важливості
Товщина	Отримане значення менше або більше за встановлені норми на 1-2 мм	Низький
	Отримане значення менше або більше за встановлені норми на 3-5 мм	Середній
	Отримане значення менше або більше за встановлені норми на 6 мм і більше	Високий

Планарність	Отримане значення ≤ 1 мм на 3 м площини по горизонталі або вертикалі	Низький
	Отримане значення ≤ 2 мм на 3 м площини по горизонталі або 3 мм на 3 м площини по вертикалі	Середній
	Отримане значення ≥ 3 мм на 3 м площини по горизонталі або 5 мм на 3 м площини по вертикалі	Високий
Температура суміші в допустимих відсотках від норми	$85\% \leq \% \text{ проходження} < 95\%$	Низький
	$50\% \leq \% \text{ проходження} < 85\%$ або будь-яка окрема партія перевищує температурний ліміт браку	Середній
	$\% \text{ проходження} < 50\%$ або принаймні 3 партії перевищують температурний ліміт браку	Високий

Визначення параметра товщини укладеного асфальту є критичним у системі контролю якості асфальтованого покриття. Товщина асфальтового шару впливає на його міцність, стійкість та тривалість служби[12]. Основні причини, чому визначення цього параметра є важливим:

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

Міцність та стійкість.

Товщина асфальту є показником його міцності та стійкості. Правильно ущільнений асфальт забезпечує високу міцність покриття, що здатне витримати навантаження транспортних засобів, погодні умови та інші впливи. Недостатня товщина може призвести до швидкого зносу та деформації покриття.

Довговічність.

Товщина асфальту також впливає на тривалість його служби. При дотриманні необхідної товщини, асфальт має кращу стійкість до води, втрати маси та зносу. Це дозволяє продовжити термін служби покриття та знизити необхідність у ремонті та поновленні.

Визначення витрат матеріалів.

Знання точної товщини асфальтного шару дозволяє розрахувати необхідну кількість матеріалів, таких як асфальт, бітум і заповнювачі. Це допомагає уникнути перевитрати або недостатньої кількості матеріалів, що може вплинути на якість і тривалість експлуатації дорожнього покриття.

Безпека на дорозі.

Нерівності асфальтного покриття можуть створювати небезпеку для водіїв та пішоходів. Визначення товщини дозволяє виявити нерівності і усунути їх, щоб забезпечити безпеку руху. Крім того, правильна товщина шару впливає на рівномірність дорожнього покриття, зменшуючи ризик виникнення ям і тріщин.

Також необхідно визначити параметр планарності, так як він є одним з важливих факторів, які визначають якість асфальтованого покриття. Він відображає рівномірність поверхні дороги і вказує на те, наскільки плоскою є дорожнє покриття на всій його ширині[11].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Нижче наведено причини, чому потрібно визначати даний показник:

Безпека.

Нерівності та нерівномірності на поверхні дороги можуть призводити до виникнення аварій та нещасних випадків. Погана планарність може створювати шорсткість, нерівності та вибоїни, які можуть бути небезпечними для транспортних засобів та пішоходів.

Комфорт.

Гладка та рівна поверхня дороги забезпечує комфортну їзду для водіїв та пасажирів, добре проведена планарність зменшує силу поштовхів, вібрацій та незручностей під час руху транспорту по дорозі.

Економічність.

Дорога з правильною планарністю зменшує знос та пошкодження транспортних засобів. Нерівності на дорозі можуть призводити до пошкоджень автомобільної підвіски, шин та інших деталей автомобілів. Це може призвести до збільшення витрат на ремонт та заміну деталей.

Транспортна продуктивність та екологічність.

Рівна поверхня дороги дозволяє автомобілям рухатися з вищою швидкістю та зменшує затримки на дорозі, що забезпечить менші викиди вихлопних газів в атмосферу.

Дренаж та стік води.

Правильно визначена планарність допомагає забезпечити ефективний дренаж води з дорожньої поверхні. Це призведе до зменшення утворень калюж та швидшого висихання дорожнього покриття, що може зменшити небезпеку для водіїв та пішоходів.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Окрім планарності важливо визначати температуру асфальтобетонної суміші при укладанні дорожнього покриття. Температура гарячого асфальту впливає на його властивості, робочий час та якість укладання[13]. Проблеми які вирішує цей параметр:

В'язкість асфальту.

Температура впливає на в'язкість асфальту. Гарячий асфальт має нижчу в'язкість, що дозволяє йому легше розплавлятися та рівномірно розподілятися на поверхні. Правильна температура забезпечує належну текучість асфальту, що дозволяє йому заповнити всі порожнечі та нерівності на поверхні дороги.

Зчеплення з базовим шаром.

Правильна температура асфальту забезпечує належне зчеплення з базовим шаром. Якщо температура асфальту занадто низька, він може не прилипати належним чином до базового шару, що може призвести до відшарування та погіршення якості покриття.

Компактність.

Температура також впливає на компактність укладеного асфальту. Гарячий асфальт легше стиснути й забезпечити належну густину матеріалу. Якщо ж температура буде заниженою, це зможе призвести до утворення порожнеч, розшарування та зменшення міцності асфальтового покриття.

Вартість та ефективність.

Неправильна температура асфальту може призвести до витрати матеріалу та збільшення витрат робочої сили, а контролюючи показник температури, ці проблеми буде вирішено.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
						36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Температура суміші та швидкість асфальтоукладальника, а також умови навколишнього середовища, такі як температура повітря, швидкість вітру та інші параметри, пов'язані з погодою, є важливими факторами, що впливають на процес укладання.

Таким чином, у цій системі контролю якості дорожнього покриття (АСКЯДП) показники укладання розраховуються окремої одним від одного, після чого порівнюють отримані значення з допустимими та оцінюють якість укладки.

Визначаючи ці параметри, присутня похибка $\pm 5\%$, тому що у реальному будівельному середовищі неможливо встановити калібрування з різними комбінаціями, необхідними для включення різних типів роликів і контрольних пристроїв, а також з постійно мінливими температурами ущільнення[18]. Для цього запропонована АСКЯДП, може забезпечити таку можливість.

2.2. Структурна схема автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Структурна схема АСКЯДП наведена на рис. 2.1:

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

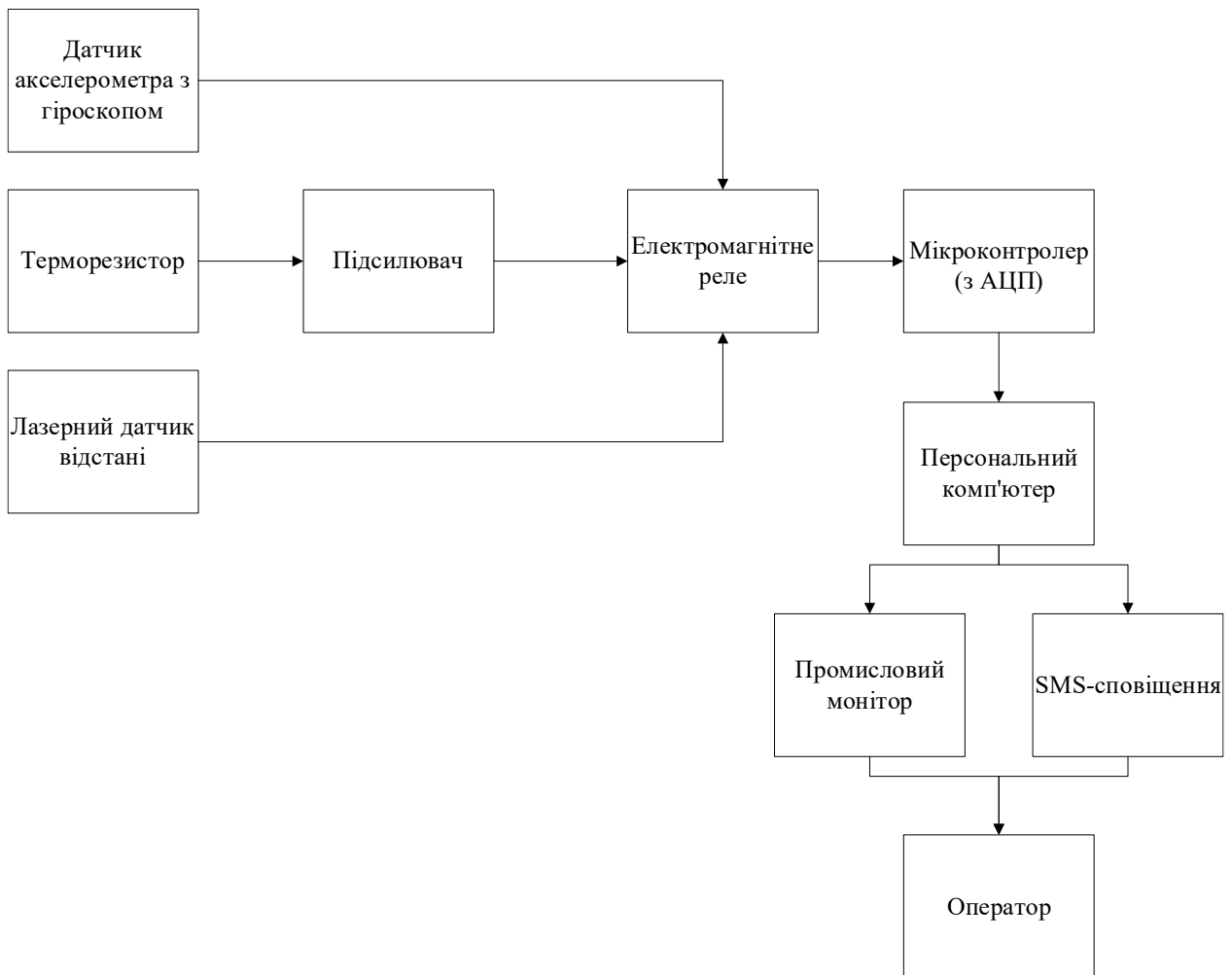


Рисунок 2.1. Структурна схема АСКЯДП.

Виходячи з технічного завдання структурна схема повинна включати датчики для вимірювання таких параметрів, як товщина асфальту, температуру суміші перед укладанням та планарність. В системі присутнє електромагнітне реле для управління сигналами датчиків. Також в системі має бути контролер, який являється центральним модулем, завдання якого сприймати та обробляти за відповідним алгоритмом вхідні дані, персональний комп'ютер, який використовується для відображення результатів для перевіряючого, промисловий монітор для виводу інформацію про дослідження.

2.3. Опис структури автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

АСКЯДП має трирівневу структуру:

- Рівень збору даних, це базовий рівень, який відповідає за збір даних з наявних датчиків.

- Рівень обробки перетворення даних, відповідає за отримання сигналів від датчиків та перетворення їх в інформацію для контролера.

- Рівень аналізу даних, це основний компонент, утворений центральною логічною програмою. Основним завданням цього рівня є обчислення отриманих даних та перетворення їх на доступну для людини інформацію.

Пропонована система має гнучку структуру що дозволяє її використання в інших умовах та на інших об'єктах.

В якості апаратного забезпечення для моніторингу виробництва можуть використовуватись : пристрої із нормованими характеристиками, нормувальні перетворювачі, вимірювальні пристрої, мікроконтролери та персональний комп'ютери для організації автоматизованого робочого місця (АРМ). Це дозволяє здійснити декомпозицію всієї системи та подати її у вигляді окремих, проте функціонально взаємопов'язаних модулів. При цьому, необхідно відзначити, що розташування елементів на схемі не обов'язково відповідає реальному.

Так, модулі рознесені по відповідних рівнях можуть бути як розподілені у просторі, так і бути розташованими у загальних фізичних блоках (наприклад, в пультах та щитах керування).

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

3. РОЗРОБКА ФУНКЦІОНАЛЬНОЇ СХЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

3.1. Схема функціональна автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Функціональна схема є важливою складовою документації проекту. Вона забезпечує зрозумілу та систематизовану інформацію про функції та структуру автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття. Функціональна схема АСКЯДП зображена в додатку В.

3.2. Опис функціональної схеми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Установлення датчиків.

Датчик температури ТІ 1-1, товщини GІ 1-2 та планарності LІ 2-1 кріпляться на асфальтоукладач, що дозволяє безпосередньо вимірювати параметри якості під час укладання асфальту.

Підсилення сигналу.

Дані, зібрані датчиками, передаються до мікроконтролера, але отримана напруга від датчику температури ТІ 1-1, може мати низьку показник, тому в схемі присутній підсилювач УЕ 3-1, який вирішує цю проблему.

Обробка даних.

Мікроконтролер запрограмований на обробку та обчислення отриманих даних з датчиків. За допомогою вбудованого АЦП, він перетворює отримані дані датчика планарності LІ 2-1 з аналогового на

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

цифровий сигнал та аналізує вимірні параметри.

Передача на комп'ютер.

Оброблені дані у вигляді напруги передаються на *персональний комп'ютер 1*, через який забезпечується вивід на спеціальний екран отриманого звіту обчислень та запис цих даних на внутрішній накопичувач.

Вивід результатів.

Результати аналізу дорожнього покриття виводяться на спеціальний *монітор 2*, який дозволяє оператору оцінити якість укладання асфальту. Звіти відображаються у вигляді таблиць з отриманими значеннями, а у разі виникнення порушень, лампа розжарювання EL1 буде вмикатись і сигналізувати про це.

Керування роботою системи.

Електромагнітне реле HS 3-2, використовується для активації датчика товщини, планарності та температури, коли потрібно здійснити вимірювання якості дорожнього покриття. В залежності від потрібного датчика, воно перемикає електричне коло і пропускає напругу.

Щоб інформація була актуальною та найбільш точною, дані з датчика планарності, температури і товщини, після обробки мікроконтролера, впорядковуються на ПК в конкретні одиниці (для датчика температури в градуси, для датчика планарності в міліметри нахилу, для датчика товщини в сантиметри) через кожен метр, формуючи середню товщину асфальту, середню температуру та планарність укладки у блоки з 5 вибірок.

Приклад даних які будуть надаватись системою для користувача у процесі укладання дорожнього покриття наведено у табл. 2.2.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

Таблиця 2.2.

Інформація щодо контролю якості укладання

Отримане середнє значення	Блок 1	Блок 2	Блок 3	Блок 4	Блок 5
Показники					
Планарність	0,5 мм	0,7 мм	2,2 мм	3,1 мм	1,3 мм
Температура	151 С°	148 С°	138 С°	142 С°	125 С°
Товщина	8 см	8,3 см	7,9 см	7,7 см	8,1 см

Результати з блоків будуть підсвічуватись зеленим кольором при дотриманні встановлених норм, а червоним кольором коли їх порушено.

Отримані розрахунки покажуть майбутні проблемні місця, які потім буде легше виявити та відремонтувати.

3.3. Розробка специфікації функціональної схеми автоматизації контролю якості дорожнього покриття

Для кращого розуміння креслення функціональної схеми, було розроблено специфікацію функціональної схеми АСКЯДП, яку зображено в додатку Ж.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

3.4. Розробка корпусу для кріплення датчиків автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Для АСКЯДП було розроблено корпус, для захисту датчиків від перегрівання. Корпус забезпечить захист датчиків від зовнішніх факторів, таких як волога, пил, бруд, вібрації та механічні пошкодження, висока температура. Також він допоможе зберегти точність і надійність вимірювань протягом тривалого часу експлуатації. Ще однією перевагою розробленого корпусу є легке встановлення і знімання з асфальтукладача, що дозволить використовувати АСКЯДП на різних машинних платформах. Корпус для датчиків виконано з матеріалу РА66 (поліамід 66), що є одним з найпоширеніших і важливих інженерних термопластичних поліамідів. Поліамід 66 отримують шляхом поліконденсаційної реакції, у якій зв'язки амідні утворюються між амінними групами і карбоксилними групами. Завдяки чому, корпус матиме високу механічну міцність, термостійкість (до 260 градусів), а також має високу стійкість до зношування. У корпусі присутні спеціально розроблені місця для датчиків з надійним закріпленням, реалізовано систему заміни компонентів всередині корпусу, розроблено технологічні отвори для проводів та кращого охолодження. Креслення корпусу наведено в додатку Д.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

4. РОЗРОБКА СХЕМИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ПРИНИПОВОЇ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

4.1. Схема електрична принципова автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Згідно з обраними структурною, функціональною схемою та принципом їх роботи, було розпочато процес розробки схеми електричної принципової. Після аналізу всіх компонентів схеми, було розроблено наступну електричну принципову схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.

Електрична принципова схема АСКЯДП зображена в додатку Г.

4.2. Розрахунок та вибір елементної бази схеми електричної принципової автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Оскільки АСКЯДП буде використовуватись на вулиці та підпадати впливу високих температур асфальту, необхідно використовувати проводи, які можуть працювати в екстремальних умовах температури. Для АСКЯДП, було обрано мідний провід з перерізом AWG 24 або 0,2 мм². AWG 24 має діаметр проводу 0,511 мм. Даний провід здатний передавати максимальний струм до 25 мА, що забезпечить зменшення втрат напруги при передачі сигналу. Щоб в системі не сталося коротких замикань та інших неполадок, було обрано політетрафторетилен (тефлон) як ізоляційний матеріал. Тефлон володіє високою термостійкістю і може витримувати високі температури без деформації або розкладу, гранична температура 260 градусів Цельсія, що ідеально підходить для дорожньо-будівельних робіт.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		44

Також, це немагнітний матеріал із низьким коефіцієнтом тертя, що допоможе захистити провід від перетирання, розтягування та інших деформацій. Приблизна довжина всього маршруту проводки 6-7 метрів (5 метрів маршруту + запас 1-2 метри).

4.2.1. Розрахунок та вибір датчиків

Для даної АСКЯДП було обрано наступні датчики:

Датчик акселерометра з гіроскопом MPU-6050[21].

MPU-6050 є 6-осевим комбінованим акселерометром та гіроскопом, що дозволяє вимірювати прискорення і планарність. Максимальний діапазон вимірювання акселерометра по осі X, Y і Z: ± 16 г. Максимальний діапазон вимірювання гіроскопа: ± 2000 град/сек. Також MPU-6050 має цифровий інтерфейс, що дозволяє легко зв'язати його з мікроконтролером. Вихідний сигнал – аналоговий із вольтажом 3,3, після чого вбудований АЦП в мікроконтролер забезпечить зчитування значень аналогових пінів та обробку отриманих даних (калібрування, фільтрація шуму та конвертація в мм).

Лазерний датчик відстані VL53L0X[22].

VL53L0X є модулем вимірювання відстані на основі принципу Time-of-Flight (TOF), що дозволяє точно вимірювати відстань до об'єктів. Максимальна вимірювальна відстань складає 4-5 метрів. Датчик має цифровий інтерфейс, що спрощує його інтеграцію з мікроконтролером або іншими пристроями. Вихідний сигнал – цифровий у вигляді бінарного коду, який потім оброблює запрограмований мікроконтролер через шину I2C.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Терморезистор PT500[23].

PT500 виготовлений із платинового сплаву що забезпечить кращу стабільність, високу точність і меншу впливовість зовнішніх факторів, таких як окислення або корозія. Максимально можлива величина вихідного сигналу терморезистора PT500 5мА. При збільшенні температури опір терморезистора збільшується і різниця між початковим значенням дає змогу обчислити температуру. PT500 здатний працювати при високих температурах до 200 градусів Цельсія, що робить його відповідним для вимірювання температури асфальту. Датчик формує змінний опір, який далі під'єднується до аналогового вхідного каналу мікроконтролера. вимірюється залежність опору від температури та калібрується для точного вимірювання. Ще одна із переваг це загальна доступність, його легко і недорого придбати у спеціалізованих електронних магазинах або у постачальників компонентів.

4.2.2. Розрахунок та вибір виконавчих механізмів

Так як для АСКЯДП не потрібно безперервне вимірювання показників якості, то для електричної принципової схеми потрібно під'єднати електромагнітне реле. Для цієї системи було використано електромагнітне реле SRD-24VDC-SL-C від компанії Songle. Це реле з контактами типу "SPDT", призначене для роботи з напругою 24 В постійного струму. Воно відоме своєю високою якістю і довговічністю. Номінальний робочий струм котушки 15 мА, опір котушки 1600 Ом, потужність 0,36 Вт, максимальний комутований струм 10А.

Для кращого сприйняття інформації оператором системи, було додано лампу розжарювання EL1. Вона використовується для показу стану роботи системи, сповіщення про події або помилки.

Для перетворення вихідного опору терморезистора PT500 на вхідну

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

напругу для мікропроцесора (МП) Arduino Uno використовується підсилювач INA114AP та резисторний дільник напруги. Максимальний вихідний опір терморезистора PT500, може досягати 4.8 Ом при температурі 200 градусів. Тому для перетворення опору, підключимо терморезистор PT500 до підсилювача через перетворювач.. Вхідний опір підсилювача INA114AP дуже великий, тому можемо прийняти, що вихідний опір терморезистора PT500 практично не змінюється при з'єднанні з підсилювачем. Для перетворення отриманого вихідного опору з терморезистора у вхідну напругу, було використано резисторний дільник напруги. Так як мікроконтролер ATmega328P працює з напругою 5 В, було використано такі значення опорів у дільнику: R1 = 10 кОм та R2 = 1 кОм.

За формулою (1) для резисторного дільника напруги визначимо вхідну напругу (V_{in}) для мікроконтролера:

$$V_{in} = V_{out} * (R2 / (R1 + R2)) \quad (1)$$

$$V_{in} = 5 \text{ В} * (1 \text{ кОм} / (10 \text{ кОм} + 1 \text{ кОм}))$$

$$V_{in} \approx 5 \text{ В} * (1 \text{ кОм} / 11 \text{ кОм})$$

$$V_{in} \approx 0.4545 \text{ В}$$

Отримана вхідна напруга 0.4545 В подається на вхід мікроконтролера для подальшої обробки.

4.2.3. Вибір мікроконтролера

Мікроконтролер Arduino Uno [19].

Arduino Uno має 14 цифрових вхідно-вихідних пінів, з яких 6 можуть бути використані як широкоширококутні піни для управління аналоговими пристроями. Також є 6 аналогових вхідних пінів для зчитування аналогових сигналів.

Мікроконтролер ATmega328P, який використовується в Arduino Uno, має тактову частоту 16 МГц та 32 Кб внутрішньої флеш-пам'яті. Це дозволяє

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		47

виконувати розрахунки та обробку даних достатньо швидко для багатьох типових проектів. Також цей мікроконтролер має простий інтерфейс та набір функцій, що дозволяє швидко почати розробку проекту.

Ще однією з переваг є великий обсяг доступної документації, прикладів та бібліотек, що полегшують програмування та інтеграцію з різноманітними пристроями.

Також в ньому вбудований АЦП, що дозволяє не використовувати окремий елемент АЦП в системі, задля економії матеріальних засобів.

4.2.4. Розрахунок та вибір з'єднувальних провідників

Для АСКЯДП було обрано тверді провідники, через те що вони мають жорстку структуру і підходять для статичних підключень. Їх можна легко обробити і прикріпити до контактів та з'єднувачів. Також вони мають лаковане або ізольоване покриття, що дозволяє запобігти короткому замиканню та зберегти ізоляцію провідника.

4.3. Розробка специфікації схеми електричної принципової автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Для кращого розуміння креслення електричної принципової схеми, було розроблено специфікацію до схеми електричної принципової АСКЯДП, яку зображено в додатку К.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

5. АЛГОРИТМІЧНО-ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ

5.1. Блок-схема алгоритму роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Алгоритм роботи АСКЯДП зображено на рис. 5.1.

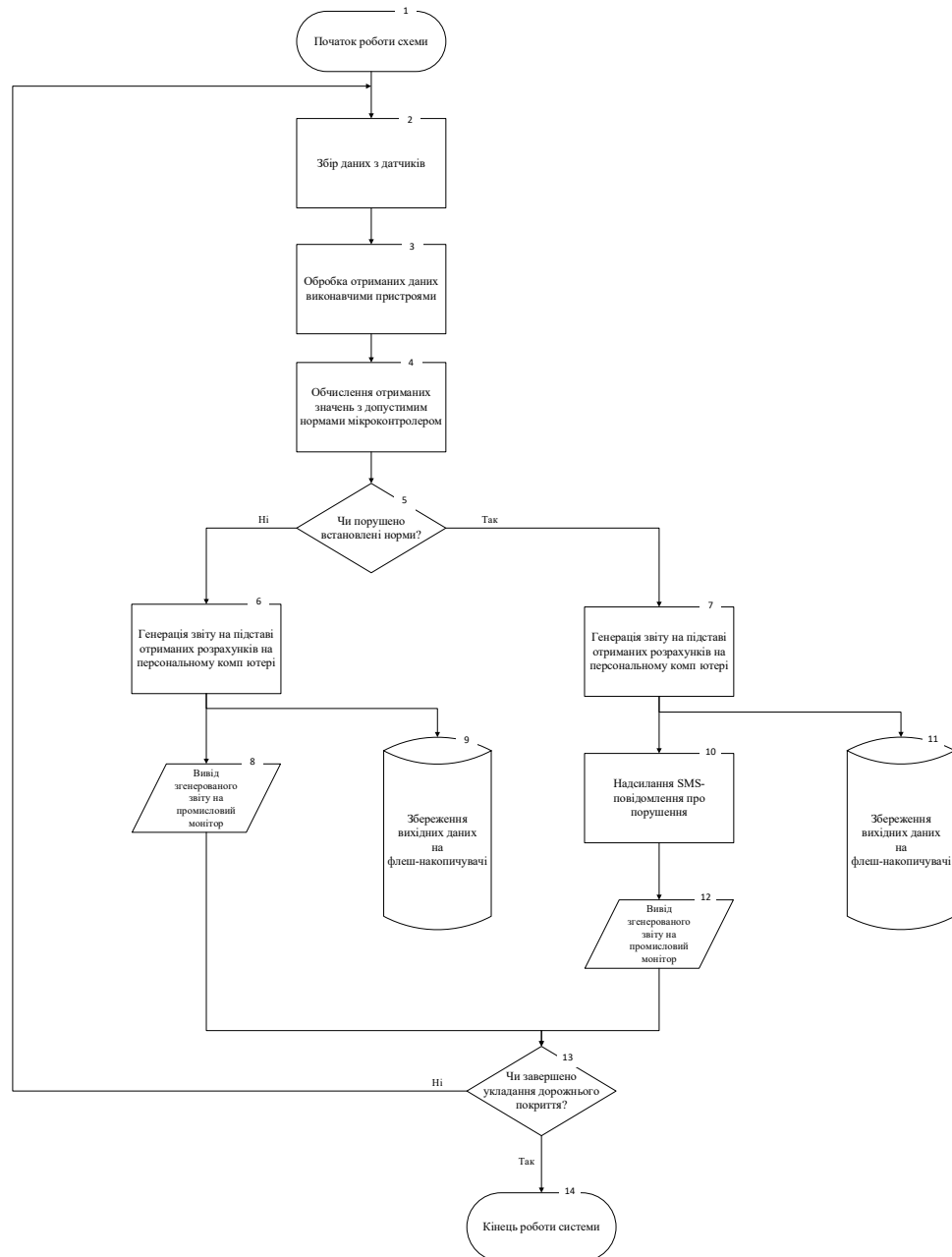


Рисунок 5.1. Блок-схема АСКЯДП.

Після запуску алгоритму (1), датчики починають вимірювати параметри якості асфальтобетонної суміші (2), після чого вбудований АЦП перетворює отримані сигнали на електричний струм (3) та відправляє їх до мікроконтролера, де вони обчислюються (4) та порівнюються з визначеними нормами (5). Якщо процес укладки асфальту без порушень встановлених норм, персональний комп'ютер генерує звіт (6), після чого виводить на промисловий монітор результат (8) та записує ці дані на флеш-накопичувач (9). Якщо ж при порівнянні показників, норми було порушено, ПК генерує звіт (7), після чого посилає SMS оператору про порушення (10), записує отримані дані на флеш-накопичувач (11) та виводить на промисловий монітор отриманий звіт (12). В кінці цього алгоритму (13), система завершує роботу якщо процес укладання дорожнього покриття завершено (14) або заново починає виконувати алгоритм, якщо процес укладання дорожнього покриття продовжується.

5.2. Розробка програмного коду для мікроконтролера при обслуговуванні датчиків

Програмний код на мові програмування C++ для платформи Arduino, відтворює логіку роботи алгоритму що представлений у вигляді блок-схеми роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, що наведений на рис. 5.1.

Робота програми починається з підключення бібліотек і визначення пінів. Для цього необхідно виконати наступні дії:

1. Підключення бібліотек: Код починається з підключення необхідних бібліотек - Wire для забезпечення зв'язку I2C, Adafruit_VL53L0X для роботи з лазерним датчиком відстані та MPU6050 для роботи з акселерометром і гіроскопом MPU6050.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		50

2. Ініціалізація: В функції `setup()` виконується початкова налаштування системи. Здійснюється ініціалізація зв'язку зі зв'язком I2C та серійного порту, ініціалізація датчиків MPU6050 та VL53L0X та налаштування піна терморезистора та кнопки.
3. Основний цикл: У функції `loop()` знаходиться основний цикл програми, який виконується безперервно після налаштування.
4. Зчитування даних з датчиків: Якщо система увімкнена (змінна `isSystemOn` встановлена в `true`), здійснюється зчитування даних з акселерометра та гіроскопа MPU6050, терморезистора PT500 та лазерного датчика відстані VL53L0X.
5. Фільтрація даних акселерометра: Зчитані значення акселерометра фільтруються шляхом зберігання останніх N (де $N = \text{numSamples}$) зразків даних та обчислення середнього значення для отримання відфільтрованого результату.
6. Відправлення даних на ПК: Зчитані та відфільтровані значення датчиків відправляються на комп'ютер через серійний порт (Serial). Показники планарності, температури та товщини виводяться на консоль.
7. Вимкнення системи: Якщо кнопка натиснута (преривання викликає функцію `handleButtonPress()`), система вимикається.

Лістинг програмного коду розміщено в додатку А.

В цілому, цей код демонструє спосіб підключення датчиків (акселерометр і гіроскоп, терморезистор та лазерний датчик відстані) та процедуру їх опитування. Він забезпечує збір даних з датчиків та їх передачу на ПК для подальшого аналізу чи обробки.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		51

5.3. Розробка інструкції користувача та загальної техніки безпеки

Завжди існує ризик отримання ураження від електричного струму під час роботи з електроустановкою. Тому буде розглянуто основні поняття на цю тему.

Основні терміни, пов'язані з електробезпекою:

Електробезпека: це система організаційних та технічних заходів, які гарантують повний або максимально можливий захист людини від шкідливої та небезпечної дії електричного струму.

Електроустановка: це комплекс взаємопов'язаних устаткувань, призначених для виробництва або перетворення електричної енергії.

Фундаментальними засобами уникнення враження електричної енергії є сукупність технічних і організаційних методів.

Технічні засоби - це пристрої, які допомагають уникати ураження електричним струмом завдяки внутрішнім або зовнішнім елементам. До таких засобів відносяться:

- Ізоляція: засіб захисту, який відокремлює людину від електричних деталей струмопровідної системи.
- Заземлення: процес з'єднання електричного обладнання з землею для забезпечення безпечного відведення струму.
- Занулення: процес нейтралізації небезпечного напруги на обладнанні шляхом з'єднання зануленого проводу з землею.
- Екстрене вимикання системи: система аварійного вимкнення електроустановки у разі виникнення небезпеки.
- Сигналізація: система, що надає сигнали про виникнення небезпеки або порушення в електроустановці.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

Організаційні засоби дозволяють максимально підвищити рівень безпеки людини шляхом застосування процесів організації. Ці процеси нормовані вимогами НПАОП 0.00-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів", а також в різних указах щодо дотримання технічної безпеки[16].

До роботи з системою допускаються особи, які не молодші 18 років, пройшли відповідну підготовку, мають посвідчення, що дозволяє роботу на будівельних виробництвах, пройшли інструктаж з охорони праці, медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я[17]. Забороняється допускати робітника до системи, не ознайомивши його з правилами техніки безпеки та інструкцією з її обслуговування.

Перед початком роботи необхідно виконати наступні кроки:

- Упорядкувати робочий одяг.
- Підготувати робоче місце для роботи.
- Перевірити справність інструментів.
- Перевірити надійність закріплення апаратного забезпечення на панелі приладів.
- Виконати налаштування апаратного забезпечення для обробки заданих параметрів.
- Повідомити майстра про виявлені недоліки і розпочати роботу після їх усунення.

У разі виникнення будь-яких несправностей необхідно звернутися до бригадира або начальника, щоб вони викликали майстра для усунення проблеми.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ВИСНОВКИ

У результаті виконання дипломного проекту було розроблено автоматизовану систему контролю якості дорожнього покриття та виконано поставлені задачі:

1. Проведено аналіз сучасних методів та засобів контролю якості дорожнього покриття.
2. Розроблено структурну схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, обґрунтовано вибір досліджуваних показників якості.
3. Розроблено функціональну схему автоматизації контролю якості дорожнього покриття, описано функції цієї системи.
4. Розроблено електричну принципову схему автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття, обґрунтовано вибір проводів, датчиків, мікроконтролера та інших складових електричної принципової схеми.
5. Розроблено алгоритмічно-програмне забезпечення роботи автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

НАПРЯМКИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В роботі магістра, подальшими напрямками досліджень для автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття будуть:

1. Створення інтуїтивно зрозумілого і простого у використанні інтерфейсу програми;
2. Розробка мобільної версії програми, яка дозволить операторам використовувати систему на різних пристроях, таких як планшети або смартфони.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. ДСТУ ISO 9000-2001. Системи управління якістю.
2. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні вимоги.
3. Дудар, О.М., Місюра, І.В. (2018). Методи та засоби дослідження якості дорожнього покриття. Вісник Національного транспортного університету, (40), 48-54.
4. Абрамов, В.А., Гречнік, Ю.І., Котляр, О.М. (2016). Методика оцінки якості дорожнього покриття для потреб розробки програмного забезпечення моніторингових систем. Науковий вісник Миколаївського національного університету імені В.О. Сухомлинського. Технічні науки, (4), 58-63.
5. Філіпчук, О.В., Шевченко, І.П. (2017). Аналіз методів оцінки якості дорожнього покриття. Науковий вісник Херсонського державного університету. Серія "Технічні науки", (1), 20-25.
6. ДБН А.3.1-5:2016 Організація будівельного виробництва.
7. Химич, В.М., Химич, Н.В., Шатохін, В.П. (2018). Методика визначення якості дорожнього покриття з використанням обробки даних відеоспостереження. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука", 38-43.
8. Мартинюк, В.В., Якименко, І.О. (2016). Методи оцінки якості дорожнього покриття та їх застосування. Наукові праці Кіровоградського національного технічного університету. Технічні науки, (26), 50-58.
9. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги.
10. ДСТУ Б.В.2.7-129:2013 Емульсії бітумні дорожні. Технічні умови.

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

11. Дзюба, Ю.С., Рибалко, О.І. (2018). Аналіз якості дорожнього покриття на основі параметрів шорсткості. Вісник Львівського державного університету безпеки життєдіяльності, (4), 142-148.

12. Кравченко, О.І., Степанюк, О.В. (2017). Методи оцінки якості дорожнього покриття з використанням геометричних показників. Вісник Черкаського державного технологічного університету. Технічні науки, (1), 46-51.

13. Перелісна, О.М., Шеломовський, І.С. (2017). Оцінка якості дорожнього покриття з використанням методу розпізнавання образів. Наукові праці Державного університету інфраструктури та технологій, (31), 148-155.

14. ResearchGate - "A New Perspective in the Road Asset Management with the Use of Advanced Monitoring System: BIM" [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

https://www.researchgate.net/publication/328992872_A_new_perspective_in_the_road_asset_management_with_the_use_of_advanced_monitoring_system.

15. Wessex Archaeology - "Ground Penetrating Radar (GPR)" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wessexarch.co.uk/our-work/ground-penetrating-radar-gpr>.

16. Іванов, О. М., Сидоров, В. П. (2020). Техніка безпеки в роботі з електроприладами. Київ: Видавництво "Техніка".

17. Семенова, Н. О., Коваленко, О. П. (2018). Основи безпеки праці з електроприладами. Київ: Видавничий дім "Основа".

18. Куліков, І.М., Шпак, В.А., Гавриленко, А.В. (2018). Оцінка якості дорожнього покриття з використанням геоінформаційних технологій. Вісник Національного транспортного університету, (42), 45-52.

19. Arduino Uno: Microchip Technology Inc. ATMEGA328 Data Sheet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу:

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

[<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/392243/ATMEL/ATMEGA328.html>]

20. Планування, моделювання та верифікація процесів в гнучких виробничих системах: практикум. Навчально-методичний посібник до виконання практичних, лабораторних і самостійних занять студентів спеціальності 7.05020201, 8.05020201 "Автоматизоване управління технологічними процесами" всіх форм навчання / І. Ю. Черепанська, В. А. Кирилович, А. Ю. Сазонов, Б. Б. Самотокін / [під. заг. ред. В. А. Кириловича] – Житомир, ЖДТУ 2015. – 274 с.

21. MPU-6050: InvenSense Inc. MPU-6000 and MPU-6050 Product Specification, Revision 3.4. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/517744/ETC1/MPU-6050/>].

22. VL53L0X: STMicroelectronics. VL53L0X datasheet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/948120/STMICROELECTRONICS/VL53L0X/>].

23. PT500: Densel-Lambda. PT500 datasheet. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/81142/LAMBDA/PT500/179/1/PT500.html>]

24. ADS1115: Texas Instruments. ADS111x Ultra-Small, Low-Power, I2C-Compatible, 860-SPS, 16-Bit ADCs. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [<https://html.alldatasheet.com/html-pdf/345945/TI/ADS1115/>].

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		58

ДОДАТКИ

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	<i>Арк.</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		59

Додаток А

Лістинг програми автоматизованої системи контролю якості дорожнього покриття

Надається за запитом до авторі

					<i>ДП ПМ-91.01.1760.03.000 ПЗ</i>	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60