

Міністерство освіти і науки України  
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Будівництво, архітектура та інфраструктура»  
Кафедра «Транспортна інфраструктура»

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр

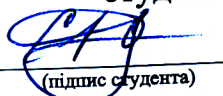
(ступінь вищої освіти)

на тему: Вплив новітніх технологій і ресурсозбереження на ефективність  
дорожнього будівництва

за освітньою програмою: Автомобільні дороги  
зі спеціальності: 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

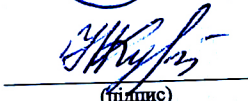
Виконав:

студент групи: ДА 2321

  
(підпис студента)

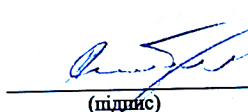
Сергій СОВА  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:

  
(підпис)

Професор Микола КУРГАН  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

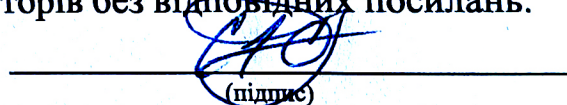
Нормоконтролер:

  
(підпис)

Доцент Сергій БАЙДАК  
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

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

Студент

  
(підпис)

Дніпро – 2024 рік

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

**Building, architecture and infrastructure**

---

(faculty)

**Transport infrastructure**

---

(department)

**Explanatory Note**

to Master's Thesis

magistr

(higher education degree)

---

**on the topic:** [The influence of the latest technologies and resource conservation on the efficiency of road construction](#)

**in the Speciality:** 192 Construction and civil engineering

**according to educational curriculum:** Motor roads

**Done by the student** of the group: ДА2321

/ Sergiy SOVA /

(name, surname)

**Scientific Supervisor:**

/Full Professor Mykola Kurhan /

(position, name, surname)

**Normative controller:**

/ Associate Professor Sergiy Baidak /

(position, name, surname)

**Міністерство освіти і науки України**  
**Український державний університет науки і технологій**

**Факультет:** Будівництво, архітектура та інфраструктура

**Кафедра:** Транспортна інфраструктура

**Рівень вищої освіти:** Магістр

**Освітня програма:** Автомобільні дороги

**Спеціальність:** Будівництво та цивільна інженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Завідувач кафедри

Олексій ПЮТЬКІН

(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2024 р.

## ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу \_\_\_\_\_ магістр  
(ступінь вищої освіти)

студенту **Сові Сергію Миколайовичу**

**Тема роботи:** Вплив новітніх технологій і ресурсозбереження на ефективність дорожнього будівництва

**Керівник роботи:** Курган Микола Борисович, професор, доктор технічних наук

Затверджена наказом від 16.02.2024 №157 ст.

**2. Строк подання** студентом роботи – 15 січня 2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи:**

Район проектування – Н-31 Дніпро-Царичанка-Кобеляки-Решетилівка	Очікувана кількість транспортних одиниць: 25556
Початковий пункт – км 36+250	Розрахункова швидкість, км/год: 110
Кінцевий пункт – км 44+260	Категорія дороги – 1-б
Довжина ділянки дороги, км – 8,01	Кількість смуг руху - 4
Максимальний поздовжній похил, % – 43	Конструкція дорожнього одягу - асфальтобетон

**4. Зміст пояснювальної записки:**

**1 Аналітична частина**

- 1.1 Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Дніпропетровській області. Мета роботи.
- 1.2 Аналіз сучасних способів регенерації дорожніх покриттів автодороги
- 1.3 Удосконалення технологій ремонту, що забезпечують ресурсозбереження та ефективність дорожнього будівництва

**2 Основна частина**

- 2.1 Технічна характеристика об'єкту
- 2.2 Методика оцінки впливу новітніх технологій на ефективність дорожнього будівництва
- 2.3 Дослідження впливу різних факторів, що сприяють ресурсозбереженню при будівництві й експлуатації доріг

<b>3 Економічна частина</b>			
3.1 Порівняння технології холодного ресайклінгу з технологією гарячого ресайклінгу асфальтобетону			
3.2 Ефективність використання відходів промисловості в дорожньому будівництві			
<b>4 Охорона праці та захист навколишнього середовища</b>			
4.1 Охорона праці під час виконання робіт з дорожнього будівництва			
4.2 Заходи з охорони навколишнього середовища: технології регенерації асфальтового покриття, застосування екологічних та стійких низьковуглецевих доріг			
<b>5. Перелік графічного матеріалу:</b> Презентація на 15-20 слайдах			
<b>6. Консультанти розділів роботи:</b>			
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав:	Завдання прийняв:
		(підпис, дата)	(підпис, дата)
1	Курган М. Б., професор		
2	Курган М. Б., професор		
3	Курган М. Б., професор		

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відсотки
1	Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Дніпропетровській області. Мета роботи.	02.10.2024	10
2	Огляд наукових досліджень за зазначеною проблемою: аналіз сучасних способів регенерації дорожніх покриттів автодороги, удосконалення технологій ремонту	16.10.2024	10
3	Технічна характеристика об'єкту. Методика оцінки впливу новітніх технологій на ефективність дорожнього будівництва	01.11.2024	15
4	Порівняння технології холодного ресайклінгу з технологією гарячого ресайклінгу асфальтобетону	20.11.2024	25
5	Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві. Обґрунтування рекомендованого варіанту	11.12.2024	20
6	Реалізація наукового дослідження в проекті автодороги Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка	25.12.2024	10
7	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	15.01.2025	10
8	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	<b>За розкладом ЕК</b>	<b>100</b>

**Студент**

Сергій СОВА

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Керівник роботи**

Микола КУРГАН

\_\_\_\_\_ (підпис)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи магістра:  
(рівень освіти)

58 с., 6 рис., 11 табл., 28 джерел.

Найменування роботи: «Вплив новітніх технологій і ресурсозбереження на ефективність дорожнього будівництва»

**Об'єкт досліджень** – ділянка автодороги Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка.

**Предмет досліджень** – показники оцінки впливу проектних рішень на ресурсозбереження на ефективність дорожнього будівництва.

**Мета роботи** – метою роботи є впровадження новітніх технологій при будівництві ділянки автодороги та оцінка їх впливу на ресурсозбереження й ефективність дорожнього будівництва.

**Методи дослідження.** У роботі використовувалися статистичний аналіз і результати досліджень фахівців в галузі ресурсозбереження та новітніх технологій в будівництві. У даній роботі досліджується вплив різних факторів, що сприяють ресурсозбереженню: технології регенерації асфальтового покриття, застосування екологічних та стійких низьковуглецевих доріг тощо.

**Одержані результати.** Проведено огляд наукових досліджень щодо впливу проектних рішень на навколишнє середовище при реконструкції автомобільної дороги. Розглянуто й проаналізовано різні варіанти впровадження новітніх технологій, що забезпечують ресурсозбереження й ефективність дорожнього будівництва.

На основі проектних матеріалів і проведеного аналізу рекомендована реалізація наукового дослідження в проекті автодороги Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка.

**Ключові слова:** автомобільна дорога, поздовжній профіль, план лінії, новітні технології, ресурсозбереження, ефективність дорожнього будівництва, навколишнє середовище, безпека руху.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
<b>1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>9</b>
1.1 Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Дніпропетровській області.....	9
1.2 Аналіз сучасних способів регенерації дорожніх покриттів автодороги .....	10
1.3 Удосконалення технологій ремонту, що забезпечують ресурсозбереження та ефективність дорожнього будівництва.....	13
<b>2 ОСНОВНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>15</b>
2.1 Технічна характеристика об'єкта будівництва .....	15
2.2 Методика оцінки впливу новітніх технологій на ефективність дорожнього будівництва.....	18
2.3 Дослідження впливу різних факторів, що сприяють ресурсозбереженню при будівництві й експлуатації доріг .....	22
<b>3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА .....</b>	<b>32</b>
3.1 Порівняння технології холодного ресайклінгу з технологією гарячого ресайклінгу асфальтобетону .....	32
3.2 Ефективність використання відходів промисловості в дорожньому будівництві .....	39
<b>4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ..</b>	<b>43</b>
4.1 Охорона праці під час виконання робіт з дорожнього будівництва .....	43
4.2 Заходи з охорони навколишнього середовища: технології регенерації асфальтового покриття, застосування екологічних та стійких низьковуглецевих доріг .....	48
<b>ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ .....</b>	<b>52</b>
<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....</b>	<b>53</b>

					051.ДА2321.МР.2025.000			
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата	Магістерська робота	Стадія	Аркуш	Аркушів
Розробник		Сова С.М.				П	6	
Гол. кер.		Курган М.Б.						
Консульт.		Хмелевська Н.П.						
Нормокон.		Байдак С. Ю.				УДУНТ		

## ВСТУП

Транспорт є однією з базових галузей економіки та має у своїй структурі розвинуту мережу автомобільних шляхів, які створюють передумови для необхідного задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг та розвитку бізнесу.

На сьогоднішній день транспортна галузь задовольняє основні потреби населення та економіки в перевезеннях за обсягом, але за якістю це не так. Сучасний стан транспортної галузі не достатньо відповідає вимогам реалізації євроінтеграційного курсу України та інтеграції національної транспортної мережі в Транс'європейську транспортну мережу.

Національна транспортна стратегія України передбачає покращення стану автомобільних доріг до 2030 року [1]:

- необхідність збільшення кількості проектів будівництва доріг;
- впровадження системи контролю якості дорожніх проектів;
- впровадження сучасних технологій будівництва автомобільних доріг;
- впровадження інтелектуальних транспортних систем дозволить збільшити пропускну спроможність дорожньої мережі.

За даними Національного бюро статистики України станом на 2021 рік обсяг вантажних перевезень автомобільним транспортом збільшився на 10,1% відповідно до такого ж періоду у 2020 році та становив 30% від загального обсягу вантажів. Щодо обсягу пасажироперевезень, то відбулось збільшення на 7,7% відповідно до 2020 року та у порівнянні обсягів перевезень з залізничним транспортом обсяг перевезень автомобільним транспортом більше в 13,8 рази [2].

Задовільний стан автомобільних доріг є передумовою якості надання послуг перевезення. Для поліпшення якості стану автомобільних доріг необхідно впровадження новітніх технологій і ресурсозбереження при будівництві, реконструкції, утриманні та експлуатації автомобільних доріг. На даний час є низка розроблених технологій в дорожньому будівництві. Удосконалення існуючих або розробка нових технологій надасть не тільки підвищення якості

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		7

доріг, скорочення термінів будівництва, підвищення безпеки, а ще надасть зниження навантаження на довкілля та вартість дорожнього будівництва.

Нове будівництво, реконструкція, ремонт та експлуатація автомобільних доріг завжди ґрунтуються на науково-технічних досягненнях і спираються на оновлену нормативну базу. Важливість науково-технічної підтримки проявляється не тільки на стадії проектування, будівництва та експлуатації автомобільних доріг, а й під час проведення моніторингу доріг і штучних споруд, відслідковування їх залишкового ресурсу, своєчасного запобігання аварійним та надзвичайним ситуаціям при експлуатації автомобільних доріг.

Метою кваліфікаційної роботи є впровадження новітніх технологій при будівництві ділянки автодороги та оцінка їх впливу на ресурсозбереження й ефективність дорожнього будівництва.

Розгляду окремих питань, що виконуються під час будівництва автомобільних доріг присвячена магістерська робота.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		8

# 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

## 1.1 Аналіз стану питання щодо будівництва автомобільних доріг у Дніпропетровській області

Дніпропетровська область є одним із найбільших промислових центрів України. На її території знаходиться ціла мережа доріг: міжнародні (Е50, М04, Е105, М18, М29), національні (Н08, Н11, Н15, Н23, Н31), регіональні (Р51, Р73, Р74, Р80), територіальні (Т0401, Т0412, Т0419 та інші). Вся ця мережа доріг використовується для забезпечення ефективного транспортного сполучення всередині регіону і з іншими областями.

Велика частина автомобільних доріг області була побудована в радянські часи та потребує реконструкції: низька якість покриття доріг через довготривалу експлуатацію, порушення сучасних технологій під час ремонту, інтенсивний рух транспорту. Все це викликає додаткові витрати на підтримку доріг в належному стані. Крім того, через область проходять міжнародні транспортні коридори, які потрібно постійно вдосконалювати для забезпечення необхідного рівня логістики та перевезень.

До активних бойових дій між російською федерацією та Україною фінансування будівництва та реконструкції доріг відбувалося за рахунок державного та місцевого бюджетів, залученням міжнародних інвесторів та кредитів Європейського банку реконструкції та розвитку (ЄБРР). На цей час виділення коштів більшою мірою припинилося та надається в основному на експлуатаційне утримання. Але Уряд ухвалив рішення [3] виділити гроші на відновлення доріг, зокрема на Дніпропетровську область 196,4 млн грн.

Особливої уваги до війни приділялося проектам будівництва та реконструкції доріг, що з'єднують Дніпропетровську область з іншими областями, зокрема дорогам національного значення Н08 (Дніпро – Запоріжжя) та Н31 (Дніпро – Решетилівка). Згідно з проектом на будівництво магістралі Н31 – буде досягнуто скорочення часу поїздки між Дніпром і Києвом з 7 до 5 годин.

У Дніпрі та Кам'янському активно велись роботи по відновленню

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		9

дорожнього покриття, створенню сучасних транспортних розв'язок. Виділялися кошти на ремонти доріг місцевого значення, особливо у сільських районах.

При будівництві та реконструкції автомобільних доріг в області використовуються як автоматизовані технології укладання, так і модифіковані асфальтобетонні суміші. Це підвищує якість будівництва, зменшує витрати часу укладку асфальтобетону, підвищує довговічність покриття. При капітальному ремонті доріг використовується рециркулювання старих покриттів.

В перспективі розроблюються проекти розширення магістральних доріг, поліпшення дорожньої інфраструктури у сільських районах. У майбутньому плануються використання датчиків для моніторингу стану дорожнього покриття, різні системи забезпечення безпеки руху та оптимізації транспортних потоків.

## **1.2 Аналіз сучасних способів регенерації дорожніх покриттів автодороги**

В роботі [4] проведений аналіз способів ремонту автомобільних доріг та приділено увагу сучасним технологіям гарячого та холодного ресайклінгу асфальтобетонного покриття. Автори досліджували різні способи регенерації асфальтобетонних шарів дорожніх одягів: вирівнювання при нагріванні; просочення покриття складом, що омолоджує; фрезерування та розламування матеріалу покриття з видаленням та подальшою його переробкою та укладанням. Кожний з способів має свої різновиди та умови використання. Наведено короткий опис основних технологій регенерації та рециркулювання асфальтобетонного покриття. Автори роботи після аналізу різних методів регенерації асфальтобетонних шарів прийшли до висновку, що за допомогою холодного ресайклінгу відбувається повторне використання старих матеріалів існуючого покриття, що дає зменшення обсягу відходів та видобутку матеріалів з кар'єрів, зниження транспортних витрат, зниження витрат на відновлення зношених покриттів, відсутність необхідності після рециркулювання підсилення укріплених узбіч. Важливим моментом для покращення властивостей регенованої суміші є обґрунтування призначення в'язучого. Технологія холодного ресайклінгу за

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		10

допомогою новітньої техніки надає можливість підвищити швидкість та якість виконання робіт. У екологічному плані ця технологія є більш привабливою, так як має менший негативний вплив на навколишнє середовище.

Однією з проблем сьогодення є відходи промисловості та їх утилізація. На тлі недостатнього фінансування дорожньої галузі, екологічних проблем та виснаження природних ресурсів одним із завдань є використання відходів промисловості в будівництві доріг при цьому забезпечуючи експлуатаційну надійність шарів дорожнього одягу, а також здійснення заходів спрямованих на ресурсо- та енергозбереження. В Україні передбачається поряд з природними матеріалами в якості сировини використовувати відходи промисловості, до яких відносять золувинесення з ТЕС, вторинний поліетилен, металургійні шлаки, гумову крихту. У роботі [5] авторами було проаналізовані інформаційні джерела щодо використання відходів промисловості у дорожньому будівництві у різних країнах світу. Як висновок цієї роботи – це дуже перспективні варіанти забезпечення матеріалами дорожнє будівництво з відходів промисловості.

В роботі [6] автором освітлено обґрунтування необхідності розробки та впровадження нових технологій виготовлення асфальтобетонних сумішей з використанням дрібнозернистих заповнювачів, які отримані з застосуванням технологій переробки накопичених залишків зруйнованих будівель і споруд, що є нагальною необхідністю на тлі військової агресії російської федерації до України. На основі досліджень з науково-інформаційних джерел виходить, що отримання заповнювачів бетону і будівельних розчинів за технологіями рециклінгу будівельного лому дозволить скоротити витрати енергетичних ресурсів порівняно з використанням традиційних сировинних компонентів з кар'єрів в середньому на 65–75%. Крім того, проведено аналіз конструкцій більшості об'єктів житлового фонду України, які зводились в періоди масових забудов 1960–1980 рр. та було встановлено, що для того періоду характерно використання значної матеріаломісткості для забезпечення характеристик надійності, стійкості та показників довговічності. Дослідні проби дрібнозернистого і дрібнодисперсного

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		11

заповнювачів з відходів руйнування бетонних і залізобетонних конструкцій отримані були з використанням стандартних методик відповідно з діючими нормативами і вони відповідають нормованим показникам, що встановлені для традиційних сировинних мінеральних компонентів будівельних сумішей, які видобуваються з природних родовищ корисних копалин. Також параметри запропонованих складів асфальтобетонних сумішей були в межах нормованих параметрів зернового складу стандартних асфальтобетонних сумішей і це тільки підтвердило можливість використання отриманих компонентів дрібнозернистих фракцій як альтернативи традиційних видобувних природних ресурсів. До таких висновків прийшли автори роботи [7].

Автори статті [8] провели комплексний огляд використання перероблених відходів і технологій в асфальтобетонних покриттях з урахуванням в них низького вмісту вуглецю. Дослідження охоплює 2008–2023 роки за допомогою програми VOS viewer. Аналізувалися відходи, які дозволять скоротити викиди CO<sub>2</sub>, а саме перероблений асфальтобетон, біовугілля або гумова крихта. Китай і Сполучені Штати являються ключовими дослідниками у використанні відходів у тротуарах з низьким вмістом вуглецю. Крім того, паливо на основі біомаси та електричне будівельне обладнання знижують викиди вуглецю та парникових газів на 36–90% та 67–95% відповідно. Для того щоб широко використовувати технології переробки відходів необхідно вирішити різні завдання, включаючи проблеми з вартістю, продуктивністю та довговічністю, стандартизацією та правилами, доступністю, інтеграцією з існуючими об'єктами. Огляд виявив критичні прогалини в дослідженнях, такі як відсутність однорідного та надійного стандартного методу для асфальтобетонного покриття з низьким вмістом вуглецю, обмежені дані про експлуатаційні характеристики та підхід до оцінки життєвого циклу при аналізі ефектів скорочення викидів.

В роботі [9] автором проаналізовано світовий досвід впровадження технологій промислового ресайклінгу дорожнього асфальтобетону, наведено класифікацію та застосування технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону з урахуванням світового досвіду дорожнього будівництва, а також

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		12

додане технології та нові розробки, які підтримуються українськими нормативними та технологічними документами в галузі дорожнього будівництва. Технології ресайклінгу класифікують у залежності від виду і призначення робіт та діапазону технологічних температур процесів виготовлення і застосування регенованих сумішей. За підсумками аналізу [9] автор виділив необхідне:

– розробка національного стандарту, що встановлює технічні вимоги до асфальтобетонної крихти з урахуванням положень [10] та системи стандартів ЄС;

– необхідність включення до складу робіт з реконструкції та капітального ремонту автодоріг ресурсозберігальних технологій з повторним використанням дорожнього асфальтобетону;

– розвиток положень з визначення при будівництві доріг вартості робіт з матеріалами, придатними для повторного застосування [11].

### **1.3 Удосконалення технологій ремонту, що забезпечують ресурсозбереження та ефективність дорожнього будівництва**

Однією з проблем регенованого асфальтного покриття (RAP) є неупорядкований розмір частинок та псевдоградація матеріалів [12]. Автори вважають важливим визначити відповідні технології розділення асфальтових наповнювачів для покращення використання матеріалів RAP у переробленій асфальтовій суміші. У роботі [12] було проведено систематичний огляд асфальтових наповнювачів сепараційних технологій переробки матеріалів та їх перспективи. Основні види сепараційних технологій переробки RAP матеріалів: фізичний поділ асфальтового заповнювача для матеріалів RAP, хімічний або запропоновано технологію біологічного розділення асфальтобетону, щоб послабити зв'язок між старим асфальтом і наповнювачами. Кожна з сепараційних технологій має свої умови використання: температура середовища, рівень старіння асфальтобетонного покриття, наприклад, у середовищі з низькою температурою або коли рівень старіння асфальтобетонного покриття є більш серйозним, то доцільно використовувати технологію фізичного поділу. Однією з важливих переваг хімічного розподілу асфальтобетону полягає в тому, що вона може підтримувати морфологічні характеристики крупних заповнювачів, але екологічний вплив та економічна доцільність є помітними проблемами. Тому

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		13

потрібно зробити вибір нешкідливих, екологічно чистих, швидкоплавних хімічних розчинників у сукупності з використанням спеціального обладнання, що призведе до більшого використання даної технології у майбутньому. Розробка нових матеріалів, технологій і обладнання для біологічного поділу асфальтобетону може бути ключовою в галузі асфальтобетонних покриттів у майбутньому через їх перспективне широке застосування.

У статті [13] авторами відзначається, що у відвалах підприємств накопичені відходи золи-виносу та шлаки, які наносять значну шкоду довкіллю і тому потребують науково-технічних заходів для їх переробки та утилізації. У складі золи-виносу є традиційні природні мінерали, які є у піску і мінеральних порошках (дисперсний заповнювач), що входять до складу асфальтобетонної суміші і це зумовило можливість використання її як заповнювача. Авторами було розроблено склади асфальтобетону з використанням золи-виносу, які використані при зведенні ділянок покриття автодороги, ділянок ремонту дороги та проведено комплексні дослідження цих будівельних сумішей. Відібрані проби асфальтобетону з виготовлених елементів дороги (відповідно до методик ДСТУ Б В.2.7-319 та ДСТУ Б В.2.7-119) підтвердили можливість використання золи-виносу ТЕС як заповнювачів у складі асфальтобетонних сумішей.

В статті [14] автори дослідили технологію гарячої регенерації асфальтобетону методом «in-place» та вплив температурних режимів розігрівання асфальтобетонного покриття. Метою роботи було удосконалення цієї технології. Автори з'ясували, що оптимальним режимом розігрівання покриття є поступовий розігрів, що дозволяє уникнути випалювання бітуму, забезпечуючи розігрівання дорожнього покриття на рівні основи регенерованого шару. Також на основі аналізу побудованих графіків та математичних моделей дійшли висновку, що зменшення температури розігріву асфальтобетонного покриття хоча б на 10 – 20°C призведе до збільшення продуктивності роботи термічної установки. А це вже збільшує продуктивність до 25 %, зменшення витрат газу та собівартості роботи.

На даний час впровадженні технології ресайклінгу мають певні недоліки при значних перевагах та потребують удосконалення у майбутньому.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аржун
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		14

## 2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

### 2.1 Технічна характеристика об'єкта будівництва

Автомобільна дорога Н-31 «Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка» (рис. 2.1) згідно до постанови Кабінету Міністрів України від 9 серпня 2017 року № 654 за своїм призначенням та класифікацією була підвищена до національної, загальна потужність дороги складає 157,90 км.

У даному об'єкті, потужність проектної ділянки дороги Н-31 «Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка», км 12+400 – км 14+400, складає – 2,055 км.

Ділянка дороги від м. Дніпро до примикання з дорогою Т-04-41 «Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка на ділянці с. Лобойківка – смт. Петриківка» має параметри 1б категорії, далі рух по дорозі Н-31 накладається на вищезазначену дорогу територіального значення, параметри якої відповідають III категорії, додатково за даним напрямком співпадає і накладається ще одна дорога Т-04-14 «Кам'янське – Петриківка – Магдалинівка».

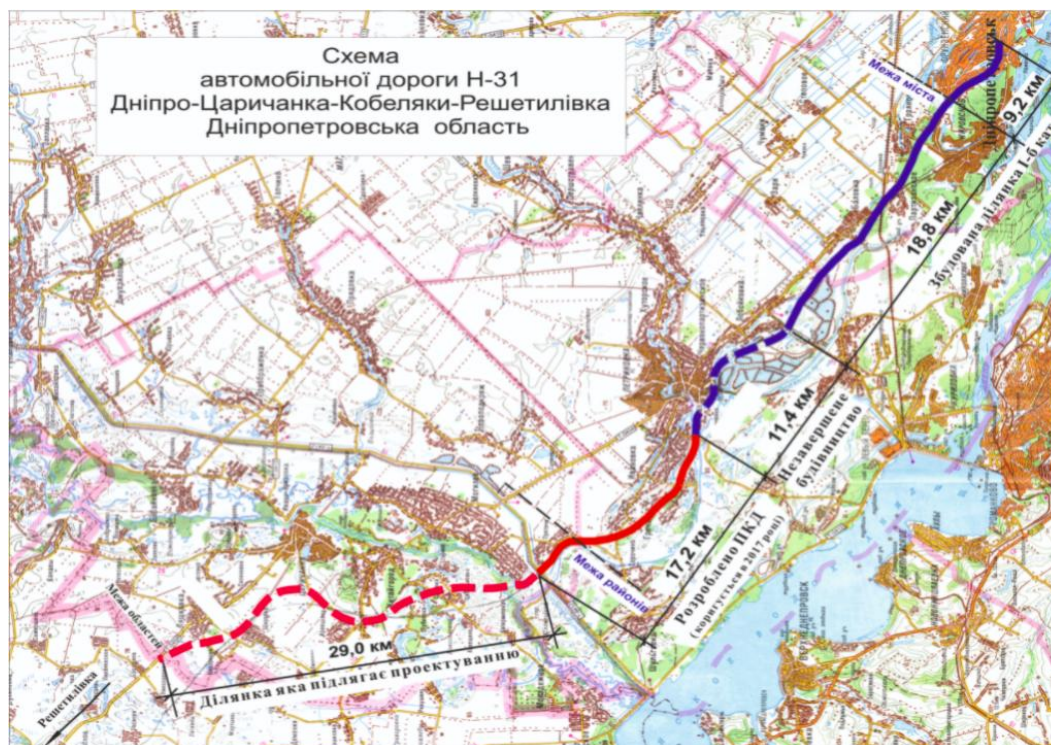


Рисунок 2.1 – Схема автомобільної дороги Н-31 «Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка»

Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата	051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш 15
-----	-----	----------	--------	------	------------------------	-------------

У теперішній час рух автомобільних потоків відбувається за трьома напрямками й проходить через центральні частини наступних населених пунктів: Лобойківка, Петриківка, Китайгород та Царичанка, тим самим різко погіршуючи екологічні умови – підвищується загазованість та рівень шуму, збільшується кількість та тяжкість дорожньо-транспортних пригод.

Траса Н-31 є відгалуженням від автомобільної траси М-03/Е40 «Київ – Полтава – Харків», поєднує столицю держави з великими містами Дніпро та Запоріжжя, проходить по територіям Полтавської та Дніпропетровської областей (рис. 2.2).

Подорож автотранспортом від Києва до Дніпра протяжністю 477 км прискориться більш ніж на 2 години та триватиме 4,5 години.



Рисунок 2.2 – Мережа швидкісних автомобільних доріг

Будівництво дороги Н-31 в обхід населених пунктів, за новим напрямком, до якого також відноситься і ділянка км 36+250 – км 44+2601, сприятиме лише покращенню екологічного стану вищезазначених населених пунктів і підвищить

рівень безпеки мешканців цих поселень.

Одночасно, будівництво дороги сприятиме економічному розвитку, тобто стане імпульсом для розвитку індустріального Придніпров'я із якого виконується перевезення експортованих вантажів до країн – членів Європейського Союзу.

Основним показником, за яким визначаються параметри автомобільних доріг, є інтенсивність руху дорожніх транспортних засобів [15]. Для визначення перспективної інтенсивності руху прийняті дані, що наведені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Середньорічна добова перспективна інтенсивність руху автотранспорту

Роки	Інтенсивність руху, авт/добу	За транспортними засобами, авт/добу		
		вантажні	автобуси	легкові
2017	10800	2268	183	8349
2027	17324	3490	267	13567
2037	25556	4969	366	20221

Перспективний склад автопарку вантажівок у відсотковому співвідношенні прийнято наступним:

- легкі вантажопідйомністю до 2,5 т – 25%;
- середні вантажопідйомністю від 2,5 до 5,0 т – 15%;
- важкі вантажопідйомністю від 5,0 до 10,0 т – 25%;
- важкі вантажопідйомністю від більш 10,0 т – 35%.

Початок ділянки дороги прийнято км 36+250, кінець ділянки дороги км 44+260. Довжина проектної ділянки становить 8,01 км. На всій протяжності автомобільна дорога проходить поза межами населених пунктів. Траса проектної ділянки дороги, а саме початок, розпочинається на кривій радіусом 1500 м, на якій влаштовуються віраж з максимальним похилом 33%. Розрахункова швидкість руху – 110 км/год.

Проектна ділянка дороги має наступні параметри, які повністю відповідають вимогам таблиць 5.1 та 5.5 [15]:



оцінок:

**1. Економічний аналіз (Cost-Benefit Analysis, CBA).** Цей метод дозволяє оцінити ефективність інвестицій у новітні технології шляхом порівняння витрат та очікуваних вигод:

- прямі вигоди: зниження вартості будівництва, зменшення часу будівельних робіт;
- непрямі вигоди: зниження витрат на експлуатацію, скорочення часу в дорозі для користувачів;

Визначення показників NPV (чиста приведена вартість), IRR (внутрішня норма рентабельності), та ROI (рентабельність інвестицій).

**2. Аналіз життєвого циклу (Life Cycle Assessment, LCA).** Використовується для оцінки впливу технологій на довгострокову ефективність та стійкість:

- оцінюються всі етапи: від проектування до утилізації;
- враховуються викиди CO<sub>2</sub>, використання ресурсів, утворення відходів;
- ідентифікація критичних точок для оптимізації процесу.

**3. Бенчмаркінг та порівняльний аналіз.** Цей метод передбачає порівняння ефективності новітніх технологій із традиційними:

- аналізуються ключові показники продуктивності (KPI): швидкість будівництва, якість покриття, витрати матеріалів;
- використовується міжнародний досвід та стандарти.

**4. Комп'ютерне моделювання та BIM-технології.** Сучасні інформаційні моделі дозволяють:

- симулювати впровадження технологій;
- оцінювати їхній вплив на тривалість проекту, витрати та ресурси.

Виявляти потенційні ризики.

**5. Метод багатокритеріальної оцінки (Multi Criteria Decision Analysis, MCDA).** Ця методика враховує кілька критеріїв для оцінки впливу нововведень:

- економічна ефективність;

- екологічна стійкість;
- соціальна вигода.
- технологічна складність.

**6. Експертна оцінка.** Залучення фахівців для якісної оцінки впливу новітніх технологій:

- аналізуються переваги та недоліки;
- робляться рекомендації щодо доцільності впровадження.

**7. Енергетичний та екологічний аудит.** Зосереджується на аналізі енергетичних витрат і впливу на довкілля:

- визначається зниження споживання енергії завдяки новим матеріалам чи технологіям;
- аналізуються показники забруднення повітря, води, ґрунту.

Розглянемо детальніше експертну оцінку, яка є важливим інструментом для аналізу впливу новітніх технологій у будівництві автодоріг. Вона базується на залученні кваліфікованих фахівців, які оцінюють різні аспекти технологій та формують висновки для прийняття управлінських рішень. Основні питання, які розглядаються під час експертної оцінки

**1. Ефективність технологій.**

Чи забезпечує технологія підвищення продуктивності будівельних робіт?

Наскільки вона знижує витрати ресурсів (матеріалів, часу, фінансів)?

Який її вплив на тривалість життєвого циклу дороги?

**2. Якість та надійність.**

Чи покращує технологія якість дорожнього покриття?

Наскільки вона стійка до впливу кліматичних факторів?

**3. Екологічний вплив.**

Як нова технологія впливає на навколишнє середовище?

Чи сприяє зниженню викидів парникових газів або використанню вторинних матеріалів?

**4. Інноваційність та адаптивність**

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Наскільки технологія є сучасною?

Чи легко її інтегрувати в існуючі процеси будівництва?

5. Безпека будівництва і дорожнього руху

Як технологія впливає на безпеку будівельників під час виконання робіт?

Чи підвищує вона безпеку дорожнього руху?

6. Економічна доцільність

Яке співвідношення витрат на впровадження до очікуваної вигоди?

Яка окупність інвестицій (ROI)?

7. Соціальний вплив

Чи створює технологія додаткові робочі місця?

Який її вплив на комфорт користувачів дороги?

Методика визначення переваг та недоліків передбачає формування критеріїв оцінки, саму оцінку, аналіз переваг і недоліків, експертне обговорення

Формування критеріїв оцінки. Критерії базуються на специфіці будівництва автодоріг і можуть включати технічні, економічні, екологічні, соціальні аспекти. Наприклад, зниження часу будівництва, покращення показників зчеплення дорожнього покриття, вплив на природні екосистеми.

Оцінка за шкалою. Для кожного критерію використовується оціночна шкала (наприклад, 0 –10 балів), що дозволяє порівнювати альтернативи: 0–3 бали – низький рівень ефективності, 4...7 балів – середній рівень, 8...10 балів – високий рівень.

Аналіз переваг. Переваги визначаються через підвищення економічної вигоди, зменшення негативного впливу на довкілля, позитивний вплив на технологічний розвиток.

Ідентифікація недоліків. Недоліки виявляються через високу вартість впровадження, необхідність спеціалізованого обладнання чи навчання, ризик технічних збоїв.

Експертне обговорення. Залучені експерти формують колегіальний висновок, що базується на їхньому досвіді, даних аналізу та міждисциплінарному

підході.

Результати експертної оцінки дозволяє комплексно оцінити потенціал нових технологій та забезпечити оптимальне використання ресурсів Приклад застосування експертної оцінки впливу впровадження технології «холодного ресайклінгу» й «гарячого ресайклінгу» в будівництві автодоріг наведено в розділі 3.

### **2.3 Дослідження впливу різних факторів, що сприяють ресурсозбереженню при будівництві й експлуатації доріг**

Дослідження впливу факторів, що сприяють ресурсозбереженню при будівництві й експлуатації доріг, є актуальним напрямом в інженерії, що дозволяє зменшувати витрати, продовжувати строк служби дорожніх покриттів та мінімізувати негативний вплив на довкілля. Ключові фактори, що впливають на ресурсозбереження наведені в табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Ключові фактори, що впливають на ресурсозбереження

Технологічні рішення	Інноваційні методи будівництва: Використання методів, таких як "холодний ресайклінг", укладання тонкошарових покриттів, армування асфальтобетону геосітками, сприяє зменшенню витрат матеріалів. Модульні конструкції: Використання збірних залізобетонних плит або попередньо виготовлених блоків для дорожнього покриття. Цифрові технології: ВІМ-моделювання (Building Information Modeling) оптимізує проектування скорочуючи перевитрати матеріалів та часу.
Матеріали	Перероблені матеріали: Використання вторинної сировини (наприклад, старого асфальту, подрібненого бетону) дозволяє знизити витрати на первинну сировину. Інноваційні сполуки: Асфальтобетон із модифікованими бітумами (добавки полімерів, гумової крихти). Наноматеріали: Наприклад, використання нанодобавок у бетоні для підвищення його міцності та довговічності.

Енергозбереження	Зниження енергоспоживання: Впровадження низькотемпературного асфальту дозволяє зменшити енерговитрати при виробництві. Використання відновлюваних джерел енергії: Наприклад, сонячні панелі на інфраструктурних об'єктах.
Екологічні підходи	«Зелене» будівництво: Впровадження технологій, які знижують вплив на довкілля (наприклад, використання біорозкладних матеріалів для дорожньої розмітки). Інфраструктура для збору дощової води: Встановлення водонепроникного асфальту, що скорочує навантаження на дренажні системи.
Ефективне управління ресурсами	Оптимізація транспортування: Скорочення логістичних витрат через використання місцевих матеріалів. Автоматизація та контроль: Системи управління машинами (наприклад, GPS-обладнання для екскаваторів) дозволяють зменшити перевитрату палива та матеріалів.

Таблиця 2.3 – Дослідження, що сприяють ресурсозбереженню

Вид дослідження	Методи	Результати
1. Економічні дослідження. Мета оцінити зниження витрат на матеріали та енергоресурси	Моделювання витрат із використанням традиційних та інноваційних матеріалів.	Використання вторинного асфальту дозволяє зменшити вартість дорожнього покриття на 15–20%.
2. Екологічні дослідження. Мета провести аналіз щодо зменшення викидів CO <sub>2</sub> і впливу на екосистему.	Оцінка життєвого циклу (LCA).	Зниження викидів на 30% при використанні низькотемпературного асфальту.
3. Соціальні дослідження. Метою є вивчення впливу нових підходів на комфорт та безпеку користувачів.	Анкетування користувачів доріг, аналіз дорожньої статистики.	Нові технології можуть зменшити кількість дорожніх пригод на 10–15%.

Практичні результати дослідження відрізняються в різних країнах світу: в Україні – використання шлакових відходів металургії у дорожньому будівництві; в ЄС – проекти з інфраструктурою для відновлюваної енергії, наприклад, дороги з вбудованими сонячними панелями; в Азії – впровадження нанотехнологій у

матеріалах для зменшення товщини шарів дорожнього покриття.

Впровадження цих факторів у будівництво та експлуатацію доріг дає змогу суттєво зменшити витрати, покращити екологічні показники та підвищити якість дорожньої інфраструктури.

Під час будівництва автомагістралі Н-31 Дніпро – Решетилівка було застосовано низку новітніх технологій та матеріалів. Основні аспекти будівництва наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технології укладання дорожнього одягу

Матеріали	Технології	Особливості планування
<p>– Дорога будується із бетону, що робить її першою масштабною бетонною магістраллю в Україні.</p> <p>– Конструкція дороги включає шар цементогрунту (30 см), пісного бетону (18 см) та важкого бетону (26 см), що забезпечує високу міцність та довговічність покриття</p>	<p>– Використано сучасні методи укладання бетону для забезпечення рівномірності поверхні та зменшення тріщин.</p> <p>– При створенні нових ділянок дороги застосовували технології захисту навколишнього середовища, включно з археологічними дослідженнями перед будівництвом</p>	<p>– Проект включає будівництво кількох об'їзних доріг і сучасних транспортних розв'язок для покращення трафіку та зменшення аварійності.</p> <p>– Для оптимізації витрат і часу використовували нові фінансові механізми, зокрема, залучення інвестицій під державні гарантії</p>

Сучасні методи укладання бетону, які використовуються для забезпечення рівномірності поверхні та мінімізації утворення тріщин, базуються на інноваційному обладнанні, спеціальних технологіях та ретельному контролі процесів. Ось ключові аспекти:

1. Використання бетонозмішувальної техніки

Для укладання бетону на автомагістралі Н-31 використовувалися сучасні бетонозмішувальні вузли, що забезпечують:

Однорідність суміші за рахунок автоматичного дозування компонентів.

Швидке транспортування бетону на місце укладання з мінімальним часом між змішуванням та укладанням, що знижує ризик розшарування матеріалу

## 2. Технології укладання

Двошарове укладання бетону: верхній і нижній шари укладаються одночасно для забезпечення монолітності покриття.

Гусеничні укладальники з лазерною системою вирівнювання гарантують високу точність геометрії поверхні, що критично для магістралей високої категорії.

Вібраційні ущільнювачі знижують пористість бетону, забезпечуючи кращу зносостійкість

## 3. Методи захисту від тріщин

Розширення температурних швів: Застосування правильно розрахованих температурних швів для компенсації теплових розширень бетону.

Добавки для запобігання тріщинам: Використання пластифікаторів і полімерних волокон у бетоні для підвищення еластичності.

Мокре укриття та обробка паром: Після укладання поверхню бетону вкривають для збереження вологи, що дозволяє уникнути швидкого висихання і появи мікротріщин.

## 4. Контроль якості

3D-сканування поверхні для моніторингу рівності покриття.

Випробування проб на місці будівництва для контролю міцності та зносостійкості.

Автоматизований моніторинг температури в товщі бетону, що дозволяє прогнозувати утворення напружень і ризик тріщин.

## 5. Інноваційні добавки

Фібробетон: використання волокон для підвищення міцності та зменшення ймовірності утворення мікротріщин.

Полімер-бетон: матеріал з підвищеною тріщиностійкістю завдяки модифікації полімерними компонентами.

Розглянемо більш докладно використання бетонозмішувальної техніки та технології укладання бетону на автомагістралі Н-31 та методи захисту від тріщин.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		25

(п. 1-3).

Починаючи з 70-х років минулого століття в будівництві монолітних цементобетонних покриттів набули поширення комплекти машин, які ведуть влаштування покриття із застосуванням ковзкої опалубки.

Комплект машин ДС-100 (ДС-110) забезпечує поточну механізацію будівництва, починаючи від профілювання верху земляного полотна та вирівнювання всіх конструктивних шарів основи до влаштування повністю закінченого цементобетонного покриття (у тому числі армованого). Він виконує укладання бетонної суміші в рухомій опалубці із ковзкими формами та профілювання любых шарів дорожнього одягу потрібної товщини без рейко-форм шириною до 7,5 м (основи до 8,5 м).

Комплект машин ДС-100 (ДС-110) включає наступні основні механізми:

– профілювальник основи ДС-97 (ДС-108) призначений для профілювання земляного полотна й основи, розподілу та змішування незв'язних дорожньо-будівельних матеріалів з цементом безпосередньо на дорозі;

– конвеєр-перевантажувач (навісний до профілювальника) ДС-98 (ДС-98А) – для збирання надлишків матеріалу на узбіччя або в транспортні засоби;

– розподільник бетону ДС-99 (ДС-109) призначений для приймання з транспортних засобів та розподілу бетонної суміші на попередньо підготовлену основу;

– бетоноукладальник ДС-101 (ДС-111) з боковими ковзкими формами – для розподілу та ущільнення бетонної суміші та оздоблення поверхні покриття;

– трубчатий фінішер ДС-104 (ДС-104А) призначений для остаточного вигладжування поверхні цементобетонного покриття;

– розподільник плівкоутворюючих матеріалів ДС-105 (ДС-105А) – для догляду за свіжовкладеним бетоном та створення шорсткої поверхні.

Базою профілювальника, розподільника та бетоноукладальника є уніфіковане самохідне чотирьохопорне гусеничне шасі, на якому монтуються силова установка, механізми керування та робочі органи. Привід ходу та робочих

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		26

органів – гідравлічний, реверсивний з безступінчатим регулюванням швидкостей (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Укладання цементобетону на ділянці будівництва автомобільної дороги Н-31 Дніпро – Решетилівка

Трубчатий фінішер та машина для розподілу плівкоутворюючих матеріалів є самохідними на пневмоколісному ході.

Машини оснащені автоматичними системами слідкування за рівністю покриття та дотриманням геометричних параметрів його профілю. Автоматична система задавання вертикальних відміток повинна працювати, як правило, від двох копірних струн; у разі використання основи з укріплених цементом ґрунтів I класу міцності допускається працювати з однією копірною струною.

У якості додаткового обладнання в комплект входять:

- вібраційний заглиблювач арматурної сітки ДС-102 (ДС-102-А) вантажопідйомністю 7,5 т;
- візок для перевезення арматури ДС-103 (ДС-103А) вантажопідйомністю 16 т;
- нарізувач поперечних швів ДС-112;

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		27

- нарізувач поздовжніх швів ДС-115;
- машина для нарізки контрольних швів ДНШС-60М;
- машина для заливання швів ДС-67.

Призначення кожної машини комплекту визначається видом технологічної операції, яку вона виконує в загальному будівельному потоці.

Однією з найбільш важливих операцій при роботі комплекту ДС-100 (ДС-110) є встановлення копірних струн, які забезпечують рівність конструктивних шарів дорожнього одягу та проектних ухилів.

Правильність установки шнура обов'язково перевіряють перед початком роботи машин. При перевірці нівелірних кілків спочатку визначають їх положення в плані (розташування в створі лінії, відстань між кілками та від осі або краю покриття), після чого виконують контрольне нівелювання. Стійки перевіряють на міцність та стійкість. Особливу увагу слід звернути на закріплення на стійках поперечних штанг і точність розташування в них прорізей над нівелірними кілками.

Заключною операцією контрольної перевірки є перевірка висотного положення шнура над нівелірними кілками, а потім ступінь його натягу.

Бетонна суміш з автобетоновоза чи кузова автосамоскидами розвантажується у приймальний бункер розподільника ДС-99 (ДС-109), який висувається для завантаження на узбіччя. Після цього бункер переміщається у внутрішній простір механізму та розподіляє бетонну суміш на основу проїзної частини для ущільнення та формування поверхні. За відсутності розподільника бетон можна розвантажувати з транспортних засобів безпосередньо на основу. Розподіл бетонної суміші (з припуском на ущільнення) ведуть рівномірно по всій ширині покриття.

Ущільнення бетонної суміші та формування покриття є найбільш важливою операцією, яка виконується бетоноукладальником ДС-101 (ДС-111). До початку роботи укладальника необхідно перевірити правильність налаштування його робочих органів, що дозволяє виключити порушення під час

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		28

будівництва покриття. Бетоноукладальна машина має рухатись зі сталою швидкістю, глибинні вібратори повинні бути повністю занурені в бетонну суміш, а перед робочими органами рухатись валик бетонної суміші висотою 20-25 см.

Технологічний розрив між розподільником та бетоноукладальником повинен бути 10-30 м в залежності від погодних умов. Для забезпечення високої якості покриття бетоноукладальник має рухатись без зупинок з постійною швидкістю, при цьому швидкість руху ув'язується з рухомістю бетону.

Всі можливі незначні нерівності й дрібні дефекти поверхні ліквідовують за допомогою трубчатого фінішера трубчатий фінішер ДС-104 (ДС-104А) не пізніше ніж за 20 хв. після ущільнення (в жарку погоду - не пізніше 10 хв). Кількість проходів фінішера по захватці довжиною 20-40 м залежить від якості поверхні покриття після проходу бетоноукладальника (в середньому оздоблення поверхні покриття досягається за два-три проходи фінішера).

У процесі вигладжування цементобетонної поверхні трубчатий фінішер наносить на покриття бороздки, які надають цій поверхні шорсткості. Після вирівнювання поверхні бетону 95% площі покриття повинно мати рівність, яка характеризується просвітом до 3 мм під триметровою рейкою

Для догляду за укладеним бетоном на його поверхні за допомогою розподільника ДС-105 (ДС-105А) наносять плівкоутворюючі речовини (помалоль, бітумна емульсія, лак етиноль) з розрахунку 0,4 кг/м<sup>2</sup> при температурі повітря нижче 25°C та 0,6 кг/м<sup>2</sup> – при температурі повітря більш ніж 25°C.

Якщо з нанесенням плівки виникає затримка більш ніж на 20 хвилин свіжовкладений бетон закривають рулонними паро-, водонепроникними матеріалами, вологою мішковиною тощо. Після нарізування швів у затверділому бетоні плівку відразу ж відновлюють за допомогою малогабаритного розподільника.

У разі використання темних плівкоутворюючих матеріалів після її формування виконують освітлення шляхом нанесення вапняного молока або суспензії алюмінієвої пудри. Допускається також для освітлення поверхні

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		29

наносити після формування плівки шар піску (супіску) товщиною 4-6 см.

Догляд за укладеним бетоном починають відразу ж після оздоблення поверхні покриття та продовжують протягом 28 діб.

Шви розширення влаштовують відразу ж після ущільнення та оздоблення поверхні бетону шляхом встановлення закладок з еластичних гумових шаблонів довжиною 1,75 і 1,87 м. Після набору бетоном міцності 8-10 МПа їх знімають з дерев'яної прокладки й заповнюють шов герметиком.

Нарізування швів розширення у затужавілому бетоні проводять трьома алмазними дисками, що насаджені на один вал нарізувача ДС-112.

Поперечні шви стиснення влаштовують в два етапи: за допомогою нарізувача швів ДНШС-60М у свіжому бетоні нарізають шов, у яких не менш ніж на 1/4 товщини шару вставляють поліетиленову прокладку; після набору бетоном міцності 8-10 МПа за допомогою нарізувача з алмазними дисками ДС-112 над прокладкою нарізають паз шириною не менше 8 мм.

Поздовжній шов стиснення влаштовують аналогічно першому етапу влаштування поперечних швів стиснення.

Нарізування поперечних швів стиснення у затужавілому бетоні виконують за дві стадії нарізувачем ДС-112: спочатку одним алмазним диском на проектну товщину прорізають паз шириною до 4 мм (при міцності бетону 5 – 7 МПа), а потім двома алмазними дисками на глибину до 30 мм. Нарізування поздовжнього шва стиснення виконують нарізувачем ДС-115.

Заключною технологічною операцією по влаштуванню цементобетонного покриття є герметизація (заповнення) деформаційних швів герметиками – гумово-бітумним в'язучим (ГБВ), бітумо-бутилкаучуковими мастиками (МББГ) та полімерними мастиками типу «гідром».

Мастику на основі бітуму перед застосуванням розігрівають до температури 160-200°C. Компоненти полімерних герметиків холодного твердіння ретельно змішують при температурі навколишнього середовища.

Пази швів перед їх заповненням очищають від піску та щебню, на дно

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		30

вкладають бавовняний шнур, а стінки змащують розрідженим бітумом. Пази заповнюються бітумною мастикою вище рівня покриття на 2–3 мм, залишки зрізають гострим скребком. У разі заповнення швів полімерними матеріалами холодного твердіння в підготовлені пази швів стиснення вкладають гумові трубки діаметром 10 мм з товщиною стінки 2 мм, а в шви розширення – трубки діаметром 26 мм з товщиною стінки 2 м. Заповнюють паз шва стиснення герметиком на глибину 20 мм (нижче рівня покриття на 2–5 мм), а паз шва розширення на глибину 10–12 мм (нижче рівня покриття на 5–8 мм).

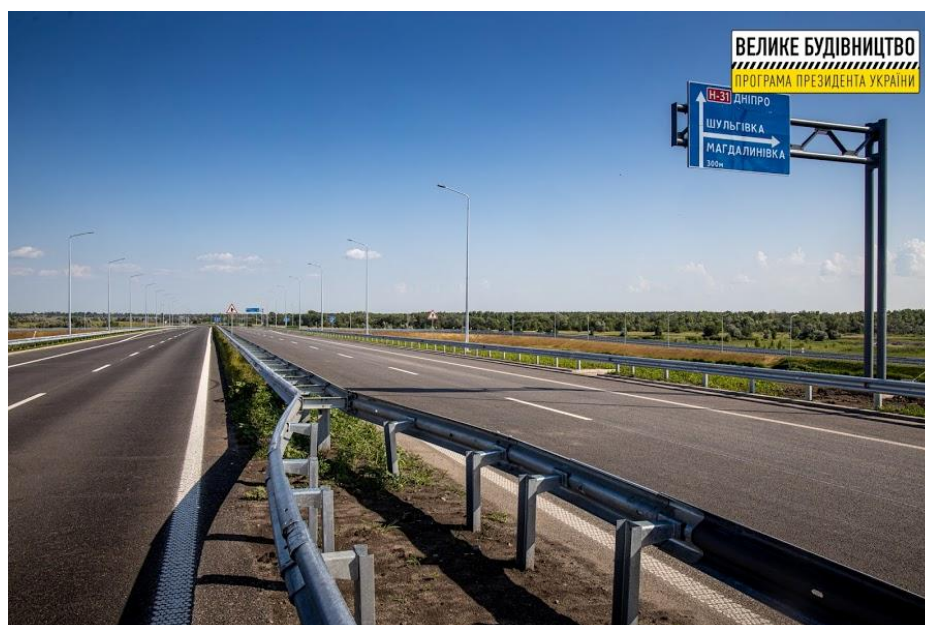


Рисунок 2.5 – Фрагмент нової траси Н31: проїжджа частина з 4-х смуг

Рух технологічного транспорту по влаштованому покриттю дозволяється відкривати лише після заповнення швів.

За класичною схемою в передній частині бетоноукладача встановлені розподільний шнек і / або плужний розподільник. З точки зору практичності та подальшої експлуатації краще використання плуга. Слідом стоять вібратори, які ущільнюють суміш, і потім вона вже формується ковзної формою.

Використання нових методів і технологій на трасі Н-31 забезпечило рівномірність покриття, довговічність і високу якість магістралі, що відповідає сучасним стандартам (рис. 2.5).

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		31

### 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

#### 3.1 Порівняння технології холодного ресайклінгу з технологією гарячого ресайклінгу асфальтобетону

Технології холодного та гарячого ресайклінгу асфальтобетону мають свої особливості, переваги та недоліки. Ось їх порівняння за основними параметрами:

Таблиця 3.1 – Основні характеристики холодного й гарячого ресайклінгів

Основні параметри	Холодний ресайклінг	Гарячий ресайклінг
1. Принцип роботи	<ul style="list-style-type: none"> <li>– виконується за допомогою спеціального обладнання (ресайклерів) без нагрівання матеріалу;</li> <li>– процес передбачає подрібнення існуючого асфальтобетонного шару, змішування з в'язучими матеріалами (емульсіями, цементом або піною) та повторне укладання;</li> <li>– може виконуватися як in-situ (на місці), так і на заводі.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– потребує нагрівання старого асфальтобетону до температури 150–200°C;</li> <li>– виконується на заводах (гарячий ресайклінг) або безпосередньо на місці (за допомогою рециклерів або обладнання для регенерації);</li> <li>– передбачає додавання нових компонентів (бітум, модифікатори, свіжі мінеральні матеріали) для покращення властивостей.</li> </ul>
2. Технічні аспекти	<ul style="list-style-type: none"> <li>– вимагає меншої енергії, що знижує витрати на паливо;</li> <li>– може виконуватися при нижчих температурах навколишнього середовища;</li> <li>– глибина ресайклінгу сягає до 30 см, що дозволяє відновлювати основу дороги.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– забезпечує краще зчеплення компонентів через нагрівання;</li> <li>– ефективний для верхніх шарів асфальтобетону;</li> <li>– потребує більш потужного обладнання та додаткових витрат енергії.</li> </ul>
3. Економічна ефективність	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дешевший, адже не потрібне нагрівання;</li> <li>– використовується менше нових матеріалів.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– дорожчий через енергозатрати та необхідність у нових матеріалах;</li> <li>– зменшує залежність від повного заміщення матеріалів.</li> </ul>
4. Екологічний вплив	<ul style="list-style-type: none"> <li>– зменшує викиди CO<sub>2</sub> та інші забруднення завдяки роботі при низьких температурах;</li> <li>– екологічніший за рахунок повторного використання матеріалів без вивезення їх з місця ремонту.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– має більший екологічний вплив через значні енергозатрати на нагрівання та викиди.</li> </ul>

5. Застосування	– використовується для відновлення основи дорожнього покриття; – ефективний для доріг з помірним навантаженням.	– застосовується для верхніх шарів доріг, де потрібна висока якість покриття; – підходить для магістральних доріг і місць з інтенсивним рухом.
-----------------	--	---

Наведемо приклади використання технологій холодного та гарячого ресайклінгу асфальтобетону в Україні:

### Холодний ресайклінг

1. Автомагістраль «Київ – Одеса». Для регенерації дорожнього покриття використовували фрезерування шару на глибину до 10 см із додаванням бітумної емульсії та цементу. Процеси відбувались безпосередньо на місці, що дозволяло зменшити витрати на транспортування матеріалів і зберегти міцність нижніх шарів основи дороги. Така технологія також знижує викиди CO<sub>2</sub> завдяки меншій потребі у нових матеріалах

2. Волинська область. У рамках капітального ремонту місцевих доріг застосовували ресайклінги для формування нової основи дорожнього одягу. Матеріал із фрезерування попередньо обробляли додатковими стабілізуючими домішками, що дозволяло покращити його якість та забезпечити довговічність відновленого покриття Sunrise Logistics.

### Гарячий ресайклінг

1. Київська область. Технологія «Remix Plus» застосовувалася на дорогах області, коли шар дорожнього покриття регенерували на глибину до 60 мм. Додавання модифікованих в'язучих та нових матеріалів дозволяло досягти відповідності сучасним стандартам. Гарячий ресайклінг був обраний для доріг з великою інтенсивністю руху, оскільки він забезпечує швидке відновлення та мінімізує вплив на трафік National Institute for Infrastructure Development.

2. Автомагістраль «Львів – Чоп». Використовували метод гарячого нагрівання та повторної укладки верхнього шару асфальту. Це дозволило усунути колійність і тріщини, забезпечивши продовження експлуатаційного терміну дороги без значного збільшення витрат National Institute for Infrastructure

Development.

Як впливає з проведеного аналізу, промисловий гарячий ресайклінг з виготовленням регенованих гарячих асфальтобетонних сумішей (РГС) здійснюється у змішувальних установках (Hot Recycling; HR), а гарячий ресайклінг методом «на дорозі» – це ресайклінг з виготовленням регенованих гарячих асфальтобетонних сумішей змішуванням на дорозі (Hot-in-placerecycling; HIR) (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Ресайклінг з виготовленням регенованих гарячих асфальтобетонних сумішей змішуванням на дорозі

Експертна оцінка ефективності впровадження технології «холодного ресайклінгу» в будівництві автодоріг.

Технологія «холодного ресайклінгу» використовується для ремонту дорожнього покриття. Вона дозволяє повторно використовувати старі матеріали (асфальт і бетон), змішуючи їх із новими компонентами без необхідності нагрівання. Мета оцінки – визначити переваги та недоліки цієї технології порівняно з традиційним методом реконструкції. Етапи оцінки передбачають розгляд таких питань:

1. Визначення критеріїв оцінки. Обираємо такі критерії:

Економічна ефективність: витрати на матеріали та роботи.

Екологічний вплив: рівень викидів CO<sub>2</sub> та використання ресурсів.

Тривалість робіт: час виконання робіт.

Якість покриття: довговічність і технічні характеристики.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		34

Безпека: ризики під час будівельних робіт.

2. Проведення оцінки. Оцінюємо кожен критерій за 10-бальною шкалою і результати заносимо в табл. 3.2

Таблиця 3.2 – Експертна оцінка «холодного ресайклінгу» і традиційного методу

Критерій	Холодний ресайклінг	Традиційний метод
Економічна ефективність	9	6
Екологічний вплив	8	4
Тривалість робіт	7	5
Якість покриття	8	9
Безпека	7	6
Сума	39	30

Холодний ресайклінг – це метод ремонту та відновлення існуючого асфальтобетонного покриття без його нагрівання. Процес холодного ресайклінгу включає:

1. Фрезерування верхнього шару пошкодженого асфальтобетону.
2. Подрібнення фрезерованого матеріалу до фракції 0–40 мм.
3. Змішування подрібненого матеріалу з новим асфальтобетонним матеріалом, цементом, водою та хімічними добавками.

4. Укладання та ущільнення відновленої суміші.

З урахуванням наведених оцінок (табл. 3.2) встановлено переваги «холодного ресайклінгу»:

**Економічність:** використання матеріалів, які вже є в наявності, знижує витрати на закупівлю нових ресурсів.

**Екологічність:** технологія скорочує обсяг будівельних відходів та зменшує викиди CO<sub>2</sub>.

**Швидкість:** завдяки меншим підготовчим роботам тривалість виконання будівельних робіт скорочується.

Недоліки – покриття може поступатися традиційному за довговічністю на магістральних дорогах із високим навантаженням, складність технології –

потребує спеціалізованого обладнання та кваліфікованого персоналу.

Отже, «холодний ресайклінг» має значні переваги в економії ресурсів та зниженні впливу на довкілля, проте його використання має бути збалансованим із врахуванням експлуатаційних вимог дороги. «Холодний ресайклінг» доцільно використовувати на другорядних дорогах, а також для ремонтів із середнім і низьким навантаженням. Крім того, необхідно забезпечити навчання персоналу та оновлення обладнання для повноцінного впровадження технології та провести додаткові дослідження довговічності покриття в умовах різних кліматичних зон.

Наведемо порівняльну оцінку холодного й гарячий ресайклінгу (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Порівняння холодного і гарячого ресайклінгів асфальтобетону на основі їхніх характеристик

Параметр	Холодний ресайклінг	Гарячий ресайклінг
Принцип роботи	Регенерація матеріалу без нагрівання, з використанням емульсій чи стабілізаторів.	Нагрівання існуючого покриття, змішування з добавками, повторне укладання при високій температурі.
Температура процесу	Залежить від температури навколишнього середовища.	150–200°C
Глибина регенерації	До 30 см.	2–6 см (залежить від методу: Repave, Remix, Remix Plus)
Енерговитрати	Низькі, оскільки процес не вимагає нагрівання.	Високі через необхідність нагрівання матеріалів.
Екологічність	Менші викиди CO <sub>2</sub> , оскільки мінімізовано використання нових матеріалів та енергії.	Більший вплив на навколишнє середовище через енергозатрати.
Якість покриття	Ефективний для основи дороги.	Забезпечує високоякісну поверхню, особливо для доріг з високою інтенсивністю руху.
Вартість	Економічно вигідніший завдяки меншій потребі у нових матеріалах.	Дорожчий через використання енергії та необхідність у додаткових матеріалах (модифікатори, новий бітум).
Швидкість виконання	Висока, особливо при in-situ технології.	Середня: потребує часу на нагрівання, змішування та укладання.
Область застосування	Помірно навантажені дороги, локальний ремонт.	Основні магістралі, дороги з інтенсивним рухом, усунення колійності, тріщин.

Оцінка вартості технологій ресайклінгу асфальтобетону залежить від багатьох факторів, таких як глибина регенерації, обсяг робіт, матеріали, та

обладнання.

**Холодний ресайклінг.** Вартість робіт коливається в межах 500 – 900 грн/м<sup>2</sup> залежно від товщини шару (5 – 20 см) і використання додаткових стабілізуючих матеріалів (бітумні емульсії, цемент). Основний акцент робиться на екологічності та економії матеріалів, адже технологія дозволяє використовувати старий асфальтобетон без необхідності транспортування на завод.

**Гарячий ресайклінг.** Вартість вища, у середньому 800 – 1300 грн/м<sup>2</sup>, оскільки передбачає прогрівання старого матеріалу та додавання нового асфальтобетонного складу. Також потрібне спеціальне обладнання (регенератори) і потужна енергетична база. Цей метод забезпечує відновлення верхніх шарів покриття з покращенням естетичних і експлуатаційних властивостей.

Якщо проводити експертну оцінку холодного та гарячого ресайклінгу за бальною шкалою, то враховуємо критерії, що наведені в табл. 3.4. Оцінка здійснюється за 10 бальною шкалою, де 1 – найгірший результат, а 10 – найкращий.

Таблиця 3.4 – Експертна оцінка холодного й гарячого ресайклінгу за бальною шкалою

Критерій	Холодний ресайклінг	Гарячий ресайклінг
Економічна ефективність	9	6
Енерговитрати	10	5
Екологічність	9	6
Якість отриманого покриття	7	9
Довговічність	8	9
Швидкість виконання	9	7
Глибина регенерації	10	6
Застосовність на різних дорогах	8	9
Загальний вплив на трафік	9	7
Сумарна оцінка	89	74

Пояснення до табл. 3.4:

**Економічна ефективність.** Холодний ресайклінг дешевший завдяки використанню меншої кількості нових матеріалів.

**Енергозатрати.** Гарячий ресайклінг вимагає значного споживання енергії через нагрівання.

**Екологічність.** Холодний ресайклінг має менші викиди CO<sub>2</sub>.

**Якість покриття.** Гарячий ресайклінг забезпечує кращу однорідність і зчеплення.

**Довговічність.** Обидва методи показують гарні результати, але гарячий ресайклінг дає трохи вищу якість для доріг з інтенсивним рухом.

**Швидкість виконання.** Холодний ресайклінг зазвичай виконується швидше.

**Глибина регенерації.** Холодний ресайклінг дозволяє працювати на більшій глибині. Для холодного ресайклінгу глибина регенерації зазвичай становить до 30 см, що дозволяє працювати з основою дороги, включаючи зміцнення нижніх шарів. Це ефективно для доріг, які потребують відновлення як верхнього шару, так і несучих структур. Для гарячого ресайклінгу глибина роботи обмежена верхніми шарами (2–6 см). Ця технологія застосовується для відновлення верхнього шару асфальтобетону, усунення дефектів, таких як колійність, тріщини, або підвищення зчеплення. Отже, глибока регенерація (холодний ресайклінг) дозволяє працювати з більшою кількістю шарів дорожнього одягу, однак для критично зношених верхніх шарів (з інтенсивним рухом) гарячий ресайклінг є ефективнішим.

**Загальний вплив на трафік.** Цей критерій описує, наскільки роботи з ресайклінгу впливають на потік транспорту. Для холодного ресайклінгу використання мобільних ресайклерів (технологія *in situ*) дозволяє виконувати роботи на місці без значного перекриття доріг, не потребує великих зон для об'їзду, що зменшує затори; висока швидкість виконання робіт мінімізує тривалість обмежень на дорозі. Для гарячого ресайклінгу роботи з нагрівання, змішування і укладання асфальту вимагають більшої кількості спеціалізованої техніки та часу. Через необхідність нагрівання і повільний процес виконання трафік може бути перекритий або суттєво обмежений на тривалий час.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		38

**Висновки.** Обидві технології доповнюють одна одну і вибір залежить від специфіки проєкту.

Холодний ресайклінг доцільний для відновлення основи та зменшення витрат. Холодний ресайклінг підходить для глибокого відновлення та відновлення основи дороги з мінімальними витратами, менше впливає на транспортний потік через швидкість виконання і можливість роботи без значного обмеження доріг.

Гарячий ресайклінг оптимальний для покращення верхнього шару дороги. Гарячий ресайклінг забезпечує високу якість та довговічність покриття, але вимагає більших ресурсів. Хоча й забезпечує кращу якість верхнього шару, потребує більше часу і може створювати серйозні незручності для трафіку.

Обидві технології мають свої переваги залежно від типу доріг і вимог до ремонту: холодний ресайклінг доцільний для ремонтів основи доріг і великих ділянок, гарячий ресайклінг підходить для оновлення покриття в міських умовах або на дорогах з високою інтенсивністю руху. Холодний ресайклінг економічніший і більш екологічний, тоді як гарячий забезпечує вищу якість для доріг із високим навантаженням.

### **3.2 Ефективність використання відходів промисловості в дорожньому будівництві**

Новітні технології та підходи до ресурсозбереження значно впливають на ефективність дорожнього будівництва. Нові технології забезпечують:

***Більш раціональне планування та управління проєктами.*** Використання спеціального програмного забезпечення для проєктування, планування та ведення обліку ресурсів дозволяє зменшити час виконання робіт та оптимізувати використання матеріалів.

***Зменшення відходів матеріалів.*** Використання сучасних технологій, наприклад, ресайклінг дозволяє зменшити відходи та оптимізувати використання ресурсів.

***Збільшення якості будівельних матеріалів.*** Розвиток нових матеріалів та технологій обробки дозволяє підвищити якість дорожнього покриття та збільшити

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		39

тривалість його експлуатації.

**Зменшення витрат на енергію та транспорт.** Використання енергоефективних технологій та оптимізація транспортних маршрутів допомагають зменшити викиди та знизити витрати на будівництво.

Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві передбачає такі заходи:

1. Утилізацію вторинних матеріалів виробництва призначена для збереження природних ресурсів і скорочення обсягу відходів, які необхідно утилізувати в спеціальних місцях поховання.

2. З метою заохочення до переробки відходів виробництва багато держав-членів Європейського Союзу прийняли специфічне екологічне законодавство, зокрема, сплату податку за утилізацію відходів.

3. В умовах ринкової економіки, екологічних проблем та виснаження природних ресурсів першочерговим завданням є використання відходів промисловості в будівництві доріг, а саме: металургійні шлаки, золувинесення з ТЕС, вторинний поліетилен і гумову крихту. Використання цих відходів повинно супроводжуватися забезпеченням експлуатаційної надійності шарів дорожніх одягів, а також здійснення заходів спрямованих на ресурсо- та енергозбереження.

В різних країнах світу удосконалюються технології використання відходів промисловості у дорожньому будівництві та це є життєздатним варіантом, який потребує подальшого вивчення.

Інтеграція перероблених відходів, таких як перероблене асфальтове покриття, біовугілля або гумова крихта, з альтернативними технологіями змішування, такими як тепла асфальтова суміш та чистіша енергія, може значно знизити викиди CO<sub>2</sub>.

Китай та США є ключовими країнами, які зробили внесок у дослідження низьковуглецевих дорожніх покриттів.

Крім того, паливо на основі біомаси та електричне будівельне обладнання знижують викиди вуглецю та парникових газів на 36 – 90% та 67 – 95% відповідно.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Але, перш ніж різні матеріали та технології з перероблених відходів зможуть широко використовуватися в асфальтовій промисловості, необхідно вирішити різні проблеми, у тому числі проблеми вартості, продуктивності та довговічності, стандартизацію та правила, доступність, інтеграцію з існуючими об'єктами, а також недостатню кількість родовищ та тривалий термін експлуатації.

Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві є ефективним засобом зменшення вартості матеріалів і впливу на навколишнє середовище. Нижче наведено приклади використання різних типів відходів у цій галузі (табл. 3.5)

Таблиця 3.5 – Застосування відходів промисловості в дорожньому будівництві

Відходи промисловості	Застосування	Переваги	Приклади
1. Шлаки металургійного виробництва	Як наповнювач у асфальтобетоні, щебенево-мастикових сумішах або при створенні дорожньої основи.	Підвищення міцності та довговічності дорожнього покриття, зменшення необхідності у природному щебні.	В Україні металургійні шлаки активно використовуються в дорожньому будівництві, зокрема, у проектах "Велике будівництво" для доріг Дніпропетровської та Запорізької областей
2. Зола та шлаки з теплових електростанцій	Використовуються для стабілізації ґрунту, приготування цементобетонів або як замітники традиційних матеріалів у основі доріг.	Зменшення кількості відходів, поліпшення міцності ґрунту завдяки їхній лужній реакції.	У Польщі та Німеччині зола з ТЕС використовується для зміцнення ґрунтових основ доріг.
3. Відходи виробництва бетону	Подрібнений бетон застосовують як замітник щебню у дорожньому будівництві.	Зменшення кількості відходів будівництва, економія природних ресурсів.	У США та ЄС активно використовують бетонний лом для вторинного використання в будівництві магістралей.

4. Шини та полімери	Подрібнені шини додаються до асфальтобетонних сумішей для підвищення зносостійкості.	Зменшення шуму від руху транспорту, покращення стійкості до високих і низьких температур.	В Україні тестували додавання гумової крихти до асфальту на дорогах Київської області.
5. Скляний порошок	Використовується як додаток до асфальтобетону.	Підвищення міцності та стійкості до вологи.	У Нідерландах використовують скляний порошок для створення високоякісного асфальтобетону.

#### Висновок.

Ефективність використання відходів промисловості в дорожньому будівництві проявляється у зниженні собівартості будівництва, раціональному використанні відходів промисловості, поліпшенні фізико-механічних властивостей дорожніх матеріалів.

Застосування таких технологій залежить від доступності сировини, вимог до проекту і підтримки на державному рівні екологічних ініціатив.

## 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 4.1 Охорона праці під час виконання робіт з дорожнього будівництва

Згідно з [16] ділянка дороги, що проектується, відноситься до лінійного об'єкту інженерно-транспортної інфраструктури.

Під час підготовчих та основних видів робіт необхідно в обов'язковому порядку дотримуватись вимог з охорони праці та усіх видів промислової безпеки згідно до [17], діючих інструкцій по безпечному виконанню окремих видів робіт та умов використання будівельних машин і транспортних засобів, тому під час підготовки до будівництва і під час підготовчих робіт для забезпечення комплексної безпеки необхідно:

– на будівельному майданчику встановити стенд з інформацією про об'єкт будівництва, замовника, проектувальника та підрядну організацію, а також чітко зрозумілі і виділені з позначенням в'їзди, проїзди, місця розворотів та небезпечні ділянки;

– небезпечні зони огородити знаками безпеки і написами установленної форми, а також зони постійно діючих небезпечних виробничих факторів повинні обов'язково бути облаштовані захисними огороженнями та місця с потенційно діючими небезпечними виробничими факторами – сигнальними огороженнями згідно до [18];

– будівельний майданчик та розміщені на ньому виробничі, санітарно – побутові, складські, допоміжні та громадського призначення приміщення, майданчики для складування будівельних матеріалів, стоянки для будівельного транспорту, робочі місця, проїзди, місця розвороту транспортних засобів, повинні бути облаштовані засобами освітлення, які в темний час доби не мають сліпучої дії освітлення та відповідати вимогам [19]. Освітлювальні прожектори слід встановлювати на окремих опорах і забороняється влаштовувати прожектори на дахах із паливо-змащувальними матеріалами та на будинках із поліетиленовим покриттям та в огорожувальних конструкціях;

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		43

– на будівельному майданчику повинні бути засоби зв'язку, доступ до яких повинен забезпечуватись у будь-яку годину доби;

– електробезпека забезпечується з дотриманням додатково вимог [20].

Розміщення і експлуатація електроустановок повинні відповідати вимогам [21].

Необхідно, також, виконати заходи із захисту території будівництва від можливого негативного впливу несприятливих природних або техногенних факторів, можливих пожеж та засобів цивільного захисту з дотриманням національних норм та стандартів.

Пожежна безпека повинна відповідати [22], зокрема положень викладених у статтях 5 та 8.

Під час підготовки і виконання будівельних робіт, вимоги пожежної безпеки повинні відповідати наступним державним нормативним документам [22, 23, 24].

Під час виконання будівельно-монтажних робіт на всіх стадіях створення об'єкта будівництва, для кожного керівника головним повинно бути, це дотримання національних вимог, які стосуються безпеки людей. На робітників має вплив перелік багатьох факторів виробничого середовища: шум, вібрація, вміст шкідливих речовин у повітрі робочої зони. Також для сприятливих та безпечних умов виконання робіт, необхідно також передбачити заходи по санітарно-гігієнічному обслуговуванню робітників, тобто на будівельному майданчику повинні бути влаштовані санітарно-побутові приміщення та пристрої: гардеробні, умивальники, вбиральні, приміщення для обігрівання та приймання їжі. Перед початком виконання підготовчих та основних видів робіт необхідно обов'язково розробити заходи щодо забезпечення гранично-допустимих рівнів шуму, вібрації та гранично-допустимих концентрацій шкідливих речовин, а також на робочих місцях треба дотримуватися санітарно-гігієнічних норм. Вищезазначені потреби повинні бути обов'язково враховані у розділі проект виконання робіт (ПВР), який розробляється підрядними організаціями з урахуванням вимог [25, 26].

Основні правила та рекомендації охорони праці в сфері дорожнього

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аржун
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		44

будівництва включають:

- забезпечення безпеки працівників з використанням засобів індивідуального захисту, а саме касками, захисними окулярами, рукавицями, спецодягом;
- проведення інструктажів з охорони праці перед початком робіт;
- для правильної організації робочого процесу потрібне чітке планування робіт, щоб уникнути небезпечних ситуацій, встановлення знаків безпеки та огорожень на території будівництва;
- регулярна перевірка та обслуговування дорожньо-будівельної техніки, неможливість використання несправного обладнання;
- проведення навчання з безпеки праці для всіх працівників, які беруть участь у дорожньому будівництві;
- ознайомлення з правилами надання першої допомоги всім працівникам;
- дотримання вимог [27] та інших нормативних актів, які регулюють охорону праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг.

Згідно з [15] перед зведенням земляного полотна автодороги очищають смуги відведення землі від лісу та чагарників, пеньків, дрібної порослі та валунів тощо відповідно до ПВР. Із застосуванням вибухового методу корчування пнів, подрібнення великих валунів необхідно дотримуватися вимог безпеки при вибухових роботах.

Очищення смуги відведення землі та вирубування дерев виконується на відстані 50 м від місця виконання робіт в обох напрямках із залученням спеціальних машин та з встановленням переносних попереджувальних знаків типу "Прохід і проїзд заборонений! Вирубка лісу".

Працівників, що вирубують ліс, необхідно забезпечувати захисними касками.

Переносити або перебудовувати комунікації повинні тільки організації, які експлуатують їх.

Починаючи роботу машиніст кущоріза повинен перевірити кріплення

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		45

навісного устаткування до трактора, надійність і міцність огорож, які захищають машиніста від навалу зрізаних кущів. Крім того потрібно дотримуватися низки вимог: навісне устаткування піднімати та опускати потрібно після зупинки двигуна; обладнання, огорожа повинне бути справним; якщо чагарник і дерева потрапили в гусениці та інші частини кущоріза, потрібно негайно зупинити кущоріз і звільнитися від них; під час роботи в темний час доби кущоріз повинен бути оснащений приладами освітлення; на кущорізі потрібно розміщувати сигнальні червоні прапорці в світлий час доби.

Усі працівники повинні відійти від лебідки на відстань, не меншу довжини каната до пенька, який корчують.

Земляні роботи під час спорудження земляного полотна виконують відповідно до затвердженого ПВР, а також технологічних карт з забезпеченням відведення поверхневих вод відповідно до ПВР.

Спорудження земляного полотна дороги у виїмці виконується з улаштуванням узбіччя з кутом природного укосу ґрунту або з установкою шпунтової огорожі.

Під час розвантаження ґрунту з автомобіля-самоскида в насип (при русі заднім ходом до місця навантажування та розвантажування ґрунту повинні подаватися короткі звукові сигнали) відстань від осі його заднього колеса до брівки природного укосу насипу повинна бути не менше ніж 2 м, а відстань від брівки до зовнішнього колеса машини, що рухається по насипу, не менше ніж 1 м.

Під час розвантаження ґрунту працівники повинні перебувати в зоні видимості водія, але не ближче 5 м до місця відсипки ґрунту.

Укріплювальні роботи на вологій або мерзлій поверхні укосу виконувати не дозволяється. Також роботи супроводжуються під наглядом уповноваженої особи та забезпеченням запобіжними поясами працівників при роботах на укосах з ухилом понад 45°.

Під час виконання робіт на насипах і виїмках потрібно встановлювати постійний нагляд за станом укосів і у разі підмиву, деформації чи зсуву негайно

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		46

вживають заходів з виведення працівників із небезпечної зони та ліквідації деформації укосу.

З вимог безпеки під час улаштування дорожнього покриття до початку робіт ділянку виконання робіт обладнати засобами організації дорожнього руху відповідно до вимог [28]; установити безпечну зону для працівників; скласти та затвердити схему заїзду, а також виїзду автомобілів із зони робіт; знаки дорожнього руху встановлює підприємство, що виконує ці роботи; місця виконання робіт потрібно освітити у темний час доби; не дозволяється під'їжджати до брівки укосу насипу ближче ніж 1,0 м під час укладання розподільником щебню, висівок в основу дорожнього покриття; під час роботи розподільника щебню не дозволяється працівникам перебувати у біля його бункеру; працівникам потрібно перебувати з навітряної сторони від машин, що працюють під час влаштування дорожнього покриття; регулювати або ремонтувати обладнання їх під час роботи забороняється; заправляти ґрунтозмішувальну машину водою на ходу; прочищати форсунки під час її роботи; під час сильного туману та недостатньої видимості не дозволяється завантажувати асфальтобетонну суміш з автомобіля у бункер асфальтоукладача; при укладанні асфальтобетонної суміші з поверхнево-активними речовинами та активаторами потрібно користуватися герметичними окулярами та універсальними респіраторами; перед укладанням бетонної суміші бетоноукладачем стійкість рейко-форм необхідно перевіряти пробним проїздом бетоноукладача із завантаженим бункером; рухатися автомобілям-самоскидам у зоні укладання цементобетонної суміші дозволяється тільки за сигналом приймача суміші; при укладанні бетонної суміші бетоноукладачем із ковзаючими формами сторонні особи повинні перебувати на відстані не менше ніж 5 м від нього; очищати робочі органи бетоноукладача дозволяється тільки після повної зупинки двигуна; під час роботи відстань між машинами комплексу повинна бути не менше ніж 10 м; не дозволяється розподіляти суміш під час розвантаження її з кузова автомобіля; роботи з укладання та розбирання бортових каменів повинні виконуватися під наглядом

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		47

майстра при цьому не дозволяється вручну навантажувати та розвантажувати бортові камені; переносити (переміщати) вручну бортові камені повинні чотири працівника одночасно з використанням спеціальних кліщів, якщо навантаження на кожного з працівників не перевищує 50 кгс.

Під час розмітки проїзної частини вимоги безпеки обумовлюють: дотримуватися вимог [15]; місце роботи обладнують технічними засобами організації дорожнього руху відповідно до вимог [28]; при нанесенні розмітки термопластиком із використанням маркірувальних машин потрібно не допускати перегріву маркірувальної машини; працівник маркірувальної машини зобов'язаний стежити за правильною роботою газових пальників за допомогою показників манометра на редукторі газового балона; не дозволяється під час дощу використовувати газові пальники; у разі несправностей обладнання роботу негайно припиняють; не дозволяється заправляти горючими матеріалами (бензином тощо) під час роботи двигуна та запалених пальників; працівники повинні бути в комбінезонах, гумових рукавицях, захисних окулярах і респіраторях; у місцях виконання робіт повинна бути аптечка для надання першої медичної допомоги.

#### **4.2 Заходи з охорони навколишнього середовища: технології регенерації асфальтового покриття, застосування екологічних та стійких низьковуглецевих доріг**

##### *Технології регенерації асфальтового покриття*

При створенні нових ділянок дороги на напрямку Дніпро – Решетилівка застосовували технології захисту навколишнього середовища, включно з археологічними дослідженнями перед будівництвом. Встановлено, що технології регенерації асфальтового покриття (холодний і гарячий ресайклінг) сприяють охороні навколишнього середовища завдяки зменшенню впливу будівельних робіт на екосистему. Основні аспекти екологічної вигоди таких технологій:

##### 1. Скорочення використання природних ресурсів

– регенерація дозволяє повторно використовувати до 100% старого

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		48

асфальтобетону, зменшуючи необхідність видобутку щебеню, піску та бітуму;

– зниження споживання природних ресурсів сприяє захисту ландшафтів і скороченню ерозії земель.

## 2. Зменшення відходів

– використання зношеного асфальтобетону зменшує обсяг будівельного сміття, який зазвичай утилізується на звалищах;

– холодний ресайклінг не вимагає вивезення матеріалів на сміттєзвалища, оскільки роботи виконуються безпосередньо на місці.

## 3. Зниження викидів парникових газів

Холодний ресайклінг потребує менше енергії, оскільки матеріали не нагріваються, мінімізує кількість транспорту для перевезення матеріалів, що знижує викиди CO<sub>2</sub>. Застосування холодного ресайклінгу забезпечує більшу екологічність через менші викиди CO<sub>2</sub>, оскільки мінімізовано використання нових матеріалів та енергії. Застосування в проєкті автодороги Дніпро – Решетилівка нових технологій і використання вторинних матеріалів зменшує вплив на навколишнє середовище.

Гарячий ресайклінг знижує потребу у виробництві нового бітуму, який є енергоємним процесом.

4. Зменшення шумового впливу. Регенерація проводиться на місці, що зменшує шум від транспортування матеріалів і тривалості робіт.

На автомобільній дорозі Н-31 Дніпро – Решетилівка було встановлено сучасні шумозахисні екрани для зменшення акустичного впливу на прилеглі території. Основні характеристики таких екранів:

– екрани виготовляли з металу, полікарбонату, залізобетону, деревини та ПВХ. Також використовувалися зелені насадження, ґрунтові елементи та інші композитні матеріали. Полікарбонатні конструкції забезпечують прозорість, що зменшує візуальний вплив на довкілля;

– висота екранів зазвичай становить 3 – 5 метрів, залежно від конкретної ділянки та рівня шуму. Екрани монтували на ділянках дороги біля населених

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		49

пунктів, таких як села Свічкареве, Чумаки, та інші.

Такі екрани дозволили зменшити рівень шуму, створюваного транспортними засобами, і відповідають сучасним екологічним стандартам.

5. Раціональне використання промислових відходів. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві є ефективним засобом зменшення вартості матеріалів і впливу на навколишнє середовище. При регенерації можливе додавання промислових відходів, таких як зола чи металургійні шлаки, що зменшує їхній екологічний слід. Так, в Україні металургійні шлаки активно використовуються в дорожньому будівництві, зокрема, у проектах «Велике будівництво» для доріг Дніпропетровської та Запорізької областей.

6. Зниження забруднення води та ґрунту. Мінімізація переміщення матеріалів зменшує ризик розливу бітумних емульсій чи нафтопродуктів, що важливо для збереження підземних вод і ґрунтів.

В межах ініціатив «Велике будівництво» в Україні регенерація активно використовується для скорочення використання нових матеріалів і захисту екології на місцевому рівні.

#### *Застосування екологічних та стійких низьковуглецевих доріг*

Застосування екологічних та стійких низьковуглецевих доріг сприяє значному зниженню впливу дорожньої інфраструктури на навколишнє середовище, водночас забезпечуючи економічні та соціальні вигоди. Нижче наведено основні аспекти:

1. Зниження викидів парникових газів досягається за рахунок використання матеріалів із меншим вуглецевим індексом (наприклад, переробленого асфальту, шлаків) та технологій із низьким споживанням енергії суттєво знижує CO<sub>2</sub>, мінімізації перевезень матеріалів, що зменшує викиди транспортного сектора.

2. Раціональне використання ресурсів – повторне використання асфальтобетону, шлаків та золи сприяє збереженню природного каменю, піску і

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		50

бітуму. Проекти таких доріг враховують можливість подальшої переробки конструкцій.

3. Покращення якості повітря. Низьковуглецеві матеріали та процеси знижують рівень викидів забруднюючих речовин, зокрема оксидів азоту та пилу.

4. Економічні вигоди. Досягаються за рахунок менших витрати на енергомісткі матеріали, що приводить до енергозбереження. Крім того забезпечується тривалий термін служби, так як інноваційні покриття, наприклад, із додаванням полімерів або наноматеріалів, мають підвищену зносостійкість, що зменшує частоту ремонтів.

5. Поліпшення водного балансу досягається використанням водопроникних матеріалів сприяє збереженню природного циклу води, зменшенню підтоплень та поліпшенню якості стоку.

6. Соціальні переваги – це, перш за все, безшумні дороги. Зниження шуму завдяки використанню інноваційних матеріалів. Крім того естетика та комфорт. Такі дороги краще інтегруються у ландшафт, знижуючи негативний візуальний і екологічний вплив.

#### Висновки.

Технології регенерації асфальтобетону є ключовими для досягнення сталого розвитку в дорожньому будівництві. Вони забезпечують раціональне використання ресурсів, зменшують викиди та сприяють захисту природного середовища.

Екологічні та низьковуглецеві дороги є ключовим елементом сучасної інфраструктури, який дозволяє поєднати економічний розвиток з турботою про природу, знижуючи негативний вплив на екосистему та забезпечуючи сталий розвиток.

					051.ДА2321.МР.2025.000	Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		51

## ВИСНОВКИ ТА РЕКОМЕНДАЦІЇ

Базуючись на результатах проведеного огляду наукових праць щодо впливу проектних рішень на навколишнє середовище при реконструкції автомобільної дороги, в магістерській роботі розглянуто й проаналізовано різні варіанти впровадження новітніх технологій, що забезпечують ресурсозбереження й ефективність дорожнього будівництва.

Встановлено, що технології регенерації асфальтобетону є ключовими для досягнення сталого розвитку в дорожньому будівництві, так як вони забезпечують раціональне використання ресурсів, зменшують викиди й сприяють захисту природного середовища.

Екологічні та низьковуглецеві автомобільні дороги є ключовим елементом сучасної інфраструктури, який дозволяє поєднати економічний розвиток з турботою про природу, знижуючи негативний вплив на екосистему та забезпечуючи сталий розвиток.

На основі проектних матеріалів і проведеного аналізу рекомендована реалізація наукового дослідження в проекті автодороги Н-31 Дніпро – Царичанка – Кобеляки – Решетилівка.

						Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		52

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Національна транспортна стратегія України до 2030 р. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/430-2018-%D1%80#n13>.
2. Статистичні дані транспортних перевезень України [Електронний ресурс] // Державна служба статистики – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ukrstat.gov.ua/>.
3. Урядовий портал [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.kmu.gov.ua/news/uriad-vydilyv-koshty-na-vidnovlennia-dorih-v-pryfrontovykh-rehionakh-vazhlyvykh-dlia-potreb-oborony-ta-zabezpechennia-liudei-iuliia-svyrydenko-pid-chas-poizdky-na-donechchynu> .
4. Арінушкіна Н.С., Грищенко Т.М. Аналіз сучасних способів регенерації дорожніх покриттів // Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 33 (72). №6, 2022. С.270-275 – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2022.6/44>
5. О.В. Соколов, Желотобрюх А. Д., Копинець І. В., Каськів В. І. Використання відходів промисловості в дорожньому будівництві // Дороги і мости. – 2020. – Вип. 21. – С. 110-119. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2020.21.110>
6. О. В. Христинч. Дрібнозернисті заповнювачі асфальтобетонних сумішей з продуктів ресайклінгу будівельного лому // Сучасні технології, матеріали та конструкції в будівництві. – 2023. – Вип. 2. – С. 49-55. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.31649/2311-1429-2023-2-49-55>
7. О. О. Гореленко, Т. В. Вексларська. Залізобетонні, монолітні дороги. Використання відходів будівництва та уламків пошкоджених конструкцій. // XXV International Scientific and Practical Conference «Innovative trends of science and practice, tasks and ways to solve them», June 28-July 01, 2022, Athens, Greece. – 2022. – С. 48-53. – Режим доступу до ресурсу: <https://isg-konf.com/innovative-trends-of-science-and-practice-tasks-and-ways-to-solve-them-two/>

8. Nura Shehu Aliyu Yaro, Muslich Hartadi Sutanto, Lavania Baloo, Noor Zainab Habib, Aliyu Usman, Arsalaan Khan Yousafzai, Abdulaziz Ahmad, Abdullahi Haruna Birniwa, Ahmad Hussaini Jagaba and Azmatullah Noor A Comprehensive Overview of the Utilization of Recycled Waste Materials and Technologies in Asphalt Pavements: Towards Environmental and Sustainable Low-Carbon Roads // Processes 2023, 11, 2095. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.3390/pr11072095>

9. Терещенко Т.А. Аспекти успішного впровадження промислового гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону // Збірник «Дороги і мости», вип. 17. – 2017. – С.5-13. – Режим доступу до ресурсу: [http://dorogimosti.org.ua/files/upload/ilovepdf\\_com-5-13.pdf](http://dorogimosti.org.ua/files/upload/ilovepdf_com-5-13.pdf)

10. Р В.2.7-37641918-887:2017 Рекомендації з підбору складу та застосування бітумомінеральних сумішей з використанням асфальтобетонної крихти.

11. Кошторисні норми України. Настанова з визначення вартості будівництва. З урахуванням Змін №1, №2, №3, №4.

12. Decheng Feng, Jiwei Cao, Libo Gao, Junyan Yi. Recent developments in asphalt-aggregate separation technology for reclaimed asphalt pavement // Journal of Road Engineering. Volume 2, Issue 4, December 2022, Pages 332-347 – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.1016/j.jreng.2022.07.002>

13. В. І. Каськін, О. В. Соколов. Дослідження впровадження асфальтобетонних сумішей із золою-виносу // Вісник національного транспортного університету. Серія технічні науки. – 2023. – Випуск 1 (55). – С. 124-130.

14. Савенко В. Я., Ильяш С. И., Стасюк Т. А. Дослідження зміни температури розігрівання покриття в процесі гарячої регенерації асфальтобетону методом «IN-PLACE» // Технологический аудит и резервы производства, 2 (1(52), 22–24. – Режим доступу до ресурсу: <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2020.200628>

						Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		54

15. Державні будівельні норми України. Споруди транспорту. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. ДБН В.2.3-4-2015. [Текст] – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015.

16. Державні будівельні норми України. ДБН А 2.2-3:2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» зі Змінами № 1 та № 2. – 2022. – 33 с.

17. Державні будівельні норми України. Система стандартів безпеки праці. ДБН А.3.2-2:2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення». – 2009. – 116 с.

18. Національний стандарт України. ДСТУ Б В.2.8-43:2011 «Огородження інвентарних будівельних площ і ділянок виконання будівельно-монтажних робіт. Технічні умови» (ГОСТ23407-78,MOD). – 2012. – 12 с.

19. Національний стандарт України. Система стандартів безпеки праці. ДСТУ Б А.3.2-15:2011 «Система стандартів безпеки праці. Норми освітлення будівельних майданчиків» (ГОСТ 12.1.046-85, MOD). – 2012. – 14 с.

20. Національний стандарт України. ДСТУ Б А.3.2-13:2011 «Система стандартів безпеки праці. Будівництво. Електробезпека. Загальні вимоги». – 2012. – 13 с.

21. Національний стандарт України. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних від ураження електричним струмом». – 2016. – 105 с.

22. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки України зі змінами № 810 від 15.08.2016, № 657 від 31.07.2017, № 830 від 25.11.2020, № 197 від 22.03.2022, № 141 від 01.03.2023, № 474 від 11.07.2024. – 2024. – 58 с.

23. Державні будівельні норми України. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги». – 2017. – 35 с.

24. Державні будівельні норми України. ДБН В.1.2-7-2021 «Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека». – 2022. – 13 с.

									Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата					55

25. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку». – 1999. – 20 с.

26. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації». – 1999. – 27 с.

27. НПАОП 63.21-1.01-09. Правила охорони праці під час будівництва, ремонту та утримання автомобільних доріг. – 2009. – 34 с.

28. Національний стандарт України. ДСТУ 4100:2021 Безпека дорожнього руху. Знаки дорожні. Загальні технічні умови. Правила застосування. – 2021. – 144 с.

						Аркуш
Ар.	Зм.	№ докум.	Підпис	Дата		56

