

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ім. Ю.М. ПОТЕБНИ
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістра

на тему: **«КОНСТРУКТИВНІ ЗАХОДИ ПІДВИЩЕННЯ
ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ
З ІНТЕНСИВНИМ РУХОМ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ
ЗАСОБІВ»**

Виконав: магістрант 2 курсу, група 8.1922-мбг
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія
освітньо-професійної програми «Міське будівництво та
господарство»

Веремчук Семен Васильович

Керівник: доцент кафедри міського будівництва і
архітектури, канд. техн. наук **О. М. Фосташенко**

Рецензент: професор кафедри промислового та
цивільного будівництва, докт. техн. наук **В. А. Банах**

Запоріжжя
2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю. М. Потебні

Кафедра _____ міського будівництва і архітектури _____
Рівень вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 192 Будівництво та цивільна інженерія _____
Освітньо-професійна програма _____ міське будівництво та господарство _____

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« 01 » 06 20 23 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРАНТУ

Веремчук Семену Васильовичу _____

(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема роботи (проекту) Конструктивні заходи підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів
2. Строк подання роботи: 05.12.2023
3. Вихідні дані до роботи: Актуальність даної теми дослідження в нинішньому сьогоденні, ймовірність перспективного розвитку подальших теоретичних та практичних рішень, можливості впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень, очікувані методи виконання досліджень
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що належить розробити): проаналізувати та узагальнити методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; проаналізован стан питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям; розробити конструктивні заходи з відновлення нежорстких дорожніх одягів; навести приклади впровадження

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обґрунтувань
 наукового напряму досліджень, результатами експериментальних
 досліджень, доказами оптимальності запропонованих методів
 результатами числових розрахунків із застосуванням сучасних
 інформаційних методів досліджень

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Фостащенко О.М., к.т.н., доцент		
2	Фостащенко О.М., к.т.н., доцент		
3	Фостащенко О.М., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання 01.06.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Вступ	10 листопада	вип.
2.	Розділ 1 Дослідження сучасних технологій і матеріалів для будівництва доріг в Україні	20 листопада	вип.
3.	Розділ 2 Конструктивні рішення для підвищення довговічності дорожнього одягу	1 грудня	вип.
4.	Розділ 3 Впровадження конструктивних заходів з підвищення довговічності дорожнього покриття при інтенсивному русі великовантажних транспортних засобів	5 грудня	вип.
5.	Попередній захист	10 грудня	вип.

Студент

(підпис)

С.В. Веремчук

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

О.М. Фостащенко

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

(підпис)

І.В. Гребенюк

(ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Веремчук С.В. Конструктивні заходи підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів.

Кваліфікаційна робота для здобуття другого ступеня вищої освіти за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник О.М Фостащенко. Інженерний науково-навчальний інститут ім. Ю.М.Потебні Запорізького національного університету, кафедра міського будівництва і архітектури, 2023.

Доведено, що стан дорожнього покриття має важливе значення для забезпечення ефективності та безпеки руху на дорозі. Запропоновані структурні заходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів. Рекомендації, що були розроблені, спрямовані на системне підвищення ефективності заходів з удосконалення міцності нежорстких дорожніх покриттів в умовах України.

Відомості про публікації здобувача.

1. Моніторинг та удосконалення інженерних об'єктів систем водовідведення автомобільних доріг – тези доповіді на III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

2. Концепції розвитку сучасних міських парків – тези доповіді на XVI Університетська науково-практична конференція студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2023». Запоріжжя : ЗНУ, 2023. Т.5. 429 с. С. 149-152.

Ключові слова: АВТОМОБІЛЬНІ ДОРОГИ, ЗАХОДИ З ВІНОВЛЕННЯ, ДОРОЖНІЙ ОДЯГ, КОНСТРУКТИВНІ ЗАХОДИ, ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ, ІНТЕНСИВНИЙ РУХ , ВЕЛИКОВАНТАЖНІ ТРАНСПОРТНІ ЗАСОБИ

ABSTRACT

Veremchuk S. Constructive measures of increasing of the durability of road clothes on highways with intensive traffic of heavy-duty vehicles.

Qualifying thesis for obtaining a master's degree of higher education, majoring in urban construction and economy, scientific supervisor is Fostashchenko H. Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu. M. Potebnia, Department of Urban Construction and Architecture, 2023.

It has been proven that the condition of the road surface is important for ensuring the efficiency and safety of traffic on the road. The proposed structural measures are aimed at increasing the reliability of highways with intensive traffic of heavy-duty vehicles. The recommendations that were developed are aimed at systematically increasing the effectiveness of measures to improve the strength of non-rigid road surfaces in the conditions of Ukraine.

List of publications of a student:

1. Моніторинг та удосконалення інженерних об'єктів систем водовідведення автомобільних доріг – тези доповіді на III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

2. Концепції розвитку сучасних міських парків – тези доповіді на XVI Університетська науково-практична конференція студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода наука-2023». Запоріжжя : ЗНУ, 2023. Т.5. 429 с. С. 149-152.

Key words: MOTOR ROADS, RECOVERY MEASURES, ROAD CLOTHING, CONSTRUCTIVE MEASURES, INCREASING THE DURABILITY OF ROAD SURFACES, INTENSIVE TRAFFIC, HEAVY DUTY VEHICLES

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ В УКРАЇНІ	10
1.1 Вплив інтенсивності руху великовантажного транспорту на стан дорожнього покриття	10
1.2 Сучасні технології для відновлення дорожніх одягів з урахуванням великовантажного навантаження.....	17
1.3 Актуальні проблеми колійності на нежорстких дорожніх покриттях.....	20
РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ	34
2.1 Обґрунтування вибору оптимальної конфігурації дорожнього покриття автомобільних доріг	34
2.2 Застосування геосинтетичних матеріалів в конструкціях доріг.....	48
2.3 Підсилення земляного полотна	53
РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ ПРИ ІНТЕНСИВНОМУ РУСІ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ	61
3.1 Конструктивні рішення з підвищення довговічності асфальтобетону з урахуванням великовантажного навантаження	61
3.2 Конструктивні заходи з технології армування асфальтобетонного покриття з урахуванням великовантажного навантаження	67
3.3 Конструктивні заходи підвищення довговічності армування укосів	72
3.4 Конструктивні заходи щодо проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної колієстійкості.....	79
3.5 Рекомендації з підвищення довговічності та конструктивних заходів з відновлення міцності дорожнього одягу з інтенсивним рухом	86
ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	98

ВСТУП

Актуальність проблеми. Автомобільні дороги як найважливіша складова транспортної інфраструктури є необхідною передумовою економічного і соціального розвитку держави. Від них залежить не тільки ефективність роботи промисловості, сільськогосподарського виробництва, а й забезпечення належного життєвого рівня людей та обороноздатності країни.

Актуальність дослідження стану дорожнього одягу в умовах інтенсивного руху великовантажних транспортних засобів нещодавно стала визначальною у відносинах з розвитком та ефективністю автомобільних транспортних систем. Зростання об'ємів вантажоперевезень, підвищення навантаження на дорожні покриття, а також недоліки в конструкції та матеріалах використовуваних для будівництва доріг призводять до необхідності вивчення та вирішення проблеми зносу та руйнування дорожнього одягу.

В останні десятиліття спостерігається значний приріст вантажоперевезень внаслідок економічного зростання та міжнародної торгівлі. Інтенсивний рух великовантажних транспортних засобів, таких як вантажівки та великі автобуси, створює великий тиск на дорожній одяг, що може викликати прискорений знос та руйнування.

Автомобільні дороги в Україні, спроектовані для навантаження 60 кН/вісь, швидко піддаються руйнуванню, оскільки більшість сучасних автотранспортних засобів мають інші розрахункові параметри (100 – 130 кН/вісь). Це породжує необхідність підвищення вимог до транспортно-експлуатаційного стану автомобільних доріг і вимагає розробки оптимальної конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу.

Навантаження, пов'язане з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів, породжує низку негативних впливів на дорожнє покриття. Перевищення допустимих навантажень, тертя, ударні навантаження при гальмуванні, агресивні погодні умови та хімічні впливи зі

солі та інших матеріалів спричиняють пошкодження та знос асфальтового покриття.

Розробники інфраструктурних проєктів постійно шукають інноваційні технології та матеріали для покращення якості та тривалості дорожнього одягу. Застосування високоміцних асфальтобетонів, розробка нових формул для будівництва доріг, а також використання додаткових захисних шарів може допомогти підвищити тривалість дорожнього покриття.

Україна широко використовує конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу, а серед сучасних технологій відновлення таких доріг найбільш передовою є технологія холодного ресайклінгу.

Ураховуючи потенційно великий обсяг робіт з ремонтів та реконструкції автомобільних доріг з асфальтобетонним покриттям в Україні, можна прогнозувати широке впровадження різних технологій ресайклінгу дорожнього асфальтобетону.

Виходячи з вищевикладеного, розробка конструктивних заходів підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів в умовах України є однією з головних складових підвищення надійності функціонування доріг.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Випускна робота виконана відповідно з планами науково-дослідних робіт кафедри міського будівництва і архітектури Запорізького національного університету.

В основу роботи покладено теоретичні дослідження та практичні розробки конструктивних заходів підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів.

Метою роботи є дослідження та розробка конструктивних заходів з відновлення дорожнього одягу в умовах України.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачене рішення наступних задач:

- проаналізувати та узагальнити методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг;
- проаналізувати нормативну базу та результати досліджень щодо сучасних конструктивних заходів з відновлення нежорстких дорожніх одягів;
- проаналізувати стан питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям;
- навести конструктивних заходів з відновлення нежорстких дорожніх одягів;
- розробити практичні заходи щодо підвищення довговічності дорожнього одягу.

Об'єкт дослідження – конструктивні заходи підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг України.

Предмет дослідження є впровадження сучасних конструктивних заходів з підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг України.

Методи дослідження. В процесі опрацювання роботи застосовано метод аналізу та узагальнення; теоретичних досліджень, заснованими на сучасних досягненнях в області теорії та практики підвищення надійності конструкцій автомобільних доріг згідно сучасних нормативних документів.

Джерела дослідження. Під час дослідження теми були використані наукові статті в періодичних виданнях, монографії, дисертаційні рукописи, збірки тез доповідей науково-практичних конференцій, інтернет-ресурси наукових електронних бібліотек.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- досліджені та узагальнені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг;
- відновлення нежорстких дорожніх одягів;
- проаналізована нормативна базу та результати досліджень щодо сучасних конструктивних заходів з підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг України;

- проаналізовано стан питання забезпечення довговічності дорожнього одягу з асфальтобетонним покриттям;
- наведені конструктивні заходи з відновлення нежорстких дорожніх одягів;
- розроблені практичні заходи щодо підвищення довговічності дорожнього одягу.

Практичне значення одержаних результатів полягає у розробці конструктивних заходів, що спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг в умовах України. Доведено, що стан дорожнього одягу є ключовим елементом, який визначає ефективність та безпеку руху на дорозі.

Особистий внесок автора. Наведені конструктивні заходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг в умовах України. Розроблені рекомендації з комплексного підвищення конструктивних заходів з відновлення міцності нежорстких дорожніх одягів в умовах України.

Відомості про апробацію результатів роботи. Апробація роботи – за результатами досліджень опубліковано тези доповіді на III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

Відомості про публікації здобувача. Моніторинг та удосконалення інженерних об'єктів систем водовідведення автомобільних доріг – тези доповіді на III Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України». Запоріжжя : ЗНУ, 2023.

Структура та обсяг кваліфікаційної роботи магістра. Робота складається з вступу, трьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 103 сторінках, 9 таблиць, 20 рисунків. Для написання даної роботи використано 54 літературних джерела.

РОЗДІЛ 1 ДОСЛІДЖЕННЯ СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ І МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ БУДІВНИЦТВА ДОРІГ В УКРАЇНІ

1.1 Вплив інтенсивності руху великовантажного транспорту на стан дорожнього покриття

Інтенсивний рух великовантажного транспорту є значущим фактором, що впливає на стан дорожнього покриття. Зростаючий обсяг вантажоперевезень та розвиток економіки призводять до посилення використання великовантажних транспортних засобів, що має вагомий вплив на якість та тривалість дорожнього покриття.

Зростання міжнародної торгівлі та розвиток економіки призводять до постійного збільшення кількості великовантажних транспортних засобів на дорогах. Вантажівки, які перевозять великі об'єми вантажів, стають неодмінною ланкою у ланцюгу постачання, але їх інтенсивний рух може суттєво впливати на стан дорожнього покриття.

Однією з основних проблем, що виникає внаслідок інтенсивного руху великовантажного транспорту, є знос та руйнування дорожнього покриття. Велика вага вантажівок та постійні навантаження призводять до швидкого стирання верхнього шару асфальтового покриття, а їхні великі колеса часто руйнують його структуру.

Інтенсивний рух великовантажного транспорту створює декілька ключових механізмів впливу на дорожнє покриття. По-перше, великі ваги вантажівок створюють високий тиск на асфальтове покриття, що може призводити до його стискання та ущільнення. По-друге, постійні вібрації та удари від великовантажного руху можуть викликати мікропошкодження асфальту, що в кінцевому підсумку призводить до виникнення тріщин та ям.

Для зменшення впливу великовантажного транспорту на стан дорожнього покриття, необхідно вживати ефективні заходи. Використання високоміцних матеріалів для будівництва доріг, розробка спеціальних технологій асфальтобетону, а також системи контролю вантажопідйому можуть сприяти підвищенню стійкості та довговічності дорожнього покриття.

Тенденція перевантаження дорожнього покриття свідчить про вплив великотонажних транспортних засобів із надмірними осевими навантаженнями, що перевищують встановлені нормативами для проектування гнучких дорожніх покриттів [1]. Для адаптації розрахункових навантажень до реальних умов доріг у нормативних документах [1, 12] прийнято значення навантаження 115 кН, проте це вже не відповідає тенденціям розвитку автомобільного транспорту. Дослідження та подальше удосконалення методів розрахунку і конструювання дорожніх покриттів, які досвідчують деформації та руйнування внаслідок перевищення розрахункового навантаження, є необхідними.

Під час експлуатації дорожнього покриття виникають та накопичуються різні пластичні деформації у формі колії. Це явище пов'язане з недостатньою стійкістю до деформацій асфальтобетонних шарів, шарів без зв'язку та основи у конструкції дорожнього покриття. Колія утворюється внаслідок деформації поперечного профілю проїзної частини, виражаючись в утворенні ущільнень в смугах накату з гребенями або без них.

Під час експлуатації автомобільних доріг, під впливом природно-кліматичних умов, властивостей будівельних матеріалів та постійного збільшення інтенсивності руху з високою швидкістю та вантажопід'ємністю автотранспортних засобів, структура дорожнього покриття може втрачати поздовжню та поперечну рівність, навіть при дотриманні норм проектування та будівництва. Внаслідок цього на дорожньому покритті активно накопичуються пластичні деформації, що призводить до значного збільшення динамічного впливу від руху автомобілів на структуру дорожнього покриття та зменшення рівня безпеки руху [12].

На рис. 1.1 нижче представлені результати аналізу колійності на асфальтобетонному покритті гнучкого дорожнього покриття автомобільних доріг України.

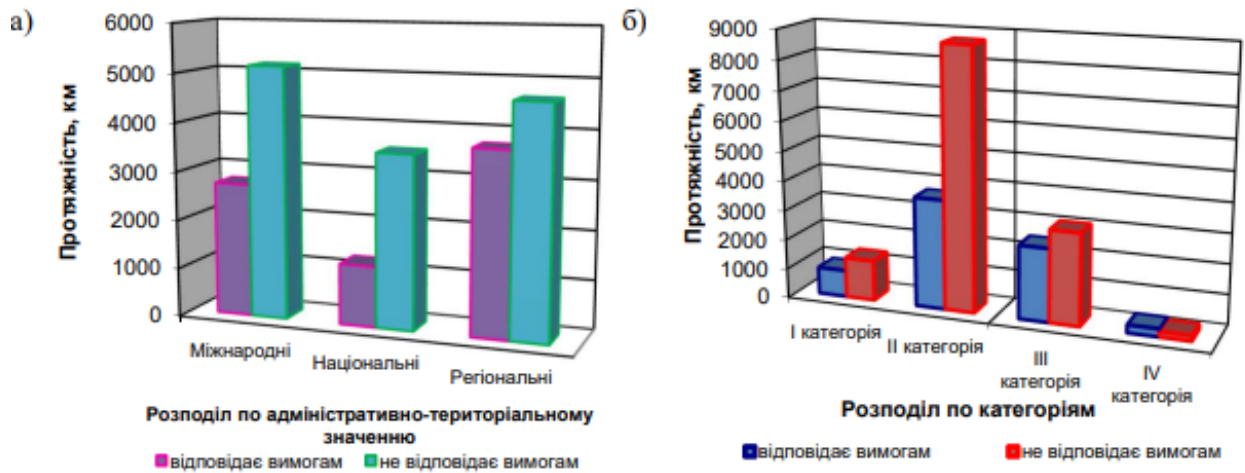


Рисунок 1.1 – Результати колійності нежорсткого дорожнього одягу на асфальтобетонному покритті [12]:

- а) в залежності від адміністративно-територіального значення;
- б) категорії

Внаслідок повторних навантажень від руху транспортних засобів відбувається накопичення стійких деформацій, які виявляються у формі поздовжньої деформації – колії на асфальтобетонному покритті. Колія на асфальтобетонному покритті представляє собою углиблення у напрямку руху на проїзній частині, що формуються вздовж смуги накату під впливом руху транспортних засобів.

Також, при гальмуванні та прискоренні автотранспорту, в верхньому шарі дорожнього покриття виникають горизонтальні напруження, що призводять до утворення хвиль. Ці хвилі беруть участь у формуванні стійких деформацій, які, в свою чергу, залежать від інтенсивності транспортного потоку.

Тому необхідно дослідження та подальше вдосконалення методів розрахунку та проектування дорожніх покриттів для вивчення деформацій та

пошкоджень асфальтобетонного покриття, які виникають внаслідок навантаження, що перевищує розрахункові значення.

Недооцінка впливу обсягу транспортного потоку призводить до зниження стійкості дорожньої конструкції, що виявляється у передчасних деформаціях дорожнього покриття.

Під впливом навантаження від коліс транспортних засобів утворюється чаша прогину на покритті, розмір якої залежить від тривалості та величини прикладеного навантаження [11]. Радіус кривизни поверхні під колесом автомобіля та її діаметр визначають прогин цієї частини дороги. За цими параметрами враховується взаємодія між покриттям та основою, що далі передає навантаження на ґрунт земляного покриття, фізико-механічні властивості якого враховуються при проектуванні дорожніх покриттів. При розробці та оцінці міцності гнучких дорожніх покриттів, пружний прогин визначає основний показник стійкості.

Повторне навантаження на асфальтобетонне покриття виникає від різних видів транспортних засобів у транспортному потоці з характерними періодами впливу. Це включає вантажний транспорт, який рухається повільно, та легковий, який має менший вплив на конструкцію гнучкого дорожнього покриття через коротший час впливу.

Під час використання автомобільної дороги спостерігається зношення покриття, яке збільшується зі зростанням обсягу транспортного руху. Кількість та тривалість навантаження впливають на невідновне пошкодження гнучких шарів дорожнього покриття, проявляючись у неповерненних деформаціях верхнього шару.

На сучасному етапі в Україні розрахунок та конструювання нежорстких дорожніх покриттів регулюється нормативним документом [2]. Згідно з цими нормами процес розрахунку та конструювання дорожніх покриттів нежорсткого типу базується на трьох критеріях:

- максимально допустимому пружному прогині;
- опору зсуву в ґрунтах і шарах, виготовлених з малозв'язних матеріалів;

- опору розтягу під час згину.

Було встановлено, що для значної кількості транспортних засобів із відстанню між осями більше 1,3 метра нормативне навантаження, визначене згідно з [2], перевищує розрахункове. Це означає, що для доріг III категорії та нижче дозвіл на рух транспортних засобів з навантаженням на вісь, що перевищує допустиме, не відповідає встановленим нормам. За останні роки частка важких багатовісних транспортних засобів значно зросла на автомобільних дорогах України. Це породжує проблему міжнародного транзиту, яка передбачає допустиме навантаження до 130 кН/вісь [1].

Під час проектування дорожніх покриттів використовують розрахункові значення навантажень відповідно до [1], які відображають граничні навантаження на вісь автомобілів (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1 - Нормовані навантаження, що відповідають граничним навантаженням на вісь автомобілів [1]

Група розрахункового навантаження	Нормативне статичне навантаження на вісь, кН	Нормативне статичне навантаження на поверхню покриття від колеса розрахункового автомобіля, $Q_{розр}$, кН	Розрахункові параметри навантаження		
			p , МПа	D_n , см	D_d , см
A1	115	57,5	0,80	30,0	34,5
A2	100	50	0,60	33,0	37,0
Б	60	30	0,50	28,0	32,0

Сумарний коефіцієнт приведення визначають за формулою:

$$S_{ісум} = \sum_1^m S_n, \quad (1.1)$$

де n - кількість осей на даному транспортному засобі, для визначення коефіцієнта $S_{ісум}$, який приводить його до розрахункового навантаження.

S_n – Коефіцієнт приведення номінального динамічного навантаження від кожного колеса з кожної з n осей транспортного засобу до розрахункового динамічного навантаження можна визначити як S , де:

$$S = N_n / N_d \text{ де:}$$

N_d - розрахункове динамічне навантаження,

N_n - номінальне динамічне навантаження від одного колеса з кожної з n осей.

Результати проведених досліджень [10-12] вказують на те, що вплив транспорту на виникнення деформацій і руйнувань проявляється при зростанні інтенсивності руху та скороченні інтервалів між проїздами автомобілів. При збільшенні інтенсивності транспортного потоку, в той час між проїздами автомобілів стає мінімальним, конструкція гнучкого дорожнього покриття не має достатнього часу для повного відновлення від впливу колісного навантаження попереднього транспортного засобу. Це призводить до зростання прогину, що веде до накопичення внутрішніх напружень у матеріалі, що містить органічні в'язучі речовини.

Природно-кліматичні фактори також впливають на міцність конструкції гнучкого дорожнього покриття. Температура покриття впливає на властивості матеріалів із вмістом органічних в'язучих речовин. Підвищення температури сприяє зміні фізико-механічних властивостей асфальтобетону, зменшуючи модуль пружності та зсувостійкість та збільшуючи пластичність. Зволоження ґрунту земляного покриття та інших матеріалів, що використовуються в гнучкому дорожньому одязі, призводить до зменшення їх міцнісних і деформаційних характеристик. Малорозмірність мінеральної частини ґрунту лінійно впливає на зменшення опору зсуву, що в свою чергу впливає на утворення колії. Враховуючи зовнішні впливи, такі як температура і транспортне навантаження, разом із внутрішніми процесами зміни структури та складу асфальтобетону, а також з технологією будівництва та конструкцією гнучкого дорожнього покриття, можна передбачити утворення колії [12].

Фактори, що призводять до утворення залишкових деформацій у конструкції дорожнього покриття, можна класифікувати за видами [11]:

1. Зношення верхнього шару асфальтобетонного покриття внаслідок впливу коліс автомобілів, що відбувається без руйнування більш глибоко розташованих асфальтобетонних шарів.

2. Ущільнення верхнього шару асфальтобетонного покриття під впливом коліс автомобілів, що відбувається без виявлених ознак руйнування більш глибоко розташованих асфальтобетонних шарів.

3. Утворення пластичних деформацій у всіх асфальтобетонних шарах покриття та основи. Цей процес настає в результаті осідання та додаткового ущільнення глибше розташованих шарів дорожньої конструкції під дією важкого транспорту та інтенсивного транспортного потоку, особливо при високій температурі повітря та покриття влітку, а також за низьких фізико-механічних властивостей асфальтобетону.

4. Акумуляція залишкових деформацій у нестабільних шарах дорожнього покриття, що знаходяться понизьку від верхніх шарів покриття, або в ґрунтовому полотні.

5. Неприйнятні властивості асфальтобетону в конструктивних шарах, які не відповідають експлуатаційним вимогам асфальтобетонного покриття. Це може призводити до утворення напливів, зсувів та хвиль.

Освоєння пластичних деформацій під впливом природно-кліматичних факторів. Причинами деформацій асфальтобетонного покриття можуть бути низька водо- та морозостійкість асфальтобетону, зсув перезвожених дискретних матеріалів та ґрунтів.

Недостатня зсувостійкість шарів асфальтобетонного покриття чи асфальтобетонної основи призводить до перерозподілу матеріалу покриття, що сприяє більш інтенсивному утворенню колій. Це може включати стирання верхнього шару покриття в смузі накату, доущільнення шарів дорожнього одягу, відшаровування верхнього шару та пластичне деформування шарів дорожнього покриття.

1.2 Сучасні технології для відновлення дорожніх одягів з урахуванням великовантажного навантаження

Дорожні одяги в сучасному світі є необхідною складовою інфраструктури для забезпечення комфортного та безпечного руху транспортних засобів. Зростання великовантажного навантаження, яке перевозиться по дорогах, ставить перед інженерами та дорожніми службами завдання з розробки та впровадження сучасних технологій для відновлення дорожніх одягів та забезпечення їхньої довговічності та надійності.

Збільшення великовантажних перевезень ставить під загрозу дорожню інфраструктуру, що призводить до руйнування асфальтових покриттів та деформацій дорожнього покриття. Високі температурні режими, агресивні хімічні середовища та постійні навантаження створюють серйозні труднощі для підтримання високої якості дорожніх одягів.

Однією з ефективних технологій відновлення дорожніх покриттів є гаряча рецикляція асфальту. Цей процес включає в себе збирання старого асфальту, його обробку та повторне використання для покладання нового шару покриття. Такий метод зменшує витрати матеріалів та енергії, а також зменшує кількість відходів.

Введення високоміцних матеріалів, які володіють великою стійкістю до навантажень, є іншою важливою технологічною інновацією. Використання композитних матеріалів, полімерів та адитивів може значно підвищити міцність дорожнього покриття та забезпечити його стійкість до деформацій. Застосування сенсорної технології дозволяє стежити за станом дорожнього покриття в режимі реального часу. Вбудовані сенсори можуть виявляти пошкодження та деформації, надаючи оперативну інформацію для проведення ремонтних робіт.

Відповідно до світової практики в будівництві доріг, технології ресайклінгу асфальтобетону класифікуються в залежності від виду та

призначення робіт, а також діапазону температур процесів виготовлення і застосування регенерованих сумішей [10]:

- Гарячий ресайклінг - це промисловий ресайклінг, при якому регенеровані гарячі асфальтобетонні суміші (РГС) виготовляються у змішувальних установках (Hot Recycling; HR).

- Гарячий ресайклінг методом "на дорозі" - це ресайклінг, під час якого регенеровані гарячі асфальтобетонні суміші змішуються прямо на дорозі (Hot-in-place recycling; HIR).

- Холодний ресайклінг - це промисловий ресайклінг, при якому регенеровані холодні суміші виготовляються у змішувальних установках (Cold Recycling; CR).

- Холодний ресайклінг методом "на дорозі" - це ресайклінг, під час якого регенеровані холодні суміші змішуються прямо на дорозі з обробкою матеріалу на неповну товщину асфальтобетонного шару (Cold-in-place recycling; CIPR).

- Глибока регенерація [дорожнього одягу] - це холодний ресайклінг матеріалу на повну товщину асфальтобетонного шару з використанням дисперсних матеріалів, розташованих нижче шару (Full-depth-reclamation; FDR). Методи гарячого ресайклінгу використовуються при влаштуванні (ремонті) шарів асфальтобетонного покриття, а методи холодного ресайклінгу - переважно для влаштування укріплених або стабілізованих шарів основ дорожнього одягу.

Серед сучасних технологій відновлення нежорстких дорожніх покриттів, особливо передовою вважається технологія холодного ресайклінгу.

Розвиток сучасних технологій холодного ресайклінгу як в Україні, так і за кордоном, відбувається за допомогою пошуку нових в'язучих речовин і добавок [8, 10].

Наприклад, у 1986 році французька фірма Colas представила комбіновану в'язучу речовину під назвою "Стабіколь", яка представляє собою суміш гідралічного в'язучого та бітумної емульсії [5, 6].

У деяких країнах світу були розроблені рекомендації для розрахунку товщини відновлених шарів, використовуючи цемент [4, 5, 6]. Процес відновлення конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу проводився за допомогою ресайклера WR2500 та суспензатора WM400 від компанії Wirtgen. Використання комбінованого в'язучого (бітум БНД 90/130 – 2,2-3 %; цемент М500 – 3,5-4 %; вода – 2%) впливало на процес ресайклінгу.

Дослідження показали, що найвищу відновлюваність проявляв асфальтобетонний гранулят при використанні комплексного в'язучого. Були проведені дослідження цементно-асфальтобетонних сумішей з різним вмістом бітуму та емульсії, де мінеральна частина складалася з піску та мінерального порошку. Підбір сумішей відбувався за методикою, звичайною для асфальтобетону. Результати досліджень показали, що цементно-асфальтобетон має значно кращі характеристики міцності, модуля пружності, водостійкості і морозостійкості порівняно з матеріалом на основі бітумної емульсії. Матеріал, що містив бітумну емульсію і цемент як в'язучі компоненти, менше чутливий до погодно-кліматичних впливів [12].

Також, німецький вчений Glet W. проводив дослідження властивостей асфальтобетонного грануляту без додавання заповнювача [35]. Згідно з результатами експериментальних досліджень, він прийшов до висновку, що оптимальними є склади сумішей з відношенням цементу до бітуму (Ц/Б) від 40/60 до 50/50.

Українська технологія холодного ресайклінгу є менш розвиненою, ніж в інших країнах світу. Аналіз останніх досліджень та публікацій у галузі холодної регенерації нежорстких дорожніх покриттів показав, що як в Україні, так і світі протягом останніх тридцяти років приділялося значна увага наступним аспектам:

- Вдосконалення технології холодного ресайклінгу;
- Розробка та вдосконалення машин та механізмів для здійснення холодного ресайклінгу;

- Покращення підходів до визначення складу ресайклірованої органічно-мінеральної суміші;
- Розширення видів в'язучих речовин;
- Вдосконалення видів добавок.

Визначення оптимальної конструкції дорожнього покриття практично неможливо без оцінки його міцності та деформативності. На підставі оцінки напружено-деформованого стану дорожньої конструкції приймаються рішення щодо необхідності проведення ремонтно-відновлювальних робіт за певною технологією та визначення товщини конструктивних елементів дорожнього покриття.

Застосування сучасних технологій для відновлення дорожніх одягів при великовантажних перевезеннях має ряд переваг. Зокрема, це включає зменшення витрат на ремонт та підтримку інфраструктури, підвищення безпеки руху транспорту та зменшення негативного впливу на довкілля.

Сучасні технології відновлення дорожніх одягів з урахуванням великовантажного навантаження відкривають нові можливості для створення стійких та ефективних доріг. Використання гарячої рецикляції асфальту, високоміцних матеріалів та сенсорної технології сприяє створенню довговічних та безпечних дорожніх покриттів, що відповідають вимогам сучасного транспортного руху.

1.3 Актуальність проблеми колійності на нежорстких дорожніх покриттях

При експлуатації дорожнього покриття на його поверхні виникають та накопичуються різноманітні пластичні деформації у вигляді колій, які пов'язані із недостатньою стійкістю до деформацій асфальтобетонних шарів, незв'язних шарів та основи конструкції дорожнього покриття.

Колія виникає внаслідок деформації поперечного профілю дорожньої частини, яка виявляється у вигляді поглиблень по смугах накату з гребенями або без них.

Проблема колійності на нежорстких дорожніх покриттях є актуальним завданням для інфраструктурних планувальників та інженерів у зв'язку зі зростанням обсягів транспортних перевезень та великовантажних навантажень. Це завдання набуває особливого значення в умовах постійного збільшення автомобільного парку та транспортного потоку. Розв'язання проблеми колійності має стратегічне значення для забезпечення безпеки руху, тривалої експлуатації доріг та оптимізації витрат на їх утримання.

Значний вплив на стан доріг має збільшення великовантажних перевезень. Висока концентрація навантажень в окремих точках призводить до деформацій та утворення колій, що в свою чергу призводить до руйнування нежорстких дорожніх покриттів.

Актуальність проблеми також обумовлена необхідністю підтримання високого технічного стану дорожніх покриттів для забезпечення безпеки руху та комфорту водіїв. Тривалість служби дороги і безпека на ній визначаються, серед іншого, стійкістю покриття до колійності та його здатністю витримувати інтенсивні навантаження.

Структура нежорсткого дорожнього покриття відчуває різноманітний статичний та динамічний вплив, що виникає від навантаження коліс автотранспорту. Цей вплив призводить до оборотних та необоротних деформацій, і термін служби автомобільної дороги залежить від характеру та масштабів цих деформацій.

Також, під час експлуатації автомобільної дороги, внаслідок впливу природно-кліматичних факторів, характеристик будівельних матеріалів та постійного зростання інтенсивності руху з високою швидкістю та вантажопід'ємністю транспортних засобів, конструкція дорожнього покриття, навіть при врахуванні норм проектування та будівництва, втрачає поздовжню та поперечну рівність. Це призводить до інтенсивного

накопичення пластичних деформацій, що значно збільшує динамічний вплив від руху автомобілів на конструкцію дорожнього покриття та знижує рівень безпеки руху.

Процес утворення колії супроводжується накопиченням залишкових деформацій і структурних пошкоджень, які можуть виникати в одному чи декількох шарах дорожньої конструкції.

Зміна транспортних навантажень потребує постійного удосконалення конструкцій дорожніх покриттів і методів їх розрахунку.

У дослідженнях деяких авторів ретельно розглянуто виникнення прогинів у дорожній конструкції під впливом автомобільного транспорту. Вертикальні деформації породжують напруження, які проникають на значну глибину дорожньої конструкції.

За результатами досліджень встановлено, що напруження на поверхні покриття визначаються сумою нормальних сил, що передаються на горизонтальну поверхню покриття пневматичними колесами стоячого автотранспортного засобу. Виявлено, що прогин конструкції збільшується зі зростанням питомого тиску від колеса автомобіля на дорожнє покриття та зменшенням його площі відбитку.

Внаслідок многоразового навантаження від руху транспортних засобів накопичуються незворотні деформації, що виявляються у виникненні поздовжньої деформації – колії асфальтобетонного покриття. Колія представляє собою поглиблення в напрямку руху по проїзній частині, що утворюється вздовж смуги накату під впливом транспортних засобів.

Горизонтальні напруження в верхньому шарі дорожнього покриття виникають під час гальмування та прискорення автотранспорту, спричиняючи утворення хвиль, які беруть участь у процесі накопичення незворотніх деформацій, що залежать від транспортного потоку.

Розрізнення між динамічним та статичним навантаженням включає наступне:

- при динамічному навантаженні виникають менші вертикальні деформації через тривалість навантаження;
- хвильові процеси на поверхні покриття зростають зі збільшенням швидкості руху транспортних засобів;
- при динамічному навантаженні напруження в конструкції дорожнього покриття та ґрунті земляного полотна швидше пригнічуються;
- релаксація дорожнього покриття відбувається за час, еквівалентний періоду пружної хвилі, що поширюється від транспортного засобу.

При циклічному впливі з послідовним збільшенням кількості циклів навантаження виникає зростання дефектів. Однак вплив надмірних навантажень на покриття під час циклічного впливу інтерпретується як лінійна інтегральна величина, що не відображає реальних фізичних процесів утворення залишкової деформації в асфальтобетонному покритті.

Тенденція навантаження на конструкцію дорожнього покриття свідчить про вплив великотоннажного транспорту з надмірними осьовими навантаженнями, що перевищують розрахункові, встановлені діючими нормативними документами для проектування нежорстких дорожніх покриттів [1]. Для відображення реальних дорожніх умов у нормативній документації прийнято використовувати навантаження 115 кН, але й це значення вже не відповідає сучасним тенденціям розвитку автомобільного транспорту.

Недооцінка впливу обсягу транспортного потоку призводить до зниження міцності дорожньої конструкції, що виявляється в передчасних деформаціях дорожнього покриття. Також під впливом колісного навантаження на покритті утворюється чаша прогину, розмір якої залежить від часу і величини навантаження, що прикладається. Чаша прогину характеризується радіусом кривизни поверхні покриття під колесом автомобіля та діаметром, і ці параметри враховуються при оцінці міцності дорожнього покриття. При проектуванні і оцінці міцності нежорстких дорожніх покриттів пружинний прогин є основним показником міцності.

Вплив повторного навантаження на асфальтобетонне покриття походить від різних видів транспортних засобів у транспортному потоці з характерним часом дії. Вантажний транспорт, що рухається повільно, та легковий транспорт, який має менший час впливу на конструкцію нежорсткого дорожнього покриття, обидва вносять свій внесок у ці процеси.

Під час експлуатації автомобільної дороги відбувається пошкодження покриття, і цей процес прискорюється зі збільшенням транспортного потоку. Кількість та тривалість дії прикладеного навантаження впливають на втомне руйнування шарів нежорсткого дорожнього покриття. Це проявляється у виникненні незворотних деформацій верхнього шару покриття у вигляді колії асфальтобетонного покриття та утворенні тріщин на поверхні.

Результати досліджень підтверджують, що вплив транспорту на утворення деформацій і руйнувань збільшується разом з інтенсивністю руху та зменшенням інтервалу між проїздами автомобілів. При зростанні інтенсивності руху, коли інтервали між автомобілями стають мінімальними, конструкція нежорсткого дорожнього покриття не має достатнього часу для повного релаксації від впливу колісного навантаження попереднього транспортного засобу, і наступний автомобіль тисне на вже знехтуване покриття. Це спричинює збільшення прогину, що призводить до накопичення внутрішніх напружень у матеріалі, що містить органічні в'язучі речовини.

Також природно-кліматичні фактори мають значущий вплив на міцність конструкції нежорсткого дорожнього покриття. Температура покриття впливає на властивості матеріалів з органічними в'язучими речовинами. Підвищення температури сприяє зміні фізико-механічних властивостей асфальтобетону, при підвищених температурах зменшується модуль пружності і зсувостійкість, а пластичність збільшується.

Вологість ґрунту земляного полотна та ряду матеріалів, використовуваних у нежорсткому дорожньому покритті, спричиняє пониження їх міцнісних і деформаційних характеристик. Крім того, лінійне

зменшення розміру зерен мінеральної частини прирівнюється до зменшення опору зсуву, що впливає на утворення колії внаслідок відбору матеріалів, вибору складу суміші та ступеня ущільнення для створення твердого структурного каркасу.

Враховуючи зовнішні фактори, такі як температура та транспортне навантаження, які взаємодіють із внутрішніми процесами зміни структури та складу асфальтобетону, а також із технологією будівництва та конструкцією нежорсткого дорожнього покриття, можна прогнозувати утворення колії.

Причини утворення залишкових деформацій конструкції дорожнього покриття можна класифікувати наступним чином:

- стирання верхнього шару асфальтобетонного покриття під впливом коліс автомобілів без руйнування нижчерозташованих асфальтобетонних шарів;
- ущільнення верхнього шару асфальтобетонного покриття, викликане впливом коліс автомобілів, без ознак руйнування нижчерозташованих асфальтобетонних шарів;
- виникнення пластичних деформацій у всіх асфальтобетонних шарах покриття та основі внаслідок осідання та додаткового ущільнення нижчерозташованих шарів під дією важкого транспорту та інтенсивного транспортного потоку при високій температурі повітря та покриття влітку, при низьких фізико-механічних властивостях асфальтобетону;
- накопичення залишкових деформацій у нестабільних шарах дорожнього покриття, розташованих нижче шарів покриття або в земляному полотні;
- незадовільні властивості асфальтобетону конструктивних шарів відносно існуючих вимог експлуатації асфальтобетонного покриття, що може призводити до напливів, зсувів та хвиль;
- виникнення пластичних деформацій внаслідок впливу природно-кліматичних факторів.

Недостатня здатність шарів асфальтобетонного покриття чи асфальтобетонної основи до опору зсуву призводить до переміщення

матеріалу покриття, що сприяє інтенсивному утворенню колії. Цей процес включає стирання верхнього шару покриття у зоні дії навантаження, ущільнення шарів дорожнього покриття, відшаровування верхнього шару та пластичну деформацію шарів дорожнього покриття.

Щодо процесів формування незворотних пластичних деформацій у вигляді колії в асфальтобетонних шарах дорожніх одягів, робоча гіпотеза узагальнено полягає в тому, що підвищення стійкості асфальтобетонних шарів дорожнього одягу до утворення колій можливо досягти за рахунок збільшення внутрішнього тертя, теплостійкості і еластичності бітуму, а також мікроармування мікроструктурної компоненти асфальтобетону.

Дослідження показали, що вплив транспортних засобів при високих літніх температурах на асфальтобетонних покриттях доріг призводить до поступового утворення колій зі зростанням числа застосованих навантажень. Чим вище величина тиску і чим менше постійна часу релаксації напружень, тим більше накопичуються залишкові деформації в матеріалі. В результаті многоразових навантажень у верхньому шарі асфальтобетонного покриття виникає загальна залишкова деформація, яка може досягти критичного рівня та спричинити руйнування покриття.

Сучасний рухомий склад поділяється на три групи розрахункового тиску А1, А2 та Б, зі значеннями відповідно 0,8 МПа, 0,6 МПа та 0,5 МПа. Очевидно, що чим вищий тиск, тим сильніший вплив транспортного засобу на асфальтобетонне покриття та конструкцію дорожнього одягу в цілому. У разі недостатньої здатності асфальтобетону до опору зсуву це може спричинити інтенсивне накопичення пластичних деформацій у вигляді колії, особливо при підвищених температурах.

Процес утворення колії може бути розділений на дві стадії: стадію ущільнення асфальтобетону в шарі дорожнього одягу та стадію безпосереднього накопичення залишкових деформацій під впливом транспортних засобів. На першій стадії, що починається відразу після введення автомобільної дороги в експлуатацію, відбувається ущільнення

асфальтобетонних шарів дорожнього одягу під дією транспортного потоку, при умові, що шари основи є достатньо жорсткими та стійкими. Інтенсивність ущільнення буде залежати від температури асфальтобетонного покриття та величини навантаження на вісь транспортних засобів, що рухаються по ньому. Висока температура та великовагові транспортні засоби сприятимуть швидкому ущільненню асфальтобетонів в шарах дорожнього одягу.

Процес доущільнення можливо виразити як відносну зміну об'єму тіла $\frac{\Delta V}{V}$. Зміну об'єму асфальтобетонного шару ΔV при збільшенні тиску на ΔP можливо визначити як:

$$\Delta V = -V \cdot \alpha \cdot \Delta P \quad (1.2)$$

При вирішенні плоскої задачі:

$$\Delta h = -H \cdot \alpha \cdot \Delta P \quad (1.3)$$

де Δh – зміна товщини асфальтобетонного шару;

α – коефіцієнт зміни товщини асфальтобетонного шару;

H – початкова товщина асфальтобетонного шару.

Залежно від ступеня початкового ущільнення асфальтобетонних шарів, а також величини навантаження на вісь транспортних засобів та інших факторів, глибина колії збільшуватиметься до певної кількості проходів колеса, переходячи поступово на другу стадію. Зазвичай вважається, що глибина колії в 3 мм є прийнятною і очікуваною при ущільненні асфальтобетонних шарів дорожнього одягу.

По суті, перехід на другу стадію характеризується рівновагою між об'ємом поглиблення у зоні накату асфальтобетонного покриття та об'ємом вибоїв у прилеглих зонах до поглиблення [10] (рис. 1.2; 1.3).

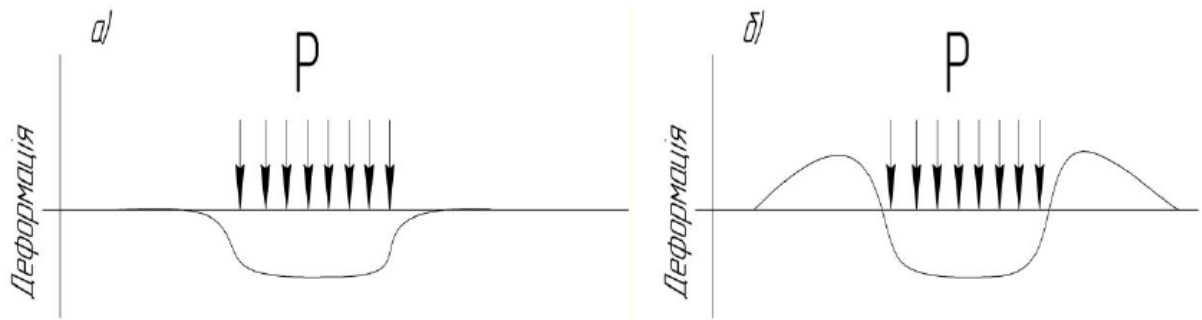


Рисунок 1.2 – Колії на першій (а) та другій (б) стадії колієутворення

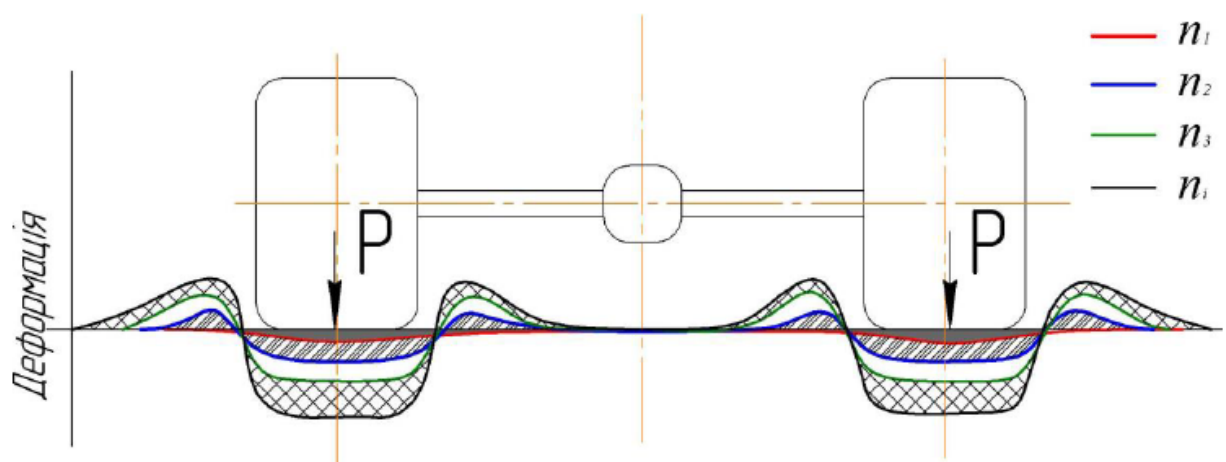


Рисунок 1.3 – Зміна профілю поверхні покриття дорожнього одягу при збільшенні кількості проїздів транспортних засобів [10]

Це свідчить про завершення стадії доущільнення після n_1 проходів рухомих транспортних засобів, а наступна стадія утворення колії пов'язана з переміщенням матеріалу із зміною об'ємів. На цьому етапі відбувається процес накопичення незворотних пластичних деформацій повзучості. Інтенсивність цього накопичення (див. рис. 1.4) описується лінійною функціональною залежністю у логарифмічній системі координат (рис. 1.5):

$$y = a + b \cdot (x_2 - x_1) \quad (1.4)$$

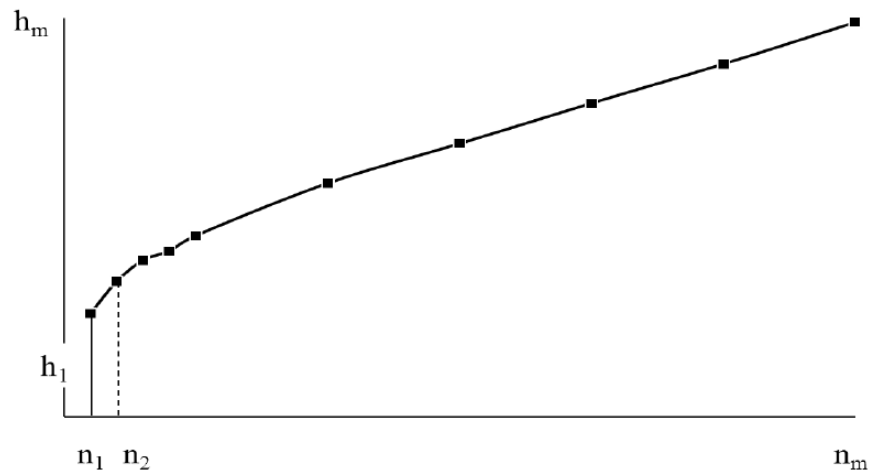


Рисунок 1.4 – Інтенсивність накопичення пластичних деформацій у натуральних координатах [10]

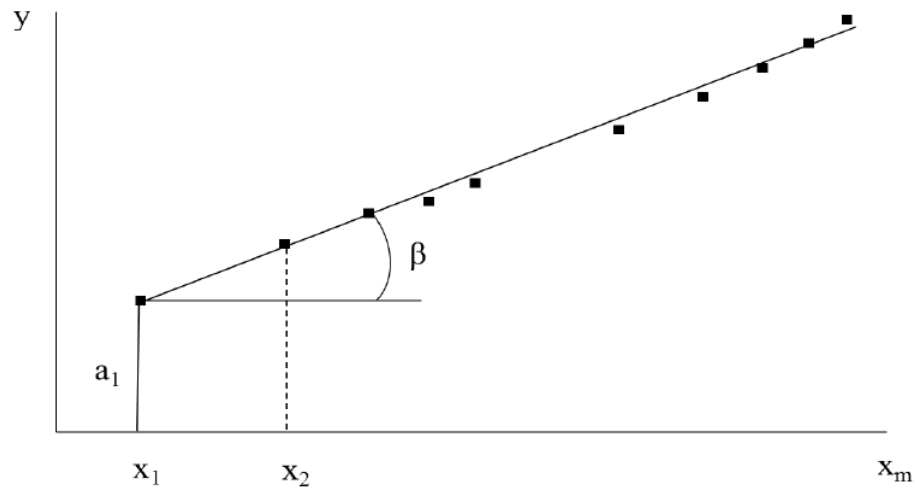


Рисунок 1.5 – Інтенсивність накопичення пластичних деформацій у логарифмічних координатах [10]

Залежність 1.5 можливо записати:

$$\ln h = \ln h_1 + b \cdot (\ln n_2 - \ln n_1) \quad (1.5)$$

де h – глибина колії у натуральних координатах, мм;

n – кількість проходів колеса у натуральних координатах;

$\ln n = x$ – кількість проходів колеса у логарифмічних координатах;

h_1 – глибина колії у натуральних координатах, мм;

$\ln h = y$ – глибина колії у логарифмічних координатах;

$\ln h_1 = a_1$ – глибина колії у логарифмічних координатах при $x_1 = \ln n_1$;
 b – кутовий коефіцієнт прямої.

Маємо:

$$h_m = h_1 \cdot e^{b(\ln n_2 - \ln n_1)}$$

$$h_m = h_1 \cdot e^{\frac{b \cdot \ln n_2}{n_1}}$$

$$h_m = h \cdot \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^b \quad (1.6)$$

Отже, накопичення незворотних пластичних деформацій у формі колії ($h_1, h_2 \dots h_m$) при $n_1, n_2 \dots n_m$ можна описати рівнянням 1.6. Інтенсивність накопичення пластичних деформацій характеризується відношенням кількості проходів колеса n_2 до попередньої кількості проходів n_1 у ступені b , помноженого на значення глибини колії, яка утворилася після завершення етапу доущільнення асфальтобетонних шарів дорожнього одягу. При цьому кутовий коефіцієнт прямої визначається як тангенс кута β між прямою та віссю x .

Можна припустити, що кутовий коефіцієнт b буде змінним в залежності від структури та властивостей асфальтобетонів у шарах дорожнього одягу, величини навантаження на вісь транспортних засобів та температурних режимів роботи асфальтобетонних шарів.

Загально визнано, що довговічність асфальтобетонів у покритті залежить від їх структурних особливостей. Як один із критеріїв довговічності асфальтобетонних шарів дорожніх одягів, колієстійкість, безсумнівно, також залежатиме від структури асфальтобетону. Тип макроструктури асфальтобетону (базальна, порова та контактна) може визначати його різну

стійкість до накопичення залишкових пластичних деформацій, що визначається різною колієстійкістю.

В асфальтобетоні базальна макроструктура характеризується розташуванням окремих зерен щебеню в асфальтовому розчині. Порова макроструктура визначається компактним розташуванням зерен щебеню, які контактують через тонкі прошарки асфальтового розчину. У контактній макроструктурі спостерігається безпосередній контакт зерен щебеню через тонкі прошарки асфальтового в'язучого.

При низькому вмісті щебеню в асфальтобетоні його міцність визначається переважно силами зчеплення, які залежать від міцності зв'язків в мікроструктурній частині. В такому випадку окремо розташовані зерна щебеню мало впливають на внутрішнє тертя, що може призводити до найменшої колієстійкості асфальтобетону з базальною макроструктурою.

Зі збільшенням вмісту щебеню в асфальтобетоні спостерігається збільшення шорсткості площин ковзання, що сприяє зростанню внутрішнього тертя і утворенню контактів між групами зерен щебеню. Асфальтобетони з поровою макроструктурою виявляють більшу колієстійкість у шарі дорожнього одягу порівняно з базальною макроструктурою.

Під час подальшого насичення асфальтобетону щебенем утворюється жорсткий каркас через контакт зерен через тонкі плівки асфальтового в'язучого. Асфальтобетон з контактною макроструктурою виявляє найбільшу колієстійкість порівняно з базальною та поровою макроструктурами.

Важливо враховувати, що збільшення середньої крупності зерен мінеральної частини асфальтобетону супроводжується зменшенням величини питомої поверхні та збільшенням товщини плівок в'язучого, що необхідного для укриття зерен. Таким чином, для встановлення найбільш колієстійкої макроструктури, слід враховувати як позитивну роль просторового каркасу зерен щебеню, так і вплив вмісту та властивостей бітуму, яке може значно

знизити внутрішнє тертя, виконуючи роль "мастила". Дослідження показують, що внутрішнє тертя не залежить від температури та швидкості деформування, а зменшується зі збільшенням вмісту бітуму, в той час як внутрішнє зчеплення зменшується з підвищенням температури, зниженням швидкості деформування та збільшенням вмісту бітуму.

Враховуючи викладене, можна передбачити існування кореляційного зв'язку між коефіцієнтом внутрішнього тертя, зчепленням при зсуві та колієстійкістю асфальтобетонів.

Оскільки бітумне в'язуче має визначальний вплив на фізико-механічні властивості та довговічність асфальтобетонів в дорожньому покритті, технологія модифікації бітумів полімерними добавками стала широко використовуваною. Зокрема, полімери типу термоеластопластів, такі як SBS (стирол-бутадієн-стирол), надають в'язучому еластичність та підвищену теплостійкість, забезпечуючи пружне відновлення після зняття навантаження. Це досягається формуванням просторової сітки макромолекул у бітумі, що підвищує його еластичність та зменшує термочутливість.

До найпоширеніших полімерів такого типу відносяться "Kraton D1101 CM". Також можна використовувати катіонний водний латекс "Butonal NS 198", який, подібно до полімера "Kraton D1101 CM", підвищить еластичність та теплостійкість бітуму та поліпшить його зчеплення з мінеральними матеріалами.

Такі властивості бітумополімерів в асфальтобетоні дозволяють матеріалу в дорожньому покритті працювати в пружній стадії з мінімальною залишковою деформацією, сприяючи підвищенню його колієстійкості порівняно з асфальтобетонами, що використовують традиційні бітуми.

Для подолання проблеми колієстійкості можна також використовувати фіброволокна у складі асфальтобетонних сумішей. Це дозволяє мінімізувати залишкові пластичні деформації в асфальтобетонних шарах шляхом передачі розтягуючих напружень на армуючі волокна, зменшуючи тим самим колієутворення.

Розв'язання проблеми колієстійкості також включає застосування новітніх технологій в будівництві доріг, оптимізацію транспортних стратегій та розробку ефективних методів підтримання дорожніх покриттів для максимального подовження їхньої службової дії.

У зв'язку з великим значенням колієстійкості для тривалої експлуатації дорожніх покриттів, в даному дослідженні було розглянуто різні аспекти, що впливають на цю властивість асфальтобетонних шарів. Визначено, що структура та властивості бітуму грають важливу роль у формуванні колієстійкості. Застосування полімерних добавок, зокрема термоеластопластів типу SBS, може істотно покращити еластичність та теплостійкість бітуму, сприяючи збільшенню колієстійкості асфальтобетону.

Дослідження також підкреслило важливість використання фіброволокон для мінімізації залишкових пластичних деформацій в асфальтобетонних шарах. Це покращує міцність та стійкість матеріалу, зменшуючи його схильність до колієутворення.

Застосування новітніх технологій модифікації бітумів та використання армуючих компонентів, таких як фіброволокна, вказують на перспективи підвищення колієстійкості асфальтобетонних покриттів. Додатково, оптимізація транспортних стратегій та впровадження ефективних методів утримання доріг можуть сприяти максимальному подовженню терміну служби дорожніх покриттів.

Усі ці висновки підтверджують важливість комплексного підходу до вирішення проблеми колієстійкості, що враховує як хімічні та фізичні властивості матеріалів, так і технічні та експлуатаційні аспекти.

РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ

2.1 Обґрунтування вибору оптимальної конфігурації дорожнього покриття автомобільних доріг

Обґрунтування вибору раціональної конструкції дорожнього одягу є важливою складовою для створення стійких, безпечних та тривалих автомобільних доріг. Застосування новітніх технологій, вибір оптимальних матеріалів та урахування різноманітних факторів дозволять досягти максимальної ефективності та витратності в будівництві та експлуатації доріг, що є ключовим чинником для сталого розвитку інфраструктури та транспортного сектору в цілому.

Вплив на експлуатаційний стан автомобільних доріг визначається не тільки дією транспортних засобів, але й природно-кліматичними умовами. Динамічні навантаження та погодно-кліматичні фактори суттєво впливають на стан дорожнього покриття, особливо в умовах непередбачуваних погодних умов в Україні. Зимові періоди з вологою та частими температурними коливаннями, в поєднанні з навантаженнями транспорту, створюють небезпечні умови для дорожнього покриття.

Для забезпечення належного стану існуючих доріг та безпеки автомобільного руху в умовах зростаючих навантажень і інтенсивності руху важливо вчасно виконувати ремонтні роботи. Особливості таких робіт полягають у високій матеріаломісткості, лінійності та, відповідно, високій вартості. Кліматичні умови, особливо умови зимового утримання доріг, мають велике значення в цьому контексті.

На сьогоднішній день асфальтовий бетон є найпоширенішим матеріалом для покриття доріг високого класу. У США та Європі він становить понад 90% від загальної довжини доріг, по яких перевозяться понад 40% вантажів. Україна також використовує асфальтобетон у 97% доріг I-II технічної категорії, оцінюючи його за високу ремонтоздатність, безшумність, безпильність та технологічність.

Асфальтобетон, який використовується у верхніх шарах дорожньої конструкції, містить гарячий щільний дрібнозернистий асфальтобетон типів "А" та "Б". Він характеризується високою міцністю, водонепроникністю, водостійкістю та здатністю до еластичних та пластичних деформацій, забезпечуючи дорожньому покриттю еластичність, шорсткість і ефективне зчеплення з автомобільними шинами.

При взаємодії бітуму з мінеральними складовими, такими як щебінь та пісок, утворюються складні фізико-хімічні міжмолекулярні явища, які дозволяють щільному асфальтобетону стійко протистояти атмосферним опадам, дощу, снігу під час танення та зберігати воду на поверхні, запобігаючи її просоченню в глибші шари дорожнього покриття.

Такий підхід до використання асфальтобетону обґрунтовується його численними перевагами у контексті українських кліматичних умов та особливостей транспортної інфраструктури. Важливо відзначити, що асфальтобетон виявляється відмінним матеріалом завдяки своїм характеристикам, таким як велика міцність, гнучкість та стійкість до деформацій.

Поряд з цим, різні типи асфальтобетону (крупнозернистий, дрібнозернистий, піщаний) дозволяють адаптувати покриття під конкретні умови та вимоги. Такий диференційований підхід дозволяє враховувати величину навантаження, погодні умови та інші чинники, що можуть впливати на знос та стійкість дорожнього покриття.

Зазначені фізико-хімічні властивості асфальтобетону не тільки сприяють стійкості до атмосферних впливів, але й роблять його досить ефективним у умовах змін температури, забезпечуючи еластичність та зберігаючи інтегритет покриття.

У великій мірі використання асфальтобетону в укладанні доріг свідчить про успішну практику в інших країнах, де цей матеріал є домінуючим у будівництві доріг високого класу. В Україні його високий рівень використання підтверджує вибір цього матеріалу як оптимального для умов нашої країни, сприяючи тривалому та безперебійному функціонуванню автомобільних доріг.

Внаслідок високої водостійкості щільного асфальтобетону, особливо на ділянках доріг із некоректними геометричними параметрами, рельєфом місцевості та значною кількістю опадів, може виникати явище аквапланування для автомобільного транспорту. Це може призводити до небезпечних ситуацій і порушення безпеки та комфорту дорожнього руху, а також може призвести до аварій і перекриття доріг взагалі.

Пористий (дренуючий) асфальтобетон з високою залишковою пористістю (>10%) представляє собою штучний будівельний матеріал, який складається з мінеральних компонентів (щебенів, пісок, мінеральний порошок) та бітуму у меншій кількості. Цей матеріал призначений для укладання та ущільнення у верхніх шарах дорожнього покриття, особливо на ділянках автомобільних доріг, де існує підвищена небезпека аквапланування. Його основна функція полягає в швидкому відведенні води з поверхні дороги.

В США подібний матеріал, відомий як "Open Graded Friction Course (OGFC)", використовується протягом більше 60 років. Ці суміші розроблялись для підвищення рівня безпеки на дорогах у районах з високою кількістю атмосферних опадів. Особливості гранулометричного складу суміші дозволяють утворювати систему сполучених пор, що прискорює відведення води з поверхні дороги порівняно із щільними сумішами, і це досягається за рахунок високого вмісту одномірного щебеню в суміші.

Починаючи з 1980 року, в США активно почали використовувати пористий (дренуючий) асфальтобетон, що стало можливим завдяки програмі федерального дорожнього агентства (FHWA) для боротьби з заносами на дорогах. Федеральне дорожнє агентство спільно з Національним центром досліджень асфальту (NCAT) розробили гранулометричні склади дреноуючих асфальтобетонних сумішей та визначили оптимальну кількість в'язучого.

ASTM D6932/D6932 регулює улаштування верхніх шарів зносу із пористих (дреноуючих) асфальтобетонів для підвищення безпеки руху та попередження аквапланування автомобілів. З метою підвищення корозійної стійкості дреноуючого асфальтобетону рекомендується введення адгезійних добавок до бітуму. Для поліпшення шорсткості поверхні покриття та теплостійкості можна використовувати волоконні добавки різних видів (дисперсне армування асфальтобетонної суміші).

Цей метод активно використовувався в інших країнах, таких як Японія, Великобританія, Нідерланди, Франція та Німеччина. В Європі, на відміну від США, пористі (дреноуючі) асфальтобетони мають більшу пористість (18-22%) і вимагають використання полімерно-бітумного в'язучого.

Результатом накопиченого досвіду стало створення нормативного документу EN 13108-7 *Offenporier Asphalt fur Straben und Verkehrsflächen*, який встановлює загальноєвропейські вимоги до складу та властивостей пористого (дреноуючого) асфальтобетону. Згідно з цим документом, пористість повинна знаходитися в межах 24-28%, мінімальний вміст в'язучого бітуму – 5,5-6,5% в залежності від максимального розміру зерен щебеню, який не повинен перевищувати 20 мм. Рекомендується застосування модифікованого бітуму та целюлозного волокна як армуючої добавки.

Були встановлені стандарти щодо складу зерен і кількості бітуму, які представлені в таблиці 2.1.

Результати проведених досліджень свідчать, що використання запропонованих зернових складів пористих сумішей дозволяє отримати дреноуючий асфальтобетон з каркасною структурою, властивості якого

відповідають тим, що характерні для щільного асфальтобетону. Вимоги до фізико-механічних властивостей пористого (дренуючого) асфальтобетону наведені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1 - Вимоги до складу і кількості в'язучого пористого асфальтобетону

Асфальтобетонні суміші	Вміст зерен мінерального матеріалу, % дрібніше, мм												Орієнтовна витрата в'язучого (понад 100 %)
	40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,68	0,31	0,14	0,07	
Крупнозернисті	95-100	76-92	68-88	58-82	47-74	30-65	24-50	17-38	12-28	7-17	4-8	2-6	2,5-3,5
Середньозернисті	-	95-100	95-100	72-90	58-60	35-65	24-50	17-38	12-28	7-17	4-8	2-6	2,5-3,5
Дрібнозернисті	-	-	-	95-100	63-85	35-65	24-50	18-38	12-36	8-22	4-15	2-8	2,5-4
Дрібнозернисті дроблені	-	-	-	-	100	83-83	68-83	45-67	28-50	18-33	10-20	4-8	3,0-4,5
Піщані з природного піску чи природні дроблені	-	-	-	-	-	95-100	74-93	53-86	37-75	22-58	12-35	4-8	3,0-4,5

Таблиця 2.2 - Показники фізико-механічних властивостей пористого (дренуючого) асфальтобетону

Найменування показників	Значення показників для асфальтобетону	
	зернистого	піщаного
Пористість мінерального остова, % за об'ємом	16-22	<25
Коефіцієнт заповнення пор мінерального остову бітумом	0,35-0,37	0,30-0,35
Водонасичення, % за об'ємом	8,0-14,0	12,0-18,0
Набрякання, % за об'ємом, не більше	2,0	2,0
Границя міцності при стиску, Па (кгс/см ²)	12-10 ⁵ (12)	15-10 ⁵ (15)

Один із ключових показників тут - це визначення коефіцієнту заповнення пор бітумом (Кзп), який вказує на структуру асфальтового бетону. Зафіксовані значення Кзп гарантують постійний об'єм вільного бітуму в суміші при будь-якій щільності мінерального каркасу. Це сприяє утворенню каркасної структури, забезпечуючи високі стандарти міцності та тривалості асфальтобетону під час експлуатації.

Для верхнього шару покриття рекомендується використовувати пористий асфальтобетон з таким складом:

- 20% щебневих матеріалів фракції 20-40 мм за масою;
- 25% щебневих матеріалів фракції 5-20 мм за масою;
- 35% гранітного відсіву дроблення фракції 0-5 мм за масою;
- 4,0-4,5% бітуму БНД 70/100 (понад 100% суміші).

Такий склад забезпечує щільність в межах 2,49-2,51 г/см³ та водонасичення (W1) 5,0-5,8%, що наближається до вимог для щільних асфальтобетонів (W) 3,0-3,5 згідно ДСТУ Б В.2.7-119. Зсувостійкість пористого асфальтобетону цього складу, визначена міцністю при стиску при 50 °С, знаходиться в межах 0,92-1,23 МПа, що вказує на можливість коливання вмісту мінеральних складових в межах 5-10% за масою.

Влаштування асфальтобетонного покриття із вищезазначеним складом забезпечує високі транспортно-експлуатаційні характеристики та ефективне відведення води в умовах підвищеного зволоження. Українські вчені, такі як Г.К. Сьоньї, М.І. Волков, І.М. Борщ, І.В. Корольов, В.О. Золотарьов, В.В. Мозговий, виконали теоретичні та практичні дослідження щодо можливості влаштування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону.

Вони визначили, що мінеральні зерна в асфальтобетонній суміші, покриті шаром бітуму, при ущільненні утворюють конгломератну трьохфазну систему - мінеральний остов, бітум, повітря. Повітря знаходиться в міжзерновому просторі, не заповненому бітумом та в порожнинках мінеральних зерен. Ці простори не містять бітуму, але заповнені повітрям і представляють залишкову або сумарну пористість.

Асфальтобетон представляє собою систему структурних елементів різних розмірів, що визначає наявність пор різного розміру, від мікропор до макропор. Умовно ці пори поділяються на мікропори (радіус до 50 Å), перехідні пори (радіус 50 Å – 500 Å), субмакропори (радіус 500 Å – 3 μ) та макропори (радіус 3 μ- 50 μ), де Å = 10⁻⁸ см, а μ = 10⁻⁴ см. Однак, хоча розмір пор в асфальтобетоні різний, на його основні характеристики, такі як міцність і водостійкість, це не впливає. Значення цих характеристик залежать тільки від сумарної пористості.

Це пояснюється тим, що зі збільшенням кількості бітуму в суміші, наприклад, від 10 до 11,5%, зменшується кількість мікропор і зростає вміст перехідних пор. Це може призводити до покращення міцності асфальтобетону. Однак підвищення міцності не означає, що всі порожнини мінерального складу повністю заповнені бітумом. Навіть при вмісті бітуму в 28,5%, третина пор мінерального складу залишається незаповненою, складаючи перехідні пори, які розташовані в мінеральних зернах, і субмакропори, які розташовані в міжзерновому просторі.

Це явище виникає через різницю в температурі під час підготовки суміші (t=160 °C) та укладання (t = 120-130 °C), при яких бітум зменшується в обсязі, а також внаслідок втягування повітря під час перемішування суміші.

В результаті проведених досліджень була визначена оптимальна кількість мінеральних складових і бітуму в пористому асфальтобетоні. Згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-119 в Україні дренуючий асфальтобетон поділяється на марки: пористий (з залишковою пористістю від 5 до 10%) та високопористий (з залишковою пористістю від 10 до 15%). За вмістом щебеню і піску пористий має тип А-Б від 35 до 73% мінеральних складових, високопористий має тип А-Б, Д, від 35 до 70% мінеральних складових. Пориста і високопориста асфальтобетонна суміш гаряча (АСГ) має марку І і ІІ. Для виготовлення асфальтобетонної суміші пористої і високо пористої використовується бітум в'язкий марки БНД 90/130.

Вимоги до гранулометричного складу пористого асфальтобетону і фізико-механічних властивостей відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2011 подані в таблицях 2.3 - 2.4. Незважаючи на проведені дослідження та розроблену нормативну документацію, пористий (дренуючий) асфальтобетон поки не отримав широкого застосування на дорогах України..

Таблиця 2.3 - Склад пористої асфальтобетонної суміші

Група а/б	Різновид грануло- метрії	Тип грану- ло- метрії	Вид	Вміст за масою, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм											
				40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,31	0,14	0,071
Пори- стий	Непере- ривчас- тий	А-Б	Кр.	100 -95	99- 97	97- 70	94- 57	76- 45	65- 27	50- 18	38- 10	28- 7	22-4	15- 3	8-2
		А-Б	Др.	-	-	100- 70	95- 57	76- 45	65- 27	50- 18	38- 10	28- 7	22-4	15- 3	8-2
	Пере- ривчас- тий	А-Б	Кр.	100 -95	99- 96	96- 65	92- 54	88- 42	65- 30	62- 25	65- 18	65- 12	40-8	22- 5	8-2
		А-Б	Др.	-	-	100- 65	100- 54	88- 42	65- 30	65- 25	65- 18	65- 12	40-8	22- 5	8-2

Цей вид асфальтобетону володіє рядом переваг. Завдяки підвищеній кількості щєбєневих фракцій він виявляє високі зчїпні характеристики, а також володіє водопроникністю, яка зменшує негативний вплив поверхневої води та кількість бризок води під час дощу. Це призводить до зниження ризику аквапланування і підвищення безпеки на дорозі.

Зокрема, текстура поверхні пористого асфальтобетону має шорсткість, яка дозволяє зменшити рівень шуму, виникаючого при контактї шин колїс з дорожнім покриттям.

Проте пористий асфальтобетон має свої недолїки. Висока пористість призводить до зниженої мїцності і прискореного старіння бітумного в'язучого в асфальтобетонї, оскїльки кисень має доступ до бїльшої площї поверхнї сумїші і сприяє швидшому заморожуванню нижчерозташованих

шарів. Цей тип асфальтобетону також не володіє теплоізоляційними властивостями, які притаманні щільним сумішам.

У зимових умовах не рекомендується використовувати піщано-сольову суміш або технічну сіль у чистому вигляді для ліквідації ожеледиці на дорогах із пористим асфальтобетоном, оскільки це може призвести до засмічення пор і проникнення хлоридів у нижчерозташовані шари дорожньої конструкції.

Таблиця 2.4 - Фізико-механічні вимоги до пористого і високопористого асфальтобетону

Назва показників	Норма для асфальтобетону марок	
	I	II
1. Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для асфальтобетону:		
пористого щебеневого і піщаного, не більше	23	23
високопористого щебеневого, не більше	24	24
високопористого піщаного, не більше	-	28
2. Залишкова пористість, % за об'ємом, для асфальтобетону:		
пористого, не більше	10	10
високопористого, не більше	15	15
3. Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 °С:		
пористого, не більше	1,8	1,5
високопористого, не більше	1,4	1,2

В сучасний час в Україні наявні належні матеріали, які дозволяють використовувати високоміцний пористий асфальтобетон у достатній кількості. Пористий асфальтобетон – це матеріал, який відрізняється своєю пористістю, яка досягається додаванням спеціальних в'язуючих речовин та заповнювачів. Фізичні та механічні властивості цього матеріалу роблять його

ідеальним для дорожнього покриття, забезпечуючи високу стійкість до навантажень та водостійкість.

Добавки до бітуму, такі як адгезійні, модифікуючі та полімерні, використовуються для підвищення довговічності бітуму. Для зимового утримання існує перелік хімічних реагентів, які запобігають утворенню ожеледиці і зменшують зимову слизькість. Геосинтетичні матеріали широко використовуються в дорожній галузі як армуючі, капіляронериваючі, дренажні, розділюючі та укріплюючі прошарки між шарами дорожньої конструкції.

Для відведення поверхневої води і попередження аквапланування рекомендується використовувати суцільний тканий геосинтетичний прошарок, наприклад, базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене), яке покращує міцність та довговічність конструкції дорожнього одягу. Такий армований дорожній одяг сприяє рівномірному розподілу напружень та поліпшує напружено-деформований стан всієї дорожньої конструкції.

Використання суцільного тканого геосинтетичного прошарку, такого як базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене), в дорожній конструкції дозволяє досягти кількох переваг.

По-перше, збільшена міцність та довговічність армованого дорожнього одягу допомагають подовжити термін експлуатації дорожньої інфраструктури. Геосинтетичний матеріал, вбудований в конструкцію, сприяє розподілу та поглибленню напружень, що виникають від руху автомобілів, що в свою чергу зменшує знос та деградацію дорожнього покриття.

По-друге, такий армований дорожній одяг покращує безпеку руху, зменшуючи кількість бризок та відводячи поверхневу воду. Це особливо актуально при дощовій погоді, коли пористий асфальтобетон може створювати умови для аквапланування.

З урахуванням цих переваг, використання геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві стає важливим етапом у вдосконаленні та удосконаленні інфраструктури, забезпечуючи якість та стійкість доріг у різних умовах експлуатації.

Загалом, термін "геосинтетичні матеріали" (ГМ) є класифікаційною термінологією, що охоплює різноманітні матеріали зі штучних або природних сировин, використовуваних в дорожньому будівництві та інших галузях. Ця класифікація представлена на рисунку 2.1. Термін включає в себе геотекстильні матеріали, які можуть бути нетканими водонепроникними суцільними полотнами або тканими водонепроникними матеріалами, які не піддаються обробці полімерним в'язучим, водонепроникними матеріалами, обробленими полімерним в'язучим.

Неткані полотна формуються шляхом скріплення синтетичних волокон (путанки), розташованих в площинах, за допомогою елементарних ниток. Скріплення може бути виконано механічно - за допомогою голколпробивання (проколювання чи прошивання), або термічно - за допомогою адгезійного чи когезійного термоз'єднання, з використанням клейких речовин.

Геотекстильні ткані полотна створюються на ткацьких верстатах шляхом укладання переплетених під прямим кутом полімерних або базальтових ниток. Вони відрізняються за видом ниток (крученими, вузькими смугами, зрощеними нитками) і, при необхідності, можуть бути додатково закріплені в місцях з'єднання ниток. Для забезпечення водонепроникності проводиться просочення розчинами полімерів [13]. До геосинтетичних матеріалів входять різні типи, такі як просочені, плетені, в'язані, екструзійні та сітки з підкладкою - композитні матеріали, а також сітчасті смуги (шириною до 1 м), стрічки, георешітки - як плоскі, так і об'ємні (модульні, сотові). До гідроізоляційних матеріалів входять водонепроникні або матеріали із невеликим ступенем водонепроникності, бентонітові композити, геопластик із полімерного матеріалу [19].

Геосітки представляють собою структури, виготовлені з синтетичних волокон або пластмас, утворюючи кристалеві структури з різними вузловими з'єднаннями та отворами шириною понад 10 мм для використання з аналогічною метою. Такі геосітки поділяються на кілька видів, включаючи плетені, в'язані та укладені. Плетена сітка має отвори від 10 до 40 мм. Сітка в'язана виготовляється з синтетичних стрічок, в які пробиваються отвори та розтягуються в одному чи обох напрямках (вздовж і впоперек). У процесі витягування полімерні молекули орієнтуються в напрямку розтягування, збільшуючи міцність у напрямку розтягування та зменшуючи подовження. Вузлові пункти не зміщуються, що дозволяє передачу силового фактора між поздовжніми та поперечними перемичками. Штамповані сітки виготовляються з полімерних листів за допомогою продавлювання отворів розміром 10-20 мм.

Геосітчасті смуги та стрічки розглядаються як продукти, подібні до сітки. Стрічки можуть бути створені, наприклад, з об'єднаних смужок або з'єднаних між собою на одному рівні шарів ниток, які фіксуються полімерною оболонкою. Георешітки мають отвори розміром від 70 до 100 мм.

Геосинтетичні матеріали (ГМ)

геотекстильні матеріали (ГТ)	віднесені до геотекстилю виробу (ГВ)	геосинтетичні ізоляційні матеріали (ГІ)
тканинні (ГТ. Тк) не тканинні (ГТ. Н) в'язанні (ГТ. В)	георатки (ГР) геосітки (ГСіт) геосоти (ГС) геомати (ГМт) геопрощарки (ГПро)	полімерні (ГІ. П) бітумні (ГІ. Б) глинисті (ГІ. Г)

геокомпозити (прикладі деяких функцій)

Розділяння	Фільтрування	Дренування	Армування	Захищення	Ізолювання	Протиерозійний захист
ГТ	ГТ + ГТ	ГПр + ГТ (+ГІ. П)	ГТ + ГТ	ГТ + ГТ	ГТ + ґрунт (бентоніт)	ГТ + ГС
ГТ + ГТ	ГТ + ГМт	ГСіт + ГТ (+ГІ. П)	ГТ + ГР АСМ	ГТ + ґрунт	ГІ. П + ґрунт (бентоніт)	ГР + ГМт
і т. д.	і т. д.	і т. д.	і т. д.	ГМт + ґрунт ГТ + ГМт ГТ + ГР і т. д.	ГСіт + ґрунт і т. д.	ГТ + насіння і т. д.

Рисунок 2.1 – Класифікація геосинтетичних матеріалів та область застосування [30]



а) геотекстильні матеріали



б) геомембрани



в) об'ємні георешітки



г) геосітки



д) геомати



е) геосоти

Рисунок 2.2 – Матеріали із геосентетики

Композиційні матеріали представляють собою сітку або решітку, з'єднану в площині з нетканим полотном товщиною не більше 1-2 мм (підкладка). Класифікація геосинтетичних матеріалів подана на рис. 2.2. При раціональному виборі слід враховувати фізико-механічні характеристики геосинтетичних матеріалів, їх стійкість до впливу місцевих природно-

кліматичних умов і транспортних навантажень. Основні особливості геосинтетичних матеріалів та області їх використання представлені в таб. 2.5.

Таблиця 2.5 - Фізико-механічні властивості ГМ і галузі їх використання [15]

Вид ГМ	Вихідний матеріал	Галузь використання	Показники фізико-механічних властивостей
Геотекстильні полотна неткані механічно скріплені	Поліпропілен, полієфір, полівінілхлорид	В нижніх шарах дорожньої конструкції, як розділюючі прошарки, дренажні, фільтруючі, захист від кольматації	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності
Термоскріплені	Поліпропілен	Армування верхніх шарів основи, відкосів насипів, водовідведення	Міцність при проколюванні конусом, ефективна пористість, хімічна стійкість, щільність, товщина
Геотекстильні полотна ткані просочені (водонепроникні) стійкість, щільність, адгезія до асфальтобетону	Полієфір, поліпропілен, базальт (волокно)	Армування верхнього шару покриття і основи, укріплення відкосів насипів, водовідведення з проїзної частини	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності, границя повзучості, хімічна
Сітки плетені, в'язані, екструзійні, просочені (волокно)	Поліпропілен, полієфір, поліамід, скло, базальт	Армування всіх шарів дорожнього одягу, улаштування спайних ростверків, захист від відображених тріщин	Міцність при розриві, відносне подовження при розриві, модуль пружності, границя повзучості
Сітчасті смуги	Поліетилен, поліпропілен, поліамід, базальт		Хімічна стійкість, щільність, коефіцієнт зовнішнього тертя
Георешітки плоскі	Поліетилен, поліпропілен	Укріплення відкосів насипів, виїмок на підходах до штучних споруд, армування верхніх шарів дорожніх конструкцій, влаштування дренажів всіх типів	Міцність при розриві, міцність стиків, морозостійкість і хімічна стійкість
Георешітки об'ємні, модульні, сотові	Поліетилен, поліпропілен		
Гідроізоляційні матеріали	Поліпропілен, бентоніт та інші вироби плоскої форми	Улаштування повністю водонепроникних елементів, геотехнічних та дорожніх конструкцій	Водонепроникність, міцність при розриві, відносне подовження при розриві, товщина, щільність

Розглядаючи дані, представлені в таблиці 2.5, виокремлюється, що для відведення надмірної кількості води, що утворюється під час опадів, таких як дощ і сніг, і одночасного армування дорожнього одягу, найбільш підходить тканий геотекстильний матеріал із просоченою водонепроникністю, а саме: просочене базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д.

2.2 Застосування геосинтетичних матеріалів в конструкціях доріг

Геосинтетичні матеріали стали невід'ємною складовою сучасного будівництва доріг. Їх використання в конструкціях доріг призводить до покращення механічних властивостей, тривалості служби та стійкості дорожнього покриття. У цьому рефераті розглянемо різні аспекти застосування геосинтетичних матеріалів в дорожньому будівництві.

Геосинтетичні матеріали виконують сім ключових функцій у конструкціях: армування, дренажування, захист, ізоляція, протиерозійний захист, розділення та фільтрування. Розподіл геосинтетичних матеріалів та області їх використання відображені на рисунку 2.1.

Геотекстильні матеріали: використовуються для утримання ґрунту та запобігання його ерозії під дорожнім покриттям. Забезпечують рівномірний розподіл навантаження та запобігають просіданню ґрунту.

Геогріди: використовуються для підвищення міцності та стійкості дорожнього покриття. Дозволяють розподілити навантаження та запобігти утворенню тріщин та колій.

Геомембрани: застосовуються для водонепроникності та захисту доріг від впливу ґрунтових вод. Забезпечують ізоляцію від вологи та запобігають руйнуванню дорожнього покриття.

Підсилення дорожнього покриття: геогриди використовуються для підвищення міцності та стійкості асфальтобетонних та бетонних шарів дорожнього покриття.

Утримання ґрунту: геотекстильні матеріали застосовуються для утримання ґрунту під дорожнім покриттям, особливо на ділянках із збільшеним рухом води.

Водовідведення: геосинтетичні матеріали використовуються для організації систем водовідведення, що запобігає затопленню та руйнуванню доріг під впливом води.

Переваги застосування геосинтетичних матеріалів:

- підвищення тривалості служби: геосинтетичні матеріали покращують міцність та стійкість дорожнього покриття, забезпечуючи тривалу експлуатацію.

- зменшення витрат на будівництво: застосування геосинтетичних матеріалів дозволяє зменшити товщину дорожнього покриття та використовувати менше будівельних матеріалів.

- швидше виконання робіт: використання геосинтетичних матеріалів дозволяє швидше виконати будівельні роботи завдяки полегшенню процесів утримання та підсилення ґрунту.

Термін служби геосинтетичних матеріалів повинен перевищувати термін служби конструкцій, в яких вони використовуються. Проектування дорожньої конструкції з використанням геосинтетиків включає конструювання та розрахунки на стійкість, міцність, довговічність, захист від ерозії та дренажування.

Обґрунтування варіантів для вибору найбільш економічного виконується згідно з відповідними нормативними документами, такими як ДБН В.1.1-12, ДСТУ-Н Б В.1.2-13, ДБН В.1.1-24, ДБН В.1.1-25, ДБН В.1.2-2, ДСТУ-Н Б В.1.2-13, ДБН В.1.2-5, ДБН В.1.2-6, ДБН В.1.2-7, ДБН В.1.2-12, ДБН В.2.3-4, ДБН В.2.3-5, та інші.

Вихідні дані для проектування дорожньої конструкції повинні включати функціональні вимоги, проектний строк служби конструкції, рівень надійності та необхідний коефіцієнт запасу конструкції. Умови навантаження під час будівництва і експлуатації, ґрунтово-геологічні, гідрогеологічні та погодно-кліматичні умови району будівництва, а також фізико-механічні та розрахункові характеристики матеріалів і ґрунтів також повинні бути враховані. Крім того, режим експлуатації конструкції, експлуатаційні обмеження та техногенно-геологічні чинники повинні бути враховані при проектуванні.

Для прийняття оптимальних проектних рішень щодо розташування дороги, необхідно розробляти варіанти траси з порівнянням відповідно до 4.4.3 ДБН В.2.3-4. Якщо реконструкція ділянок автомобільних доріг I-б, II і III категорій, що проходять через населені пункти, обґрунтована відповідними техніко-економічними розрахунками, такі дороги слід проектувати згідно з ДБН 360 та ДБН В.2.3-5.

Технічні рішення при проектуванні автомобільних доріг повинні забезпечувати високу транспортно-експлуатаційну якість, ефективну охорону навколишнього природного середовища та безпеку дорожнього руху за мінімальних матеріальних та фінансових витрат.

Склад та зміст проектної документації для будівництва, ремонту та реконструкції автомобільних доріг слід визначати відповідно до ДБН А.2.2-3, ДБН В.1.1-12, ДБН В.1.1-24, ДБН В.1.1-25, ДБН В.1.2-2, ДБН В.1.2-5, ДБН В.1.2-6, ДБН В.1.2-7, ДБН В.1.2-12, ДСТУ-Н Б В.1.2-13 та інших нормативних документів.

Конструкцію земляного полотна слід проектувати відповідно до [4], 6.1 ДБН В.2.3-4 та розділу 4 ДБН В.2.3-5. Погодно-кліматичні фактори та природні умови району будівництва враховуються згідно з 6.1.3 ДБН В.2.3-4. Конструкцію земляного полотна в поперечному профілі призначають за типовими рішеннями відповідно до 6.1.4 ДБН В.2.3-4.

Заходи щодо забезпечення міцності і стійкості земляного полотна та робочого шару розглядаються відповідно до 6.3.5 ДБН В.2.3-4, і вибір оптимальних заходів рекомендується проводити на основі техніко-економічних розрахунків.

При будівництві насипів із ґрунтів і матеріалів, що є відходами промисловості, необхідно дотримуватися вимог, викладених у розділі 6.4 ДБН В.2.3-4. Спорудження земляного полотна повинно відбуватися відповідно до [4].

Застосування геосинтетичних матеріалів при будівництві земляного полотна рекомендується проводити відповідно до 20.7 ДБН В.2.3-4 та [4].

Розташування дренажних, армуючих, розділяючих та ізолюючих шарів із геосинтетичного матеріалу, вибраного з урахуванням його стійкості до кліматичних впливів, слід виконувати на вирівняній, спрофільованій та ущільненій основі відповідно до 20.7 ДБН В.2.3-4.

Методика відбору зразків для визначення технічних характеристик геосинтетиків наведена у Додатку Б [7]. Властивості, які оцінюють придатність геосинтетиків для конкретної області застосування, представлені в таблиці 1.6, а їх значення – в таблиці 1.5.

Підсилення дорожнього покриття слід проводити з метою підвищення загальної міцності існуючого дорожнього покриття, збільшуючи його товщину, замінюючи один чи декілька шарів більш міцними згідно з 8.4 ДБН В.2.3-4 та розділом 5 ДБН В.2.3-5, або використовуючи асфальтобетонні суміші згідно з розділом 11 [7].

Підготовка до дорожньо-будівельних робіт повинна передбачати можливість безпечного виконання робіт усіма учасниками будівництва та організовуватися як система взаємопов'язаних заходів організаційного, технічного, технологічного та планово-економічного характеру.

Будівництво та реконструкцію автомобільних доріг необхідно проводити відповідно до вимог нормативних документів, які регламентують безпеку дорожнього руху, охорону праці, а також враховувати вимоги проектної

документації, плану організації будівництва (ПОБ) та плану виробничого керівництва (ПВР).

Організацію та планування дорожньо-будівельних робіт слід виконувати на основі встановлених в ПОБ та ПВР вимог.

Контроль якості будівництва автомобільних доріг повинен здійснюватися відповідно до вказівок, визначених у розділі 8 ДБН А.3.1-5.

Властивості, які визначають придатність геосинтетиків для конкретної області застосування, представлені у таблиці 2.6, а їх значення можна знайти в таблиці 2.7.

Таблиця 2.6 – Критерії, необхідні для вибору геосинтетиків

Назва показника	Область застосування геосинтетиків							Метод випробувань згідно з [1]
	Розділення	Фільтрування	Дренування	Армування	Захищення	Ізолювання	Противерзійний захист	
I. Проектні критерії								
<i>I.1 Механічні</i>								
Міцність при розтяганні				+		+		6.3.1
Максимальне відносне видовження на момент розриву	+			+	+	+		6.3.1
Повзучість при розтяганні	+			+		+		6.3.3
Коефіцієнт тертя між ґрунтом і геосинтетиком				+	+			6.3.6
<i>I.2 Гідралічні</i>								
Фільтруюча здатність матеріалу	+	+	+	+			+	6.4.2
Дренуюча здатність матеріалу під навантаженням			+					6.4.3
Характерний розмір отворів		+	+				+	6.4.1
II. Технологічні критерії								
Статичне проколювання плунжером ^{*)}	+	+	+	+	+	+	+	6.3.8
*) Випробування з статичним проколювання плунжером не використовують для геосинтетиків з відкритою структурою, таких як, геогратки, геосітки тощо.								

Застосування геосинтетичних матеріалів в конструкціях доріг відкриває нові можливості для підвищення якості, тривалості служби та безпеки дорожнього руху. Ці матеріали стають важливим інструментом для інженерів

у досягненні оптимальної структури доріг та виконання завдань з утримання ґрунту та захисту дорожнього покриття від негативних факторів.

2.3 Підсилення земляного полотна

Останнім часом в країнах СНД, зокрема в Україні, спостерігається тенденція використання нетрадиційних матеріалів у дорожньому будівництві, зокрема синтетичних, які виконують різноманітні функції у складі дорожньої конструкції. Однією з цих функцій є армування земляного полотна.

Протягом останніх 40 років будівельна галузь проявила значний інтерес до методу армування, який слугує для поліпшення фізико-механічних характеристик слабких ґрунтів. За останнє десятиліття цей метод отримав широке визнання та застосування в дорожньому будівництві.

Земляне полотно є ключовим елементом автомобільної дороги, і його міцність і стійкість мають вирішальне значення для довговічності всієї конструкції. Сьогодні актуальною є проблема спорудження земляного полотна на слабких і неоднорідних ґрунтах, і в цьому контексті геосинтетичні матеріали стають все більш поширеними для покращення властивостей земляного полотна.

Багатофункціональність та властивості сучасних геосинтетичних матеріалів створюють необхідність у розробці нових конструктивних рішень та методик розрахунку конструкцій з використанням геосинтетичних прошарків. Використання армуючого геосинтетичного прошарку змінює напружено-деформований стан конструкцій, і, отже, детальний аналіз та дослідження процесу перерозподілу напружень від перевантажених зон до недовантажених ділянок стає актуальним.

Необхідно аналізувати методику розрахунків земляного полотна з геосинтетичним прошарком відповідно до нормативних документів України та розглядати можливі напрямки її вдосконалення для належного врахування впливу прошарку на роботу насипу.

Армований ґрунт представляє собою складний композитний матеріал, що складається з еластопластичної матриці (ґрунту) та в'язкопластичного армування (геосинтетику).

Таблиця 2.7 – Характеристики геосинтетиків [7]

Назва показника	Одиниця вимірювання	Норма	Метод випробувань згідно з [1] та [2]
1	2	3	4
Фізичні властивості			
Поверхнева щільність	г/м ²	135–2000	6.2.1 [1]
Товщина	мм	0,25–7,5	6.2.2 [1]
Механічні властивості			
Грейферна міцність	кН	0,45–4,5	6.3.2 [1]
Міцність на розтяг:	кН/м		6.3.1 [1]
- для розділення		9 – 13	
- для розділення		13 – 30	
- для армування		30 – 1200	
Міцність на втому (витривалість)	кількість циклів	50–100	6.3.2 [2]
Міцність на роздирання	Н	90–1300	6.3.1 [1]
Статичне проколювання плунжером	Н	45–450	6.3.8 [1]
Коефіцієнт зсуву	%	60–100	6.3.6.1 [1]
Анкерна міцність матеріалу при вириванні з масиву ґрунту	% (від міцності геотекстилю)	50–100	6.3.7 [1]
Гідралічні властивості			
Характерний розмір отворів	мм	2,0–0,075	6.4.1 [1]
Фільтруюча здатність матеріалу	с ⁻¹	0,02–2,2	6.4.2 [1]
Дренуюча здатність матеріалу під навантаженням	м ² /хв	0,01–2,0 · 10 ⁻³	6.4.3 [1]
Стійкість			
Пошкоджуваність при вкладанні	% (від міцності геотекстилю)	0–70	6.5.1 [1]
Стійкість до агресивних середовищ			
Температурна деградація (при дії високих температур, гаряча вода, гарячий асфальтобетон тощо тощо)	°С	для волокон АСМ – не менше 170; для геотекстильної підложки – не більше 130	5.14 [2]

Застосування армування ґрунтів в транспортному будівництві має велике значення для України, оскільки територія країни відрізняється різноманітними ґрунтовими умовами, такими як просадочність, зсуви, карст та інші. Ці умови можуть викликати значні деформації в будівництві та експлуатації, що призводить до часткової чи повної руйнації конструкцій.

Сучасні умови будівництва автомобільних доріг, особливо в умовах складної території, вимагають індивідуальних проектів конструкції земляного полотна. Вибір оптимальних конструкцій земляного полотна значною мірою залежить від прогнозу осадження та його розвитку під дією ваги насипу. Армування основи насипу є перспективним методом вирішення цих проблем в умовах складної території.

Армування ґрунтового масиву геосинтетиками перетворює його в міцне тверде тіло з анізотропною будовою, що схожа на будову штучних композитних матеріалів. Принцип роботи армованого ґрунту ґрунтується на спроможності об'єднувати ґрунт та арматурні елементи (геосинтетики), що монтується таким чином, щоб зменшити напруження розтягу, які можуть виникати в ґрунті під дією сил гравітації чи зовнішнього навантаження, і передавати їх за допомогою сил зчеплення на геосинтетичний прошарок, який ефективно вбирає зусилля розтягу.

Для розрахунків були розроблені та впроваджені нормативні документи, такі як ГБН В.2.3-37641918-544:2014 "Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги", ВБН В.2.3-218-544:2008 "Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві", СОУ 45.2-00018112-025:2007 "Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань", "Посібник з проектування земляного полотна і дорожніх одягів із застосуванням геосинтетичних матеріалів (доповнення до ВБН)" та інші. [13-35].

Вимоги до вкладання геосинтетичних матеріалів включають:

- очищення основи від предметів, які можуть пошкодити матеріал (гостре каміння, коріння, гілля, будівельне сміття);

- узгодження послідовності та напрямку укладання геосинтетичних полотен з напрямком будівельних робіт;

- запобігання зминанню та зміщенню полотен геосинтетичного матеріалу шляхом заведення наступного полотна під вже вкладене;

- заборона укладання швів паралельно осі дороги;

- розрівнювання складок і зморшок на поверхні геосинтетичних полотен.

- при необхідності пришпилювання полотен до основи для запобігання зриванню вітром.

Способи з'єднання полотен геосинтетичних матеріалів в будь-якому напрямку наведені на рисунку 2.3.

Вимоги до зшивання (з'єднання) полотен геосинтетичних матеріалів включають:

- використання матеріалу нитки для зшивання, виготовленого з тієї ж сировини, що і геосинтетичний матеріал (кевлар, поліпропілен, поліефір, поліамід тощо);

- встановлення необхідного натягу нитки через пробні зшивання;

- забезпечення щільності шва в межах від 2 до 4 петель на 25 мм довжини в залежності від виду, густини та міцності геотекстилю;

- здійснення з'єднання двох полотен геосинтетичного матеріалу з використанням 1-3 швів, залежно від характеристик геотекстилю, з відстанню між швами від 5 до 10 мм;

- рекомендація використання двопетельного шва;

- перевірка міцності шва за допомогою випробування зразків зшитого геосинтетичного матеріалу в лабораторних умовах;

- визначення оптимальної відстані від шва до краю геосинтетичного матеріалу та між скобами шляхом випробування зразків геосинтетичних матеріалів в лабораторії.

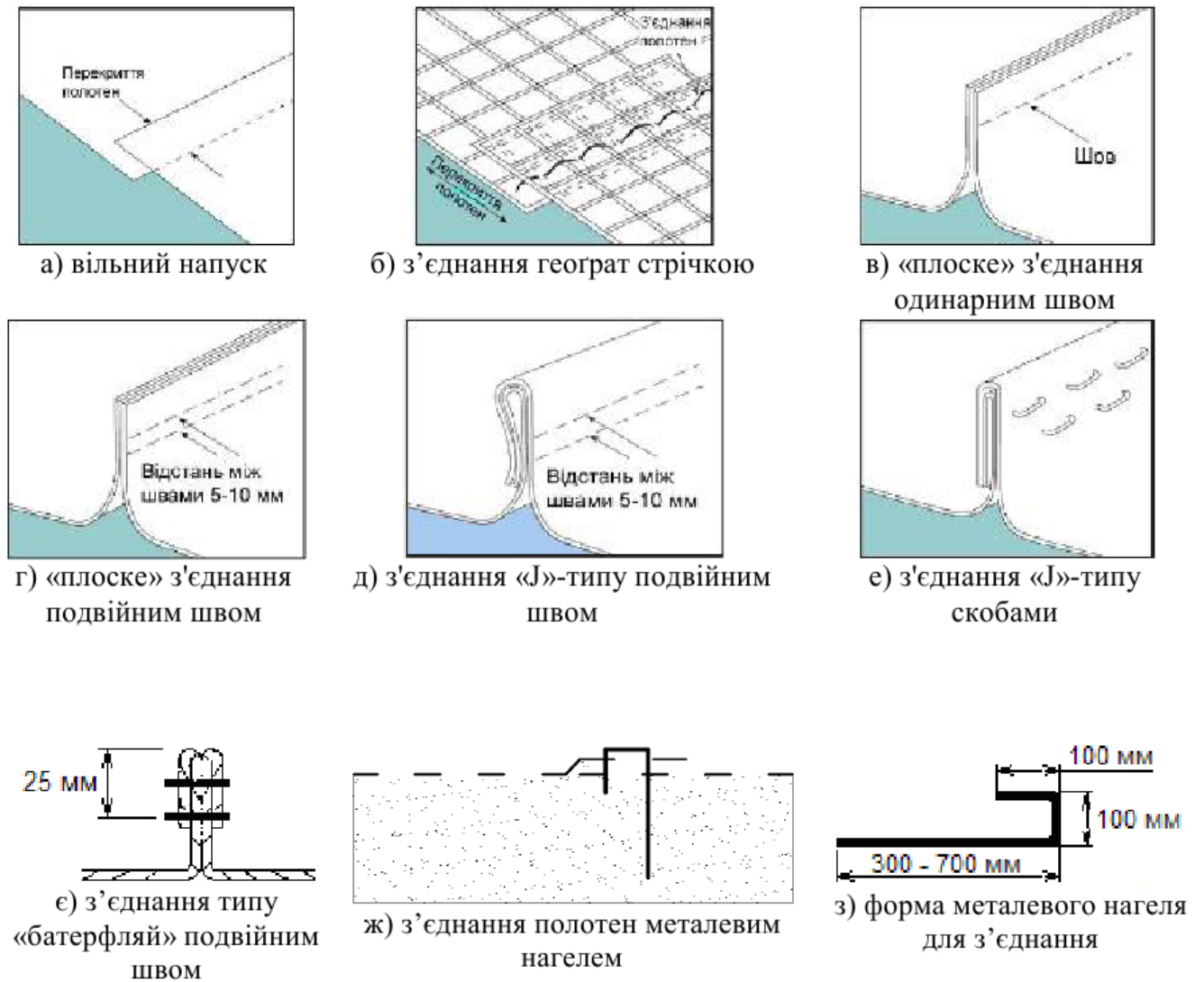


Рисунок 2.3 - Способи з'єднання полотнищ геосинтетичних матеріалів

Мінімальне перекриття полотнищ геосинтетичного матеріалу при вільному напуску становить 0,5 м і може бути збільшене до 1,0 м у разі недостатньої несучої здатності ґрунтової основи. На ділянках торфу ця величина може бути збільшена до (2,0 – 2,5) м. У місцях перекриття полотна геосинтетичного матеріалу повинні додатково кріпитись до основи за допомогою нагелів через кожні 2,5 м.

При необхідності передачі зусиль між полотнами їх зшивають, склеюють, з'єднують скобами, стрічками тощо. Оптимальним типом

з'єднання є «плоске» з'єднання, а з'єднання «J»-типу та «батерфляй» вважається найбільш міцним (рис. 2.3).

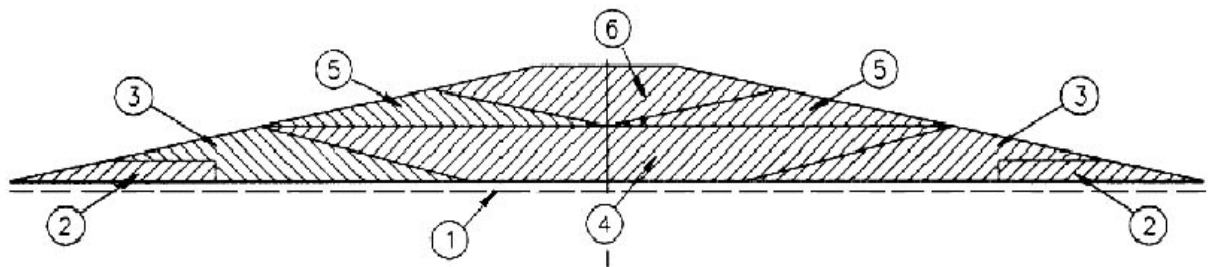
У випадку пошкоджень полотен геосинтетичного матеріалу:

- при дефектах, які перевищують половину ширини полотна, пошкоджену частину відрізають і замінюють новим полотном, з'єднуючи одним зі способів згідно з рис. 2.3;

- при дефектах, менших половини ширини полотна, вирізають і замінюють лише пошкоджену частину з подальшим з'єднанням;

- незначні дефекти, менші ніж 150 мм, можуть бути відремонтовані перекриттям пошкоджених ділянок новим геосинтетичним полотном, з напуском не менше 1 м в кожен бік від дефекту.

Послідовність влаштування шарів ґрунту над армуючим матеріалом на дуже слабких основах (модуль деформації менше 5 МПа) подана на рис. 2.4.



а) поперечний профіль

- 1 – укладання шарів армуючого геосинтетика;
- 2 – влаштування берм (під'їзних доріг);
- 3 – влаштування зовнішніх секцій для анкерування геосинтетика;
- 4 – влаштування центральної частини насипу;
- 5 – влаштування укісних частини;
- 6 – влаштування верхньої частини насипу

Рисунок 2.4 - Послідовність накладання ґрунту на армуюче полотно геосинтетичного матеріалу на дуже слабкій основі

Засипка ґрунту або зернистого матеріалу над геосинтетичним полотном проводиться від полотен, які перекривають, до тих, які підстеляють.

Мінімальна товщина шару ґрунту або зернистого матеріалу над геосинтетичним полотном повинна бути не менше 0,2 м. Заборонено заїзд будівельної техніки для розвантаження матеріалу безпосередньо на геосинтетичне полотно. Особливу увагу слід приділяти першому шару навантаження, щоб не перевищувало 1 м, розподілення ґрунту відразу після розвантаження, ущільнення шару тільки проходженням транспортної та розподілювальної техніки.

Рух транспортних засобів над першим насипаним шаром повинен відбуватися вздовж осі дороги. Якщо глибина колії від транспорту в ґрунті першого шару відсіпки перевищує 75 мм, застосовують більш легку техніку або зменшують завантаженість. Послідовність влаштування шарів ґрунту над армуванням на основах з модулем деформації більше 5 МПа виконують згідно з рисунком 2.5. При укладанні в основу насипу ґрунтової торцевої частину влаштовують за допомогою тимчасової опалубки (рис. 2.6 (а-д)). Мінімальна величина анкерного завороту в бічній частині напівзамкнених обойм з обох сторін повинна бути не менше 2,5 м.

При невикористанні геограт для армування, де отвори значно перевищують діаметр зерен матеріалу засипки, в торцевій частині обойми роблять вкладки з нетканинного геотекстилю, мішків з геотекстильних матеріалів з ґрунтом (рис. 2.6 (б, в, г)) або відсипають крупнозернистий матеріал.

Це не лише реалізація сучасних технологій в будівництві, але й можливість використання інноваційних матеріалів, таких як геосинтетичні полотна, що допомагають покращити міцність та стійкість ґрунтів. Це важливо з урахуванням того, що територія України має різноманітні ґрунтові умови, і використання армованих ґрунтів може забезпечити необхідну опірність просіданню та зсувам, особливо в умовах складних ґрунтових умов, таких як торф, карстові формації та інші.

Такий підхід до транспортного будівництва в Україні відкриває шлях до створення сучасної та конкурентоспроможної транспортної системи, яка

відповідає високим стандартам якості та враховує специфіку місцевих умов та клімату.



Рисунок 2.5 - Укладання ґрунту над геосинтетичним матеріалом на менш міцній основі: інструкція з модулем деформації вище 5 МПа.

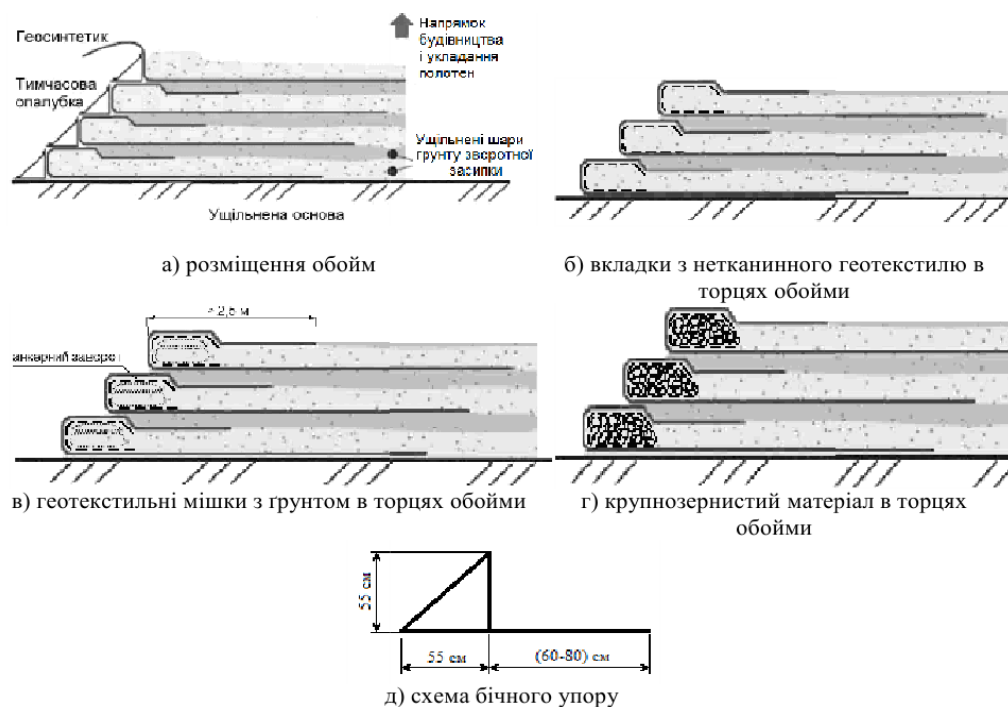


Рисунок 2.6 - Створення бічних стін ґрунтово-геосинтетичних обійм із застосуванням тимчасової опалубки

РОЗДІЛ 3 ВПРОВАДЖЕННЯ КОНСТРУКТИВНИХ ЗАХОДІВ З ПІДВИЩЕННЯ ДОВГОВІЧНОСТІ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИТТЯ ПРИ ІНТЕНСИВНОМУ РУСІ ВЕЛИКОВАНТАЖНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

3.1 Конструктивні рішення з підвищення довговічності асфальтобетону з урахуванням великовантажного навантаження

Довговічність асфальтобетону є критичним питанням у будівництві доріг, особливо при великовантажному транспорті. Щоб забезпечити тривалу службу дорожнього покриття та запобігти пошкодженням від важких навантажень, необхідно розглядати конструктивні рішення, які оптимізують міцність та довговічність асфальтобетону.

Використання високоякісних матеріалів:

- модифіковані асфальтобетони: застосування модифікаторів, таких як полімери або волокна, для покращення міцності та стійкості асфальтобетону;
- вибір якісного наповнювача: використання високоякісних наповнювачів, які покращують адгезію та зносостійкість.

Оптимізація товщини шарів:

- структуроване покладення шарів: створення оптимальної структури шарів асфальтобетону для рівномірного розподілу навантаження та зменшення ризику тріщин та деформацій;
- використання армувальних матеріалів: впровадження геосинтетичних матеріалів для армування асфальтобетонного покриття та підвищення його міцності.

Вивчення багатьма науковцями підтверджує, що поява температурних тріщин головним чином зумовлена розтягуючими напруженнями, що виникають в матеріалі внаслідок зміни температури. Ці тріщини сприяють руйнуванню зв'язків у складі асфальтобетону, аж до утворення макротріщин.

Дослідження стійкості дорожніх покриттів до тріщин вказують на те, що основні фактори, які сприяють утворенню тріщин, пов'язані з коливанням температури. Ці фактори включають невільне змінення розмірів покриття, розтяг матеріалу покриття над швами або тріщинами тріщиновато-блокових основ, а також нерівномірну температурну зміну розмірів складових компонентів асфальтобетону через розходження їхніх термо-механічних властивостей.

Розроблені пропозиції зорієнтовані на підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів і можна поділити на дві основні групи. Перша група заходів пов'язана з регулюванням властивостей матеріалу шару. До таких заходів входить збільшення релаксації напружень і деформативної здатності при низьких температурах. Це можна досягти за допомогою менш в'язких в'язучих, використання полімерних добавок, гумової крихти, сірки та інших компонентів. Також до ефективних заходів входить підвищення механічної міцності, яке досягається за рахунок оптимальних складів, мікроармування синтетичними, металевими, азбестовими волокнами, а також макроармування металевими і синтетичними сітками, нетканими матеріалами та іншими засобами [9, 10, 11, 12, 13, 19, 24, 32, 36, 37, 44, 48].

Заходи другої групи спрямовані на досягнення наступних цілей: зменшення або усунення горизонтальної взаємодії між покриттям і розташованою під ним тріщинувато-блочною основою. Це досягається за допомогою використання різних прошарків між покриттям і основою, виготовлених з високоеластичних і деформативних матеріалів, з зернистих або високоміцних матеріалів, а також з матеріалів, які зменшують тертя між покриттям і основою.

Додатковими цілями є зменшення горизонтального температурного деформування плит тріщинувато-блочної основи за рахунок збільшення товщини покриття, зменшення довжини плити основи і її матеріалу.

Також важливими є зменшення швидкості поширення тріщини до поверхні покриття за рахунок збільшення товщини покриття та використання армованих матеріалів у покритті.

Ефективним способом забезпечення температурної тріщиностійкості, ймовірно, є встановлення конкретних вимог до показників властивостей асфальтобетону при виборі складу суміші.

З метою підвищення температурної тріщиностійкості в асфальтобетонному покритті застосовують матеріалознавчі, конструктивні та технологічні заходи.

Щодо матеріалознавчого напрямку, основні пропозиції включають в себе:

- використання бітуму третього структурно-реологічного типу;
- застосування модифікованих бітумів, які включають полімери, синтетичні каучуки, адгезиви та інші добавки;
- мікроармування дисперсними мікроармуючими матеріалами, такими як мінеральні або полімерні волокна;
- макроармування синтетичними армуючими матеріалами.

Щодо заходів для підвищення температурної тріщиностійкості асфальтобетонного покриття, розглядаються такі підходи:

- збільшення товщини покриття;
- застосування верхніх шарів покриття з підвищеною температурною тріщиностійкістю;
- влаштування температурних та тріщиноперериваючих швів на тріщинувато-блочній основі.

Технологічні заходи включають в себе:

- зниження температури влаштування основи за допомогою матеріалів, укріплених неорганічними в'язучими, із подальшою нарізкою та влаштуванням температурних швів;
- зменшення температури укладання асфальтобетонного шару;

- зменшення швидкості охолодження шару під час влаштування (за низьких температур) за допомогою тимчасової теплоізоляції;
- підвищення однорідності асфальтобетонних сумішей (за допомогою перевантажувачів) та забезпечення рівномірності товщини асфальтобетонного покриття під час його влаштування.

Стратегії відновлення дорожнього покриття з поперечними тріщинами в асфальтобетонному шарі в основному базуються на використанні армуючих матеріалів, герметизації тріщин за допомогою заповнення їх герметиками та використанні захисних шарів з литих емульсійно-мінеральних сумішей або поверхневої обробки.

Для зменшення негативних наслідків та забезпечення водонепроникності асфальтобетонного покриття, що впливають на міцність та тривалість всієї конструкції дорожнього покриття, використовують герметизацію температурних поперечних тріщин з використанням різних герметиків.

Дослідження підтверджують, що ефективність їхньої роботи залежить від адгезивної міцності на контакті "герметик - асфальтобетонне покриття" та забезпечення стійкості герметизуючого матеріалу протягом експлуатації. Найважливішими факторами в цьому випадку є деформація асфальтобетонного покриття при зниженні температури в процесі її зміни під час сезонних та добових коливань.

Один із методів уникнення утворення тріщин - це використання "організованих тріщин". Цей процес включає нарізання швів у новому покритті над швами існуючого покриття, за яким проводиться їхнє герметизування.

Один з поширених варіантів герметизації передбачає ретельну обробку швів перед початком ремонтних робіт: видалення матеріалу, використаного для заливання шва. Глибина шва повинна становити не менше половини сумарної товщини асфальтобетонних шарів, а ширина - не більше 10 мм.

Схема влаштування шва в асфальтобетонному покритті включає наступні етапи:

- механічна нарізка шва;
- механічне очищення шва щіткою;
- продування, просушування та прогрівання шва;
- заливання шва розігрітим герметиком.

Для нарізання швів використовують механічні машини або ручні наріжчики з алмазними дисками діаметром не менше 180 мм. У випадках, коли заливка швів ускладнена, допускається влаштування фасок на верхніх кромках шва. Очищення нарізаних швів виконують механічними щітками. Нарізані та очищені шви продувають стиснутим гарячим повітрям через тепловий спис.

Стінки швів у асфальтобетонних покриттях не обробляють полімерною ґрунтовкою, якщо їх очищення здійснюється за допомогою теплового списа безпосередньо перед заливкою мастики. Застосування теплового списа забезпечує видалення вологи і нагрівання стінок шва. Тріщини герметизують негайно після їх очищення та просушування.

Герметизацію швів здійснюють за допомогою полімерно-бітумних мастик гарячого застосування, які поставляються на об'єкт у вигляді брикетів. Брикети розігрівають у спеціальній плавильній установці з подальшим застосуванням. Температура розігрівання герметика повинна відповідати від робочої температури заливки до температури безпечного розігріву, як вказано в інструкції виробника.

Герметизацію швів здійснюють за допомогою механічних заливщиків, обладнаних обігрівом ємності, що запобігає затвердінню мастики. Заборонено нагрівати герметик до температури вище 200 °С або максимальної температури, вказаної в інструкції по експлуатації, а також зберігати його у розігрітому стані більше 8 годин.

Подача герметика в шов відбувається за допомогою насоса через мастикопровід за допомогою сопла з діаметром від 5 мм до 8 мм. Шов заповнюється гарячим герметиком за один або два проходи. Рівень заповнення роблять нижче за кромки шва на (2-4) мм. Зайвий герметик, що

виступає над поверхнею покриття, видаляють, щоб уникнути його прилипання до коліс автотранспорту.

Роботи з герметизації швів виконують в суху погоду, за температури повітря не нижче 5°C. Якщо автотранспорт має проїхати по асфальтобетонному покриттю із герметизованими деформаційними швами, і температура герметика вище 30°C, шви обсипають борошном доломітовим або меленою крейдою.

Протягом останніх 40 років стратегія технічної політики у сфері ремонтів автомобільних доріг фокусується на попередженні руйнувань дорожніх покриттів. Запобіжні заходи все частіше реалізуються шляхом впровадження тонкошарових покриттів з монолітних матеріалів, які еволюціонували в напрямку зменшення товщини: та надтонкі (менше 20 мм), особливо тонкі (20-35 мм), тонкі (35-50 мм).

З погляду матеріалознавства дорожньо-будівельних матеріалів, використання особливо тонких і надтонких покриттів пов'язане з використанням литих емульсійно-мінеральних сумішей.

Розроблена методика проектування тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів використовує методи лабораторного моделювання, що дозволяє визначити оптимальний склад суміші.

Визначення товщини тонкошарових емульсійно-мінеральних покриттів методами лабораторного моделювання зумовлено максимальним розміром кам'яного матеріалу [11].

Таким чином, сучасні підходи до забезпечення температурної тріщиностійкості асфальтобетонних шарів включають широкий спектр заходів, які спрямовані як на регулювання властивостей асфальтобетону шляхом раціонального підбору його складу, так і на використання ефективних модифікуючих матеріалів у поєднанні з застосуванням армуючих сіток.

3.2 Конструктивні заходи з технології армування асфальтобетонного покриття з урахуванням великовантажного навантаження

Конструктивні заходи з технології армування асфальтобетонного покриття з урахуванням великовантажного навантаження включають ряд стратегій та елементів, спрямованих на забезпечення високої міцності, тривалості та стійкості дорожнього покриття умовах великого транспортного руху.

Основні заходи охоплюють такі аспекти:

- вибір високоміцних матеріалів: використання в'язких в'язучих матеріалів для підвищення міцності асфальтобетону.

- застосування адитивів, таких як полімери та волокна, для покращення розтягуючих властивостей матеріалу.

- оптимізація товщини шарів: раціональне проектування та встановлення оптимальної товщини асфальтобетонних шарів для ефективного розподілу навантаження.

- використання армувальних матеріалів: впровадження армуючих волокон, металевих арматур або геосинтетичних матеріалів для підвищення стійкості до деформацій та тріщин.

- модифікація асфальтобетону: використання модифікаторів, які підвищують стійкість до великовантажного навантаження.

- застосування технологій гарячої рецикляції для збереження якості асфальтобетону під час повторного використання.

- встановлення систем моніторингу та регулярне технічне обслуговування для виявлення і усунення пошкоджень та деформацій.

Ці комплексні заходи спрямовані на підвищення тривалості та надійності асфальтобетонного покриття під час великовантажного транспортного руху.

Сутність конструктивних заходів з технології армування асфальтобетонного покриття для відновлення нежорстких дорожніх одягів із поперечними температурними тріщинами полягає у поліпшенні

технологічності виконання робіт та зменшенні ризику утворення відображених тріщин під час капітального ремонту вулиць і доріг з асфальтобетонним покриттям.

Покращення технології використання армуючих матеріалів включає ефективне фіксування армуючого матеріалу на поверхні основи під асфальтобетонними шарами підсилення.

Один із найбільш ефективних способів покращення технологічності використання армуючих матеріалів - це використання так званих самоклеючих матеріалів. Ці матеріали завдяки високій адгезії до асфальтобетонного шару основи можуть ефективно утримуватися на поверхні під час руху технологічних механізмів, які використовуються при влаштуванні асфальтобетонних шарів.

Використання самоклеючих армуючих матеріалів (АСМ) при ремонті шарів асфальтобетону може знизити ризик утворення відображених тріщин, підвищити гідроізоляційні властивості асфальтобетонного покриття та продовжити міжремонтні терміни його служби.

Один із сучасних самоклеючих матеріалів — ADFORS GlasGrid GG — представляє собою скловолокнисту сітку високої міцності з жорсткою структурою. Ця сітка покрита запатентованим еластомерним полімером і має самоклеючий шар. Кожен компонент решітки стійкий до ультрафіолетового випромінювання та хімікатів, які містяться в ґрунті.

Дослідження, проведені ДП "ДерждорНДІ", підтверджують, що скловолоконна геосітка GlasGrid "ADFORS SAINT-GOBAIN" відповідає вимогам до армуючих прошарків у верхніх шарах дорожніх конструкцій.

Вона застосовується для армування, тріщинопереривання, ліквідації зсувних ділянок та укріплення дорожнього одягу. Технічні характеристики цього синтетичного армуючого матеріалу ADFORS GlasGrid GG наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Технічні параметри армуючого синтетичного матеріалу ADFORS GlasGrid GG [19]

Найменування показника	Значення показника для сітки			Стандарт
	GG 50	GG 100	GG 200	
Міцність при розтягу (MD x CD)	(55 x 55) - 5 кН/м	(115 x 115) - 15 кН/м	(115 x 215) - 15 кН/м	EN ISO 10319 ASTM D6637
Розтягування	2,5 ± 0,5 %	2,5 ± 0,5 %	2,5 ± 0,5 %	EN ISO 10319 ASTM D6637
Міцність на розтяг @ 2 % напруження (MD x CD)	(46 x 46) ± 10 кН/м	(95 x 95) ± 20 кН/м	(95 x 180) ± 20 кН/м	EN ISO 10319 ASTM D6637
Жорсткість @ 1 % напруження (MD x CD)	(2.200 x 2.200) ± 200 Н/мм	(4.600 x 4.600) ± 600 Н/мм	(4.600 x 8.600) ± 600 Н/мм	EN ISO 10319 ASTM D6637
Модуль Юнга E	73.000 МПа	73.000 МПа	73.000 МПа	
Маса одиниці площі	205 г/м ²	405 г/м ²	603 г/м ²	EN ISO 9864 ASTM D5261
Точка плавлення покриття Точка плавлення скла	>232 °C >820 °C	>232 °C >820 °C	>232 °C >820 °C	ASTM D276/EN ISO 3146 ASTM C338
Довжина рулону	150 м	100 м	70 м	
Ширина рулону	1,0; 1,5; 2,0; 3,0 м	1,0; 1,5; 2,0; 3,0 м	1,5; 3,0 м	
Площа рулону	150, 225, 300, 450 м ²	100, 150, 200, 300 м ²	105, 210 м ²	
Самоклеючий шар	активується тиском	активується тиском	активується тиском	
Розмір комірки	25 x 25 мм	12,5 x 12,5 мм (тип 8501) 25 x 25 мм (тип 8511)	25 x 19 мм	
Матеріал	Скловолокниста армована сітка з модифікованим полімерним покриттям і самоклеїним нижнім шаром, активує притиском.			

В структурах дорожнього одягу, які використовують армуючий геотекстильний матеріал ADFORS GlasGrid GG, враховується різновид робіт з будівництва доріг: будівництво нових, реконструкція, капітальний ремонт, середній ремонт і поточний ремонт. При розробці дорожнього одягу для нового будівництва, де використовуються армовані самоклеючі матеріали для асфальтобетонних шарів, необхідно враховувати оптимальне розташування армуючої сітки, щоб забезпечити максимальні позитивні ефекти від армування, спрямовані на підвищення міцності та тривалості служби дорожнього одягу в умовах дії транспортних навантажень і температурних коливань.

При впровадженні АСМ в конструкції дорожнього одягу під час реконструкції та капітального ремонту слід спрямовувати його застосування на підвищення несучої здатності та міцності дорожнього одягу, а також на зменшення ризику утворення відображених тріщин на розтрісканій основі.

Під час проведення середнього ремонту дорожнього покриття з асфальтобетонними шарами для відновлення шорсткості, рівності та покращення експлуатаційних характеристик при наявності тріщин температурного та силового походження, застосування армованого силами мікрофібри (АСМ) повинно гарантувати максимальну стійкість відремонтованого покриття проти утворення відображених тріщин.

Під час виконання поточного ремонту, який спрямований на запобігання та негайну ліквідацію дрібних деформацій та руйнувань дорожнього покриття, застосування АСМ в локальних місцях повинно забезпечити відновлення несучої здатності та суцільності шарів асфальтобетону.

При конструюванні дорожнього покриття з армованими асфальтобетонними шарами для нового будівництва, важливо врахувати необхідність забезпечення збереження міцності асфальтобетонних шарів протягом всього терміну служби до капітального ремонту. Критерій граничного стану обирається в якості найбільш небезпечного.

Для асфальтобетонних шарів дорожнього покриття, які є зв'язаними матеріалами з частками, що мають між собою зв'язок та працюють на розтяг, руйнування виникає внаслідок їх поділу на частини.

У багатьох випадках такий поділ розпочинається з появи тріщини неподалік від основи асфальтобетонного покриття через втому при повторному згині за дії найбільших горизонтальних нормальних напружень.

Цей напружено-деформований стан асфальтобетонного покриття слід розглядати як розрахунковий під дією розтягуючих напружень, особливо на міських вулицях і дорогах, де розтягуючі напруження виникають більш агресивно через повільний рух транспорту або тривалі зупинки в місцях заторів та стоянок. Ці напруження діють постійно, незалежно від сезону та жорсткості підстилаючих шарів асфальтобетонного покриття і створюють умови для утворення тріщин на його поверхні.

Отже, тріщини, які виникають на підшві асфальтобетонних шарів та на їхній поверхні, поширюються по всій їхній товщині. Це призводить до зменшення здатності розподіляти навантаження на шари, що знаходяться нижче, і утворення сітки тріщин на смугах накату, де колеса транспорту проходять частіше.

Вода, яка потрапляє через тріщини, перезволожує основу та земляне полотно, виникають нові тріщини в покритті, сприяє просіданням в місцях перезволоження ґрунту та прискорює утворення колії.

Таким чином, в залежності від характеру напружено-деформованого стану асфальтобетонних шарів, для тих чи інших умов руху, необхідно передбачати армування, чи в нижній частині асфальтобетонних шарів, якщо переважають розтягуючі напруження на їхній підшві, чи в верхній частині, якщо переважають поверхневі розтягуючі та температурні напруження, або подвійне армування (в нижній та верхній частинах асфальтобетонних шарів), якщо такі напруження є рівноцінними.

3.3 Конструктивні заходи підвищення довговічності армуванням укосів

Застосування армування та стабілізації укосів використовується в насипах автомобільних доріг для забезпечення їхньої стійкості в наступних випадках:

- Якщо потрібно збільшити крутизну до 70° .
- У підпірних стінках з крутизною від 70° до 90° , які мають ґрунтовий армуючий елемент.

При використанні ґрунтово-геосинтетичних обойм в основі насипу на підходах до мостів, в берегових опорах мостів, а також у випадках зменшення ширини відведення під час нового будівництва, реконструкції з розширенням земляного полотна, ремонту обрушених укосів насипів або утворення насипів з перезволожених дрібнозернистих ґрунтів.

Варіанти первинного та вторинного армування та стабілізації укосу насипу можна знайти на рисунку 3.1.



Рисунок 3.1 – Схема стабілізації і армування укосу насипу

Для ефективного армування та стабілізації укосів рекомендовано використовувати наступні геосинтетичні матеріали:

- для первинного армування рекомендується використовувати геотрати з міцністю на розтяг не менше 30 кН/м, виготовлені з поліефірних, поліпропіленових чи поліамідних волокон;

- для вторинного армування підходять тканинні та нетканинні геотекстилі;

- для захисту поверхні укосу від ерозії рекомендується використовувати геомати;

Короткі полотна для вторинного армування довжиною від 1 м до 2 м слід розташовувати між полотнами первинного армування, якщо відстань між ними перевищує 0,6 м, як зазначено на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Схема закладання полотен вторинного армування між полотнами первинного

Армування та стабілізація укосу включає в себе кілька ключових елементів, а саме: первинне та вторинне армування, захист від ерозії поверхні укосу і впровадження системи дренажу.

Первинне армування має за мету забезпечення загальної стійкості укосу і виконується за допомогою полотен геосинтетика, які закладаються в тіло укосу із запасом за лінією можливого обрушення укосу.

Вторинне армування спрямоване на забезпечення стійкості укисної частини під час ущільнення. Для цього використовують геотекстильні матеріали, які мають достатню міцність і додаткову функцію фільтрації. Ці

матеріали розташовуються на ширину до 2 м між полотнами первинного армування.

Для забезпечення загальної стійкості укосі рекомендується встановлювати систему дренажу в армованому укосі, за винятком випадків, коли насип складається з дренуючих матеріалів. Розрахунок стійкості укосу виконується враховуючи критерії внутрішньої, зовнішньої і комбінованої стійкості, а також експлуатаційного граничного стану (рисунк 3.3).

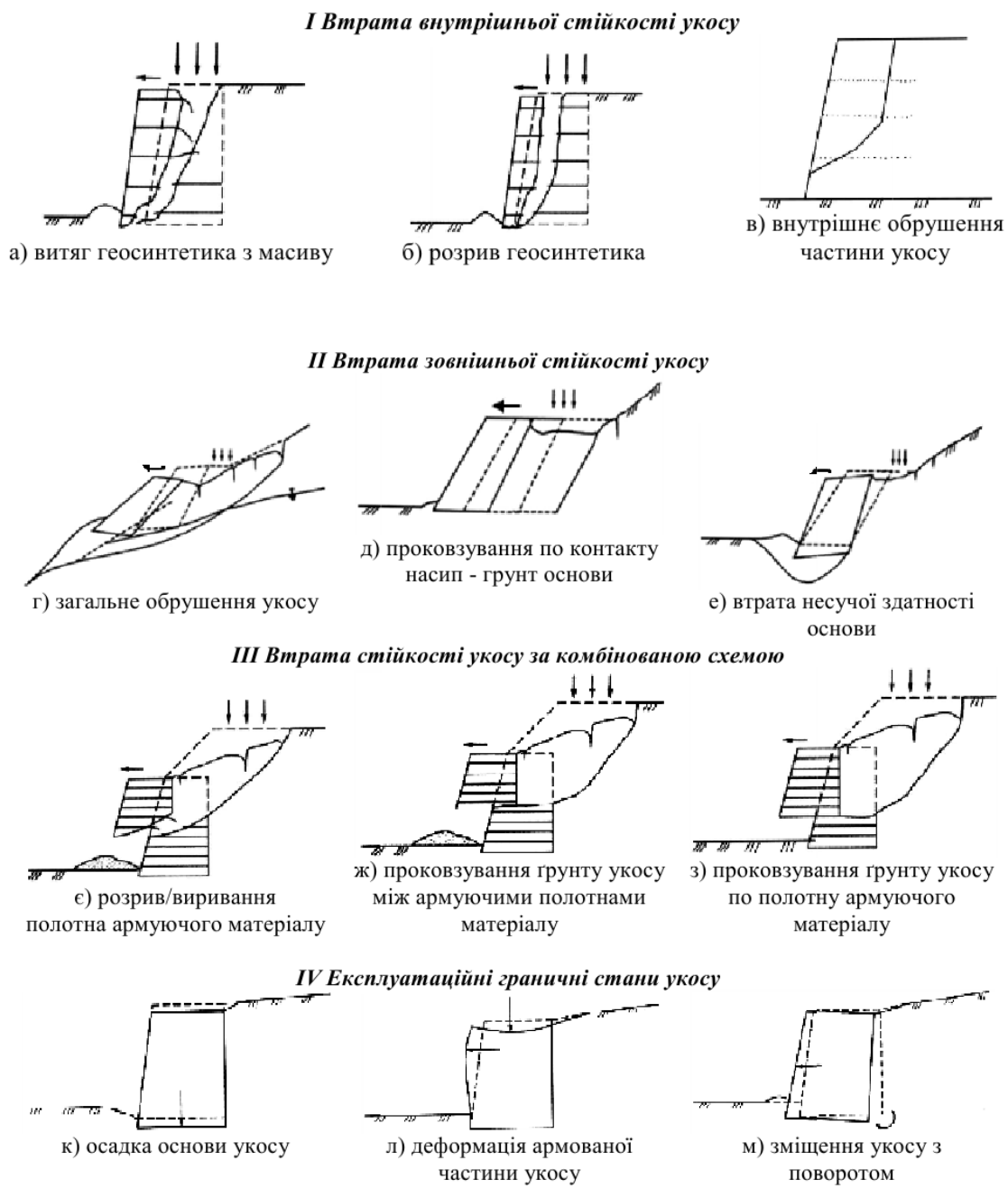


Рисунок 3.3 - Схеми втрати стійкості укосів

Внутрішня стійкість визначається роботою ґрунту та геосинтетичних полотен в армованій частині конструкції, враховуючи, що площина ймовірного обрешення проходить через армуючі полотна.

Зовнішня стійкість описує роботу армованої конструкції в цілому, без врахування способу армування, при цьому площина ймовірного обрешення проходить поза чи під армованою частиною.

Комбінована втрата стійкості може виникнути, якщо лінія обрешення проходить одночасно поза армуванням і через армовану частину.

Експлуатаційні граничні стани визначають критичні значення усадки і деформації, при перевищенні яких порушується експлуатаційна якість конструкції.

Розрахункове зусилля первинного армування укусу, T_r , визначається як найбільше значення з розрахунків внутрішньої, зовнішньої і комбінованої стійкості. Міцність геосинтетика для армування укусу повинна задовольняти умові (3.1).

$$T_d = T_r, \quad (3.1)$$

де T_d – розрахункова міцність геосинтетика для первинного армування, кН/м;

T_r – розрахункове зусилля, яке повинно передаватись геосинтетичному армуючому полотну, кН/м.

Необхідна номінальна довготривала міцність геосинтетика, $T_{ном}$, повинна задовольняти умові (3.2):

$$T_{ном} \geq T_d \cdot \gamma_m \cdot \gamma_n, \quad (3.2)$$

Розрахункову довжину анкерування полотен в укисній частині насипу визначають як максимальну з довжин, отриманих при розрахунках внутрішньої, зовнішньої і комбінованої стійкості укусу.

Наявність ґрунтової води в тілі укосу може погіршувати здатність геосинтетика опиратись на зусилля витягування і призводити до ерозії поверхні укосу. Зазвичай внутрішній дренаж влаштовують за армованою частиною укосу. Відстань між водовипусками залежить від геометрії об'єкта та інтенсивності підтікання води. При орієнтації дренажу в просторі слід враховувати, що потенційна площа обрушення укосу може пролягати по контакту "ґрунт-геосинтетик дренажу", де величина зчеплення і кут внутрішнього тертя можуть бути зниженими. Геотекстилі первинного і вторинного армування повинні мати водопроникність, яка перевищує водопроникність ґрунту, яким заповнюється армована частина, для уникнення накопичення води над геотекстилем внаслідок інфільтрації атмосферних опадів.

Під час порівняння проектних варіантів армованих і неармованих укосів за критерієм "ефективність-вартість", враховують такі параметри: об'єм земляних робіт, площа поверхні укосу, середня висота укосу та його кут закладання, вартість місцевого ґрунту для неармованого укосу та відібраного ґрунту для армованого, вимоги до протиерозійного захисту укосу, можливість та вартість землевідведення, вартість конструкцій безпеки (огорожі та інше), потребу у тимчасовій опалубці, перенаправлення руху транспорту під час будівництва і аспекти естетики конструкції взагалі, а також експлуатаційні витрати.

При роботі з армованими та стабілізованими укосами слід враховувати обмеження, пов'язані із стійкістю та тривалістю служби геосинтетичних матеріалів в ґрунтових умовах, враховуючи рівень рН і ступінь окислення. Використання геосинтетиків на основі поліетилентерефталату слід обмежувати в ґрунтах із рН від 3 до 9, а матеріалів на основі поліолефінів (поліпропілен та поліетилен) - в ґрунтах з рН більше 3. Якщо місце вкладання геосинтетика знаходиться на рівні ґрунтових вод або нижче, слід враховувати питому вагу матеріалу для уникнення його плавучості під час вкладання, і питома вага повинна бути більше 1,0 завдяки привантаженню.

Розмір і маса рулону геосинтетика повинні відповідати розрахунковим умовам (мінімальна ширина) та способу вкладання (механізований чи немеханізований).

Перед початком робіт в сфері армування та стабілізації укосів проводиться розробка детального плану укладання геосинтетичних полотен. Цей план повинен чітко визначати напрямок укладання полотен: поперечне вкладання, де розрахункова міцність геополотна залежить від напрямку МН (від осі насипу в бік укосу), або поздовжнє вкладання, де вона залежить від напрямку ПМН (вздовж укосу).

При поперечному вкладанні геосинтетичних полотен не допускається з'єднання окремих полотен в напрямку передачі основних зусиль (від осі насипу в бік укосу). Таким чином, довжина полотна для первинного армування повинна відповідати цілому рулону.

Перед укладанням геосинтетичних полотен в укосах вивільняють основу від об'єктів, які можуть пошкодити полотна (гострі камені, корені та гілля дерев, будівельне сміття і т. д.). Рівність основи повинна дотримуватися в межах ± 30 мм. У випадку укладання армуючих полотен геосинтетиків в укосах з крутизною менше 45° , не потрібно виконувати загортання полотен.

Різні методи укладання геосинтетичних полотен показані на рисунку 3.4.

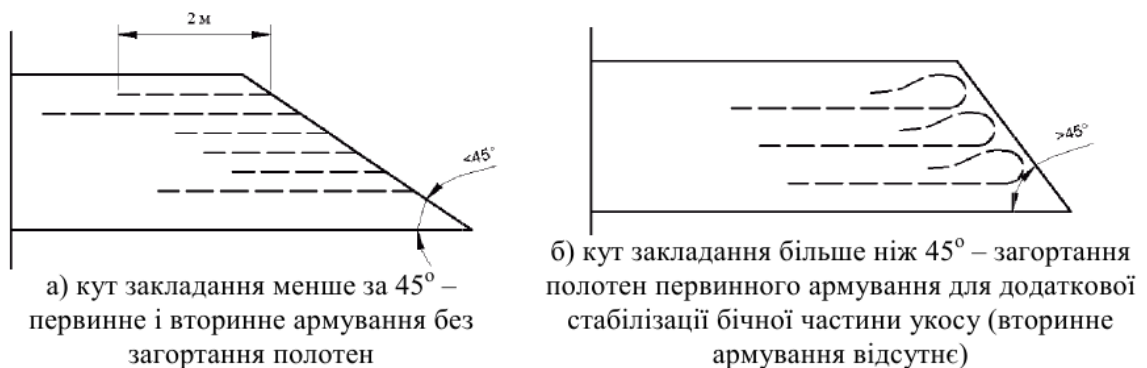


Рисунок 3.4 - Засоби укладання геосинтетичних полотен при армуванні укосу в залежності від його крутизни α

При більш крутих нахилених поверхнях укосів необхідно використовувати тимчасову або постійну опалубку для формування торцевої частини, як показано на схемах на рисунках 3.5 та 3.6.

Товщина шару матеріалу, яким засипають полотно геосинтетиків, не повинна перевищувати 0,6 метра. Засипання армуючих полотен зернистим матеріалом виконується за допомогою екскаватора з фронтальним ковшем, який не повинен заїжджати безпосередньо на геосинтетичні матеріали, як показано на рисунку 3.5. Мінімальна товщина зернистого матеріалу над полотном геосинтетиків повинна бути не менше 0,2 метра. Ущільнення незв'язного ґрунту в засипці виконують за допомогою віброкотка чи віброплити, а в разі зв'язаного ґрунту - за допомогою котка на пневмоходу.

Для ущільнення бічної частини укосу використовують легкі ущільнюючі засоби (рисунок 3.6 е). Коефіцієнт ущільнення ґрунту в укісній частині повинен бути не менше 0,95 від стандартного значення при варіації вологості ґрунту в межах 2%.

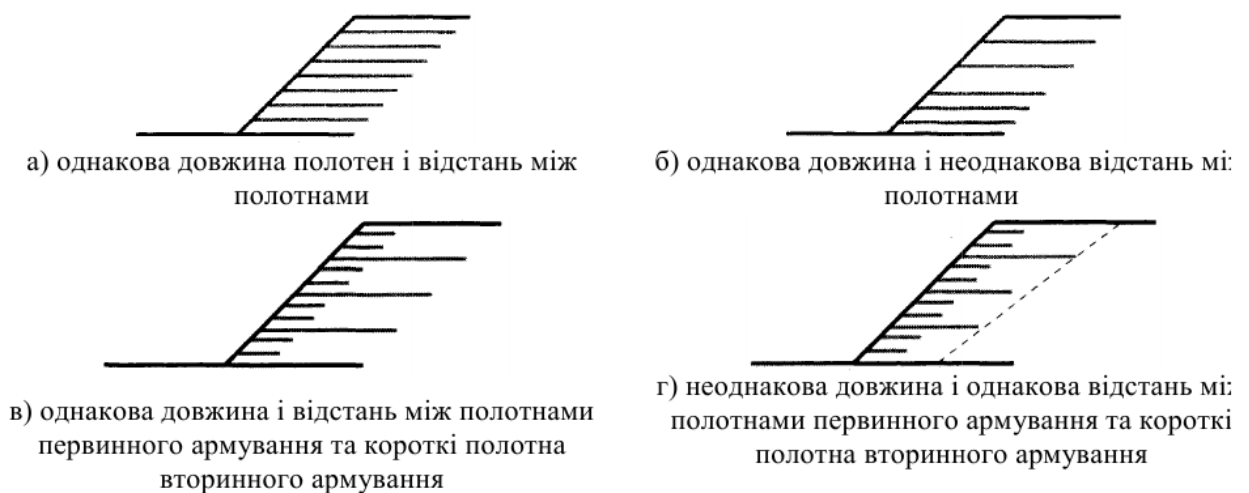


Рисунок 3.5 - Варіанти армування укосів з різною довжиною арматурних елементів

Далі проводиться устрій внутрішнього дренажу на армованому укосі та встановлення протиерозійного захисту укосу.

3.4 Конструктивні заходи щодо проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу підвищеної колієстійкості

Проектування асфальтобетонного покриття для нежорсткого дорожнього одягу з підвищеною колієстійкістю є складним завданням, що вимагає комплексного підходу. З урахуванням сучасних технологій та наукових розробок можна створити дорожнє покриття, яке відповідає високим стандартам якості та ефективно виконує свої функції в умовах інтенсивного транспортного руху.

Проектування асфальтобетонного покриття для нежорсткого дорожнього одягу, що має підвищену стійкість до утворення колій, представляє собою комплексний процес розрахунку конструкції, включаючи оцінку міцності, зсувостійкості та морозостійкості, а також урахування техніко-економічних аспектів для обґрунтування варіантів конструкцій.

Інженерний метод розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу включає визначення кількості та товщини конструктивних шарів, вибір матеріалів з урахуванням інновацій та енергозаощадливих та екологічних рішень.

При розрахунках важливо дотримуватися таких принципів:

- кожен шар конструкції, як асфальтобетонний так і основний, може бути розроблений окремо з урахуванням відмінних рівнів розрахункового навантаження;

- технологія укладання асфальтобетонних шарів та основи повинна дозволяти максимальну механізацію дорожньо-будівельних процесів і враховувати реальні умови виконання робіт.

При будівництві асфальтобетонного покриття для нежорсткого дорожнього одягу необхідно враховувати конструктивні, матеріалознавчі та технологічні заходи для підвищення стійкості до утворення колії. Для досягнення цієї мети слід дотримуватись таких принципів:

- використання стабілізованих або укріплених неорганічними в'язучими ґрунтів у робочій зоні земляного полотна;
- застосування штучного дробленого піску або щебенево-піщаних сумішей у дренавальних шарах основи;
- використання геотекстильних матеріалів між ґрунтом земляного полотна та основою дорожнього одягу;
- застосування геотекстильних матеріалів між піщаною основою та щебеним шаром основи;
- використання щебенево-піщаних сумішей у шарах основи, як неукріплених, так і укріплених неорганічними в'язучими;
- Застосування органічних в'язучих та чорного щебеню з просочуванням та напівпросочуванням;
- рекомендація виконувати підґрунтовку поверхні основи покриття бітумом, модифікованим полімерами для максимального зчеплення між шарами асфальтобетону;
- перевірка асфальтобетонів різної гранулометрії за визначеною методикою для шарів покриття з підвищеною колієстійкістю.

При будівництві земляного полотна з вологих ґрунтів за II та III типами рекомендується укріплювати ґрунти активної зони полотна неорганічними в'язучими. Для цього необхідно обов'язково виконати дренаж [14] та/або встановити фільтруючі прошарки [14]. Розрахунки на стійкість до зсуву ґрунту земляного полотна, зернистих та слабкозв'язаних матеріалів конструкції дорожнього одягу типу "нежорсткий" рекомендується виконувати влітку для підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття.

В основному рекомендується використовувати щільний асфальтобетон I-II марок типів А, Б. У зонах А-1 і А-7 на дорогах I, II, III категорій переважно слід використовувати асфальтобетони типів А, Б та щебенево-мастиковий асфальтобетон незалежно від дорожньо-кліматичної зони [14].

Для запобігання колієутворенню на автомобільних дорогах з рухом великовантажних транспортних засобів рекомендується використовувати асфальтобетонні суміші типу А та ЦМА в верхньому шарі покриття.

У нижніх шарах основи рекомендується використовувати щільні асфальтобетони з залишковою пористістю не менше 3% та пористі асфальтобетони з залишковою пористістю не більше 7%. Товщину проміжних шарів дорожнього одягу слід визначати так, щоб розтягувальні напруження при згині в монолітних шарах основи не перевищували допустимих, а в зернистих і малозв'язаних матеріалах не виникали неприпустимі деформації зсуву. Ступінь дезінтеграції зернистих матеріалів визначається за методикою [14].

Міжремонтний період для виправлення колії недопустимої глибини на асфальтобетонних покриттях (з урахуванням критерію поперечної рівності) рекомендується не менше визначених у [14].

При будівництві земляного полотна важливо дотримуватись технології зведення конструкції та гарантувати якість робочого шару [1, 4].

Для забезпечення однорідності при стабілізації або укріпленні шару дорожнього одягу, рекомендується застосовувати холодний ресайклінг на дорозі або в стаціонарних чи пересувних змішувачах примусової дії [14].

З метою підвищення розподільчої та несучої здатності між ґрунтом земляного полотна і основою, а також між щебеневою основою і асфальтобетонним покриттям, рекомендується використовувати геосинтетичні матеріали. При використанні геосинтетичних матеріалів для підвищення стабільності ґрунту земляного полотна, важливо дотримуватись вимог [14].

З метою зменшення зволоження ґрунту земляного полотна та основи дорожнього одягу, слід передбачати заходи, такі як зміцнення узбіч, забезпечення їх належного поперечного похилу і водонепроникності, влаштування бордюрів і лотків, а також забезпечення безпечної відстані від брівки земляного полотна до рівня тривалих поверхневих вод.

Також рекомендується підвищене ущільнення (до $K = 1,03...1,05$) верхньої частини робочого шару в дорожньо-кліматичних зонах У-ІІ, У-ІІІ.

При влаштуванні асфальтобетонного покриття з підвищеною колієстійкістю слід дотримуватися технологічного регламенту та приділяти особливу увагу наступним технологічним операціям: підготовка основи дорожнього одягу, підґрунтовка шару основи, транспортування асфальтобетонної суміші, укладання асфальтобетонної суміші, та контроль якості робіт.

Всі етапи виконуються відповідно до встановлених норм [14].

Перед початком укладання асфальтобетонних шарів дорожнього одягу рекомендується скласти та затвердити графік виконання робіт, розробити транспортну схему та технологічну карту на влаштування асфальтобетонних шарів.

Підготовка основи дорожнього одягу включає ретельне очищення поверхні від пилу та бруду, а також вирівнювання та ліквідацію дефектів, таких як ямковість та тріщини.

Підґрунтовка шару основи на автомобільних дорогах загального користування [14] виконується за допомогою рівномірного розподілу бітуму, модифікованого полімерами [14].

При транспортуванні асфальтобетонної суміші важливо забезпечити таку тривалість, щоб суміш не охолонула нижче мінімально допустимої температури перед ущільненням. Температура асфальтобетонної суміші повинна залишатися в межах максимально допустимого значення для конкретного в'язучого [1, 2, 4, 14].

Для зменшення втрат тепла під час транспортування асфальтобетонної суміші рекомендується використовувати великовантажні автомобілі з кузовами, що підігріваються та мають вантажопідйомність у межах 25-40 тонн.

Крім того, важливо використовувати обов'язкове укриття гарячої суміші. Для збереження температури асфальтобетонної суміші на автосамоскидах

рекомендується створювати повітряний прошарок між тентом та поверхнею суміші.

При організації руху автомобільного транспорту під час транспортування асфальтобетонної суміші слід забезпечити безперервне укладання суміші, щоб уникнути затримок та зберегти її оптимальну температуру.

Укладання асфальтобетонної суміші виконується відповідно до технологічної карти на влаштування асфальтобетонного покриття. Цей процес має бути узгоджений з попередньо розробленим графіком та транспортною схемою, щоб забезпечити ефективність та високу якість влаштування асфальтобетону.

При укладанні асфальтобетонної суміші рекомендується використовувати асфальтоукладальники, обладнані подвійним трамбувальним брусом та вигладжувальною віброплитою або трамбувальним брусом, вигладжувальною віброплитою та гідравлічними пресувальними планками.

Для підвищення колієстійкості при укладанні асфальтобетонної суміші рекомендується використовувати перевантажувач. Це дозволяє одночасно зменшити гранулометричне та температурне розшарування суміші і забезпечити постійне завантаження бункера асфальтоукладальника, що сприяє покращенню рівності покриття та підвищенню колієстійкості. Укладання слід проводити на всю ширину проїзної частини.

Ущільнення здійснюють важкими гладковальцевими котками [14], організовуючи роботу так, щоб котки не мали перерв в процесі ущільнення. Для підвищення колієстійкості рекомендується ущільнювати асфальтобетонну суміш до коефіцієнта ущільнення не менше 0,99 для I та II категорій, а для III – не менше 0,98.

Контроль якості робіт включає випробування асфальтобетонної суміші та асфальтобетону відповідно до вимог [14], щоб забезпечити їх відповідність встановленим стандартам [14].

Рекомендується уважно відстежувати процес ущільнення шарів конструкції дорожнього одягу, проводячи постійні перевірки коефіцієнта ущільнення під час укладання. Зокрема, важливо забезпечувати систематичний контроль за цим параметром для ефективного усунення можливих дефектів та підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття.

Технологічні особливості щодо виправлення колійності в асфальтобетонному покритті включають ремонтні заходи та технічні рішення, спрямовані на усунення дефектів, що виникають під час експлуатації. Ці заходи спрямовані на запобігання подальших пошкоджень та підвищення стійкості до утворення колій.

Роботи з усунення колії в асфальтобетонному покритті повинні відповідати чинним нормативним документам, зокрема [14], для забезпечення високої якості ремонту та тривалого функціонування дорожнього покриття.

Усунення колійності в асфальтобетонному покритті можна розділити на кілька категорій:

1. Організаційні заходи:

- обмеження денного потоку вантажного транспорту в літній час при підвищених температурах, зокрема, за рахунок нічного часу;

- проведення вагового контролю величини навантаження на вісь автомобіля та застосування штрафних санкцій на власників автотранспорту при недотриманні вимог;

- забезпечення зменшення транспортного потоку з крайніх правих смуг та ліквідація місць зниження швидкості руху.

2. Ліквідація утвореної колійності:

- зменшення глибини колії за рахунок часткового холодного або гарячого фрезерування;

- проведення поверхневої обробки або влаштування тонкого шару покриття на всій ширині проїзної частини (застосування технологій "Сларрі Сіл", "Мікросюрфейсінг").

3. Усунення причин утворення колійності:

- ремонт з подальшим підсиленням конструкції дорожнього одягу, включаючи зміну поперечного профілю та використання геосинтетичних матеріалів;

4. Засоби, направлені на попередження утворення колії:

- розрахунок дорожньої конструкції з урахуванням накопичення залишкових деформацій;

- підбір дорожньо-будівельних матеріалів підвищеної колієстійкості з урахуванням температурних та вологісних умов.

Дотримання суворого контролю якості на різних етапах будівництва та утримання автомобільної дороги, а також проведення обов'язкових лабораторних досліджень матеріалів, сприяють вчасному виявленню та усуненню колійності.

Для ремонтів доріг і вулиць у містах з інтенсивним рухом великовантажного транспорту рекомендується використовувати два шари полімерасфальтобетону на відремонтованій основі. Ці шари повинні бути склеєні полімербітумним в'язучим або модифікованою полімером бітумною емульсією. Верхній шар складається з дрібнозернистого асфальтобетону товщиною 4-6 см, а нижній - з крупнозернистого асфальтобетону товщиною 8-12 см.

Для підвищення якості дорожнього будівництва та подовження терміну служби дорожнього покриття, рекомендується активно залучати дослідницькі та наукові установи. Важливо продовжувати дослідження нових матеріалів та технологій для забезпечення високої міцності та тривалості дорожнього одягу.

Виконання цих рекомендацій може призвести до значного підвищення довговічності та міцності дорожнього покриття, особливо в умовах інтенсивного руху великовантажних транспортних засобів.

Запропоновані технологічні заходи та інновації включають в себе не лише методи ремонту колій та підвищення колієстійкості, а й акцентують на використанні сучасних матеріалів та вдосконаленні будівельних технік для підвищення тривалості дорожнього покриття.

Важливо зазначити, що організаційні заходи, спрямовані на зниження темпів утворення колії, включають в себе ініціативи з обмеження денного потоку вантажного транспорту та застосування вагового контролю. Це дозволяє раціонально розподілювати транспортний потік та зменшувати вплив на дорожнє покриття.

Новаторські підходи до ремонтів, такі як використання двошарового полімерасфальтобетону, демонструють високий потенціал у підвищенні міцності та тривалості дорожнього одягу. Залучення дослідницьких установ для постійного вивчення та впровадження інновацій грає важливу роль у подовженні терміну служби і покращенні якості інфраструктури.

Отже, впровадження запропонованих рекомендацій може сприяти створенню доріг, які відповідають високим стандартам якості та забезпечують безпеку та зручність для усіх користувачів.

3.5 Рекомендації з підвищення довговічності та конструктивних заходів з відновлення міцності дорожнього одягу з інтенсивним рухом

Для розробки ефективних конструктивних заходів і вибору оптимальних технологій для відновлення несної здатності конструкції дорожнього одягу запропоновано методіку, що включає такі кроки:

- аналіз вихідних даних, таких як категорія дороги, склад та інтенсивність руху, конструкція дорожнього одягу, історія будівництва та ремонтів, наявність матеріалів та механізмів;
- візуальний огляд поверхні та створення картографії дефектів;
- інструментальні вимірювання прогину (часі прогину), відбір кернів, випробування асфальтобетону, ґрунту тощо за необхідності;
- встановлення різновидів поперечних тріщин згідно їх класифікації;
- розроблення варіантів технології відновлення несучої здатності конструкції дорожнього одягу;
- техніко-економічний аналіз варіантів технології та вибір раціонального варіанту для реалізації.

Рекомендації щодо комплексного підвищення конструктивних заходів для відновлення міцності нежорстких дорожніх одягів базуються на матеріалознавчих, конструктивних і технологічних підходах. Використання герметиків підвищеної деформативності при низьких температурах та високій адгезійній здатності до асфальтобетону передбачає дотримання вимог до цих матеріалів.

Застосування армуючих матеріалів з мінімальними граничною відносною деформацією що перевищує граничну відносну деформацію асфальтобетону. При цьому перед використанням армуючих синтетичних матеріалів для армування асфальтобетону необхідно здійснити процедуру оцінки впливу технологічних та транспортних факторів на циклічну довговічність армуючої сітки, а також встановлювати розрахункові характеристики армованого асфальтобетону.

Використання литого полімеру асфальтобетону для відновлення цілісності покриття, яке має значні поперечні тріщини, базується на таких конструктивних та технологічних підходах.

Конструктивні заходи включають ремонт значних тріщин на всій товщині асфальтобетонних шарів з використанням армуючих матеріалів. Також

враховується укріплення шарів основи та ґрунту земляного полотна в області поперечних тріщин.

Технологічні підходи охоплюють використання просочування та ін'єкції для укріплення шарів основи та ґрунту земляного полотна в області поперечних тріщин. Крім того, застосування технології гарячого ресайклінгу для відновлення цілісності покриття з тріщинами відповідно до чинних нормативних документів (Р В.2.3-37641918-899; Р В.3.2-03450778-837).

Перелік робіт з герметизації тріщин мастикою включає такі етапи:

- розстановка тимчасових знаків та встановлення огорожень для забезпечення безпеки;
- механізоване видалення старої мастики та ущільнювальних шнурів;
- розкриття (обробка) тріщин за допомогою фрези;
- прочищення тріщин і швів щіткою;
- забезпечення видалення пилу з розкритих тріщин стислим повітрям;
- очищення та промивання тріщин та швів водою під високим тиском;
- прогрів кромek тріщин або швів для їхнього подальшого заповнення;
- підготовка поверхні праймером;
- розпакування та завантаження мастики у котел машини плавильно-заливальної;
- розігрівання мастики;
- закладання ущільнювального шнура;
- заповнення тріщин та швів мастикою за допомогою машини плавильно-заливальної;
- присипання заповнених тріщин цементом або відсівом (піском);
- зняття тимчасових дорожніх знаків та огорожень;
- проведення ремонту тріщин і швів заливанням мастикою за допомогою спеціалізованої машини Crafcoc Super Shot 125 DCRC при ремонті тріщин в асфальтобетонному покритті.

Виконання ямкового ремонту асфальтобетонного покриття включає такі етапи:

- встановлення тимчасових знаків та огорожень для безпеки на місці робіт;
- розмічання місць, які потребують ремонту;
- розламування асфальтобетонного покриття;
- відкидання обрублених кусків в сторону на відстань до 3 метрів;
- підготовка вирубаних кусків, включаючи знімання асфальтобетонних покриттів доріг за допомогою машин для холодного фрезерування асфальтобетонних покриттів окремими ділянками;
- очищення вибоїн від бруду, пилу та решток асфальтобетону стисненим повітрям за допомогою компресора;
- розливання в'язучих матеріалів;
- укладання асфальтобетонної суміші;

Щодо поверхневого ремонту (згідно з рисунком 3.7), його проводять для уповільнення розвитку відображених тріщин в асфальтобетонних шарах. Якщо краї тріщин достатньо міцні, а площа окремих пошкоджень менше 10% від загальної площі поверхні покриття, то фрезерування шарів покриття на всій довжині ділянки не є обов'язковим.

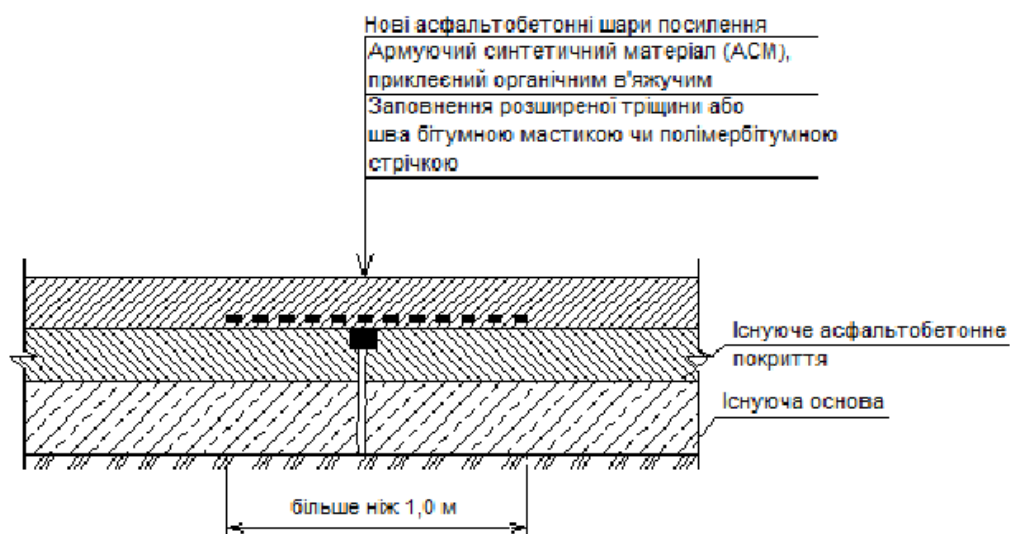


Рисунок 3.7 – Схема виконання поверхневого ремонту для відображених поперечних тріщин, а також аварійного ремонту.

- проведення локального фрезерування асфальтобетонного покриття вздовж тріщини на ширину 1 м і на глибину, що перевищує товщину верхнього шару асфальтобетону на 3 см;
- розкриття тріщини фрезою до ширини не менше 12 мм і глибини 15 мм, а потім заповнення її емульсією або мастикою;
- здійснення влаштування вирівнюючого шару з дрібнозернистого асфальтобетону та його укочування за необхідності;
- розливання підгрунтовки по фрезерованій поверхні або на шар вирівнювання;
- укладання АСМ та, за необхідності, з додатковим закріпленням;
- герметизація вертикальних стінок фрезерованої смуги бітумом, емульсією, мастикою або самоклеючими полімер-бітумними стрічками;
- заповнення місця фрезерування асфальтобетонною сумішшю з урахуванням зміни ущільнюваності при укоченні асфальтобетону;
- ущільнення асфальтобетонної суміші до досягнення необхідного коефіцієнта ущільнення $K_{уц}=0,98$.

Ремонт відображених тріщин з використанням АСМ використовується у випадках недостатньої міцності основи, крайок та конструкції в цілому. Цей вид ремонту може включати заміну основи та використовується для локальних виправлень тріщин втоми (наприклад, тріщини типу "крокодилова шкіра").

Порядок виконання ремонту (рисунок 3.8):

- локальне фрезерування шару (шарів) асфальтобетонного покриття вздовж тріщини смугою шириною 2 м на глибину, що на 3 см менше товщини верхнього шару покриття;
- фрезерування нижніх шарів конструкції дорожнього одягу на ширину не менше 1 м та до глибини шарів основи, які мають недостатню міцність;
- ремонт або заміна матеріалу основи щебенем, укладеним способом заклинювання або щебеневими сумішами оптимального складу;

- відновлення нижньої фрезерованої частини конструкції (шириною від 1 м до 2 м в залежності від типу обладнання) матеріалами, подібними до суміжних зв'язаних шарів для забезпечення однорідності за міцністю.
- підготовка основи для застосування асфальтобетонного мастикового покриття (АСМ);
- розподілення (розлив або розбризкування) підгрунтовки та укладання шарів АСМ;
- герметизація вертикальних стінок фрезерованої смуги за допомогою бітуму, емульсії, мастики або самоклеючих полімер-бітумних стрічок.

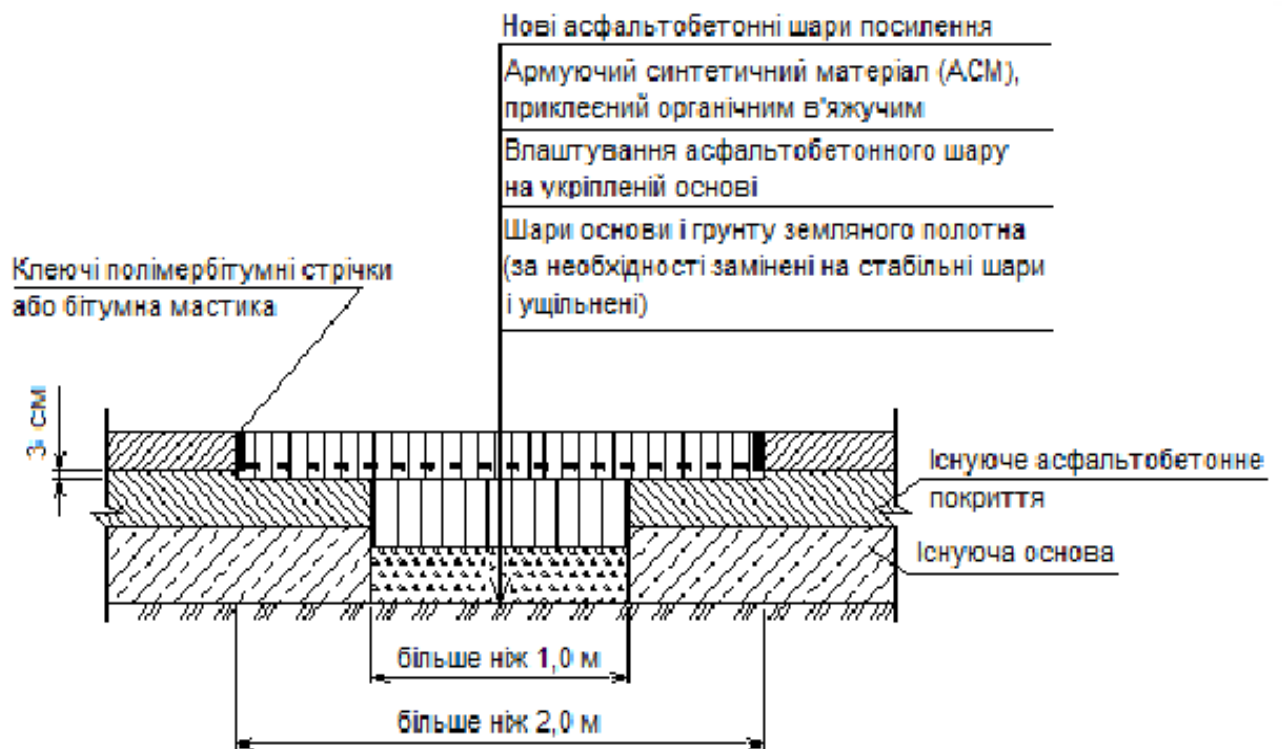


Рисунок 3.8 – Схема відновлення перекресних тріщин у структурі дорожнього покриття

Для підсилення конструкції вновведеного асфальтобетонного шару поверх відремонтованого місця використовується полотно

асфальтобетонного мастикового покриття (АСМ) шириною 3 метри на підґрунтовку (рис. 3.9).

Використання АСМ у разі розширення конструкції дорожнього покриття або реконструкції узбіччя має на меті запобігти утворенню поздовжніх тріщин, відображених тріщин або поздовжніх швів на поверхні проїзної частини в областях з'єднання існуючої проїзної частини з конструкцією дорожнього покриття на ділянці розширення або укріплення узбіччя. Спосіб розширення конструкції дорожнього покриття або укріплення узбіччя з використанням АСМ здійснюється згідно з рисунком 3.10.

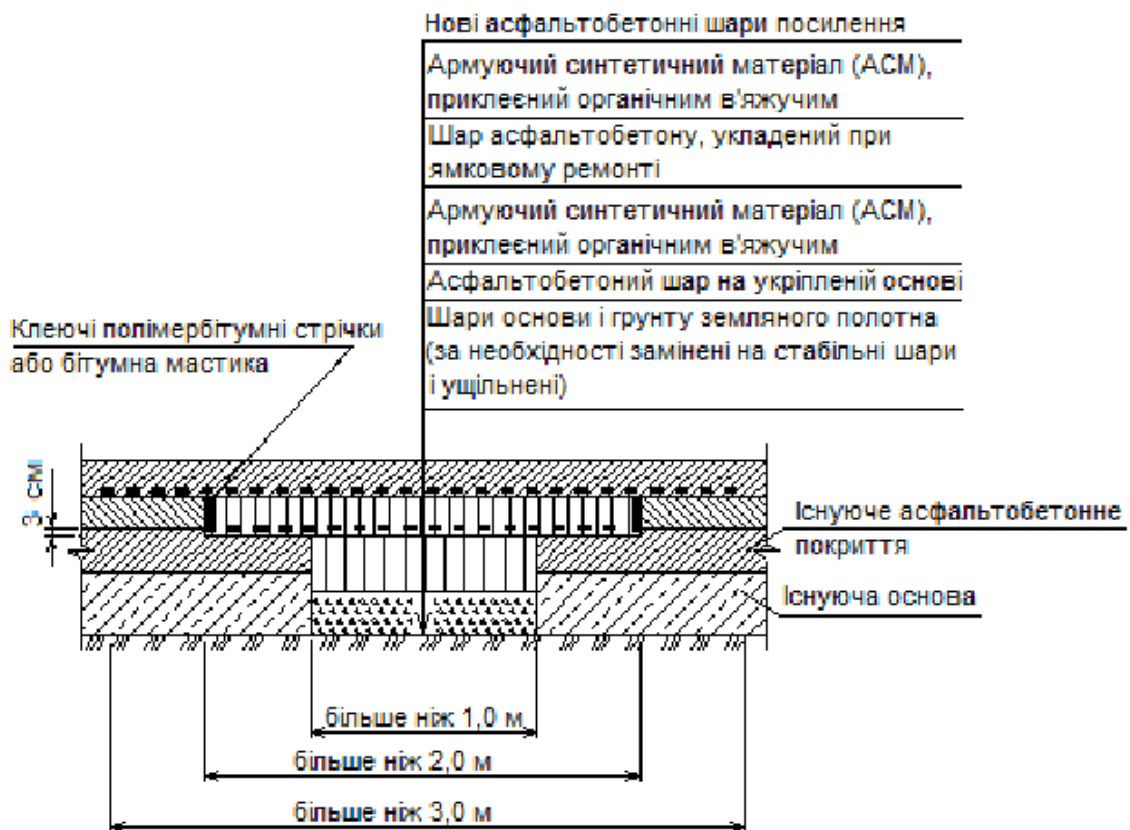


Рисунок 3.9 – Схема відновлення покриття шляху шляхом ремонту наскрізних тріщин та підсилення конструкції новими асфальтобетонними шарами



Рисунок 3.10 – Схема розширення конструкцій дорожнього покриття з використанням АСМ (вид у поперечному напрямку)

Останні роки призначені характерними змінами у транспортних потоках, зокрема зростанням вантажопідйомності та швидкості автотранспорту, а також збільшенням інтенсивності руху. Внаслідок цих змін зросли динамічні навантаження на дороги та інфраструктурні елементи, такі як каналізаційні люки, які розташовані на проїжджій частині. У місцях розташування каналізаційних люків на автодорогах і вулицях стає проблемою виникнення руйнувань асфальтобетонного покриття, таких як тріщини, розломи та вибоїни. Ці пошкодження поширюються і потребують частого ремонту.

Європейський стандарт EN 124-1994 та український стандарт ДСТУ Б В.2.5-26 встановлюють високі стандарти для класів люків, вимоги до яких пред'являють Європейський Союз та Україна. Навіть за використання найкращих люків та встановлення їх з дотриманням найсучасніших технологій не завжди гарантує відсутність передчасних руйнувань покриття в їхньому навколишньому середовищі.

Для вирішення проблеми передчасного руйнування асфальтобетонних покриттів навколо каналізаційних люків, пропонується використовувати інноваційний продукт, розроблений компанією "Saint-Gobain". Цей продукт,

виготовлений дочірньою компанією "Saint-Gobain Adfors CZ s.r.o." у Чехії, входить до складу французького концерну "Saint-Gobain" і відрізняється унікальністю, не маючи аналогів у світі. Концерн "Saint-Gobain" з більш ніж 350-річною історією, протягом майже 30 років успішно виробляє та застосовує армуючі синтетичні матеріали для асфальтобетону майже у всіх країнах світу.

Основними причинами пошкодження асфальтобетонного покриття в зоні каналізаційних люків є:

- зменшення поперечного перерізу асфальтобетонного шару покриття, що викликає підвищення напружень внаслідок транспортного руху та температурних змін;

- різна жорсткість асфальтобетону та матеріалів із цементом, на які встановлюють каналізаційні люки, що заважає їх взаємодії під дією навантажень та коливань температури.

Завдяки використанню передових наукових і технологічних розробок та впровадженню розроблених патентів було створено сучасне виробництво геограток із скловолокна для різноманітних застосувань. У 2018 році це виробництво було відзначено срібною нагородою WCM (World Class Manufacturing – Виробництво Світового Класу), що свідчить про високий рівень інновацій, відмінну якість продукції та високий стандарт обслуговування клієнтів з Європи, Америки і Азії.

ТОВ "Капонір-Групп" представляє геогратки торговельної марки Adfors GlasGrid®, які дозволяють знизити ризик виникнення температурних, утомних і відображених тріщин в асфальтобетонному покритті, запобігти утворенню колій, значно зменшити витрати на будівництво, ремонт та експлуатацію автомобільних доріг і продовжити термін служби дорожнього одягу до 300%.

Виробництво геограток Adfors GlasGrid® сертифіковане згідно стандарту ISO 9001:2015 та відповідає усім вимогам стандарту EN 15381:2008 (ДСТУ EN 15381:2015 - Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Необхідні

характеристики для використання в дорожніх конструкціях і асфальтобетонних покриттях).

Геогратки Adfors GlasGrid® здобули визнання завдяки своїй високій ефективності та здатності значно збільшити тривалість служби асфальтобетонних покриттів, а також зменшити витрати на їх ремонт та експлуатацію. Ці геогратки видаються більш вигідними порівняно із продукцією інших виробників через ряд переваг: низьке максимальне подовження геограток, що забезпечує найбільший армуючий ефект та високу тріщиностійкість армованого асфальтобетону; самоклеюча здатність, яка сприяє прискоренню будівництва та ремонту, а також зменшує вартість робіт; висока міцність та жорсткість каркасу геограток, які запобігають колісутворенню та істотно подовжують термін служби асфальтобетонних покриттів та ін.

Застосування обширного досвіду та залучення висококваліфікованих фахівців для постійного вдосконалення якості продукції дозволило розробити унікальні армуючі геогратки для асфальтобетонних шарів. Вони спеціально призначені для нового будівництва, реконструкції, капітального та середнього ремонту асфальтобетонних покриттів на дорогах, вулицях, мостах, тунелях, аеропортах, місцях паркування і в особливості для ремонту навколо каналізаційних люків.

Для ремонту в зоні каналізаційних люків пропонується спеціально розроблена армуюча геогратка Adfors GlasGrid® PM100.

Армуюча геогратка Adfors GlasGrid® PM100 — це самоклеючий композитний матеріал, що складається з міцної ґратки з жорсткою структурою зі скловолокна типу E, покритої запатентованим еластомерним полімером, та нетканої підкладки з поліефірного текстильного матеріалу, просоченої модифікованим бітумом. Міцність при розтягуванні в поздовжньому та поперечному напрямках складає $115 \times 115 \pm 15$ кН/м.

Використання геограток ADFORS GlasGrid® PM100 сприяє значному подовженню терміну експлуатації асфальтобетонних покриттів на міських

вулицях та дорогах. Максимальне відносне подовження складає $2,5 \pm 0,5\%$, не перевищуючи 3%, що дозволяє геогратці миттєво взяти на себе розтягуючі напруження, що виникають в асфальтобетоні, та забезпечити максимальний армуючий ефект.

Геогратки мають форму кільця з внутрішнім діаметром 685 мм або 785 мм. Вони можуть застосовуватися безпосередньо на відфрезеровану поверхню без додаткової підготовки, або поверхню старого асфальтобетону, або на холодний або гарячий вирівнюючий шар. Самоклеючі властивості геограток дозволяють їм надійно приклеюватися до поверхні нижнього шару, що має підложку з поліефірного текстильного матеріалу, просочену модифікованим бітумом, і, таким чином, усувають необхідність використання бітумної емульсії.

Процес укладання геогратки ADFORS GlasGrid® PM100 включає наступні етапи: укладання геогратки на суху, чисту поверхню, видалення захисної плівки з нижнього боку та укладання геогратки самоклеючим шаром вниз. Перекриття секторів кілець геогратки повинно бути не менше 1 см. Гратку притісняють до поверхні, після чого швидко укладають та ущільнюють гарячий верхній шар асфальтобетону (мінімальна товщина шару в ущільненому стані 4 см). Укладання здійснюється швидко, не затримуючи час ремонту зони каналізаційного люку, і рух транспорту може бути відновлений після застигання верхнього шару асфальтобетону.

ВИСНОВКИ

1. Доведено, що обґрунтування вибору раціональної конструкції дорожнього одягу є важливою складовою для створення стійких, безпечних та тривалих автомобільних доріг. Застосування новітніх технологій, вибір оптимальних матеріалів та урахування різноманітних факторів дозволять досягти максимальної ефективності та витратності в будівництві та експлуатації доріг, що є ключовим чинником для сталого розвитку інфраструктури та транспортного сектору в цілому.

2. Проектування асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу з підвищеною колієстійкістю представляє собою комплексний процес, який включає розрахунок міцності, зсувостійкості та морозостійкості покриття, а також техніко-економічне обґрунтування різних варіантів конструкцій. Методика розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу включає в себе визначення кількості та товщини конструктивних шарів, вибір матеріалів з урахуванням інноваційних рішень та застосування енергозаощадливих та екологічних технологій.

3. При розрахунку асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу слід керуватися такими принципами: асфальтобетонні шари покриття та шари основи можуть бути типовими або розробленими окремо для кожного шару конструкції з урахуванням різного рівня розрахункового навантаження; технологія влаштування асфальтобетонних шарів покриття та шарів основи повинна забезпечувати можливість максимальної механізації дорожньо-будівельних процесів та враховувати реальні умови виконання будівельних робіт.

4. При влаштуванні асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу важливо враховувати конструктивні, матеріалознавчі та технологічні заходи з підвищення колієстійкості, щоб забезпечити тривалу та надійну експлуатацію дорожнього покриття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво: ДБН В.2.3 – 4: 2015. Київ. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2015. 104 с.
2. Автомобільні дороги. Дорожній одяг нежорсткий. Проектування. ГБН В.2.3-37641918-559:2019 Київ. Міністерство інфраструктури України, 2019. 58 с.
3. ВБН В.2.3-218-171-2002 Споруди транспорту. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг.
4. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
5. ВБН В.2.7-218-185-2004 Будівельні матеріали. Приготування, зберігання та застосування бітумів, модифікованих полімерами.
6. ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування.
7. ГБН В.2.3-37641918-544:2014 Автомобільні дороги. Застосування геосинтетичних матеріалів у дорожніх конструкціях. Основні вимоги.
8. ГБН В.2.3-218-551:2011 Споруди транспорту. Автомобільні дороги загального користування. Капітальний ремонт. Вимоги проектування.
9. Говоруха О.В. Вдосконалення технології регенерації асфальтобетонів для ремонту і реконструкції автомобільних доріг: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук: 05.22.11 / Говоруха Олексій Володимирович. Харків, 2012. 191 с.
10. Дубик О.М. Моделювання напружено-деформованого стану нежорстких дорожніх одягів, відновлених за технологією холодного ресайклінгу: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук:

05.22.11 /Дубик Олександр Миколайович, Київ, 2017. 220 с.

11. Дубик О.М. Аналіз методів розрахунку на міцність дорожніх одягів нежорсткого типу при застосуванні технології холодного ресайклінгу / О.М. Дубик // Проблеми розвитку міського середовища. Київ: Національний авіаційний університет, 2014. Вип. 1 (11). С. 465 – 474.

12. Гаркуша М.В. Підвищення стійкості до утворення колії асфальтобетонного покриття нежорсткого дорожнього одягу / Гаркуша М.В. // Дороги і мости: Збірник наукових праць. Київ: ДП «ДерждорНДІ», 2017. Випуск 17. с. 132. С. 27 – 41.

13. EN ISO 10318:2005 Geosynthetics – Terms and definitions (Геосинтетика. Терміни і визначення).

14. МР 218-02070915-232-2003 Методика розрахунку нежорстких дорожніх одягів з армуючими прошарками.

15. ВБН В.2.3-218-008-97 Споруди транспорту. Проектування і будівництво жорстких та з жорсткими прошарками дорожніх одягів.

16. Геосинтетика. Метод визначення товщини за обумовленими тисками. Частина 1. Окремі прошарки: ДСТУ EN ISO 9863-1:2008 (EN ISO 9863-1:2005, IDT). [Чинний від 01.10.2007]. Київ: Держстандарт України, 2008. 8 с. (Національний стандарт).

17. Геосинтетика. Метод випробування для визначення поверхневої щільності геотекстилю та віднесених до геотекстилю виробів: ДСТУ EN ISO 9864:2008 (EN ISO 9864:2005, IDT). [Чинний від 01.10.2007]. Київ: Держстандарт України, 2008. 7 с. (Національний стандарт).

18. Геосинтетика. Метод відбирання проб і готування випробних зразків: ДСТУ EN ISO 9862:2008 (EN ISO 9862:2005, IDT). [Чинний від 01.01.2009]. Київ: Держстандарт України, 2012. 7 с.

19. Геосинтетические материалы от «АРЕАН-Геосинтетикс». Дороги. 2013. № 3. С. 84-85.

20. EN 12225:2000 Geotextiles and geotextile-related products – Method of

determining the microbiological resistance by soil burial test (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Метод визначення мікробіологічної стійкості закопуванням у ґрунт).

21. EN ISO 9862:2005 Geosynthetics – Sampling and preparation of test specimens (Геосинтетики. Відбирання проб і готування зразків).

22. EN ISO 10319:2008 Geotextiles – Wide-width tensile test (Геотекстиль. Випробовування на міцність при розтягненні широкої смуги) .

23. EN ISO 10321:2008 Geotextiles – Tensile test for joints/seams by wide-width method (Випробовування стиків/швів на міцність при розтягненні широкої смуги).

24. EN ISO 10722-1:1998 Geotextiles and geotextile-related products – Procedure for simulating damage during installation – Part 1: Installation in granular materials (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Методика моделювання пошкодження під час укладання. Частина 1: Укладання в зернистих матеріалах).

25. EN ISO 11058:1999 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of water permeability characteristics normal to the plane, without load (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Визначення характеристик водопроникності перпендикулярно до площини без навантажування).

26. EN ISO 12236:2006 Geotextiles and geotextile-related products – Static puncture test (CBR-test) (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Статичне випробовування на проколювання (CBR-випробування)).

27. EN ISO 12956:1999 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the characteristic opening size (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Визначення характерного розміру отворів).

28. EN ISO 12957-1:2005 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the friction characteristics – Part 1: Direct shear test (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Визначення характеристик тертя. Частина 1: Випробовування прямим зсувом).

29. EN ISO 12957-2:2005 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of the friction characteristics – Part 2: Inclined plane test (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Визначення характеристик тертя. Частина 2: Випробовування нахиленим зсувом).

30. EN ISO 12958:1999 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of water flow capacity in their plane (Геотекстилі та віднесені до геотекстилю вироби. Визначення водопропускної здатності в їх площині).

31. EN ISO 13431:1999 Geotextiles and geotextile-related products – Determination of tensile creep rupture behaviour (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю вироби. Визначення поведінки повзучості при розтягненні і розриванні).

32. Bezuijen A., Pilarczyk K. W. Geosynthetics in hydraulic and coastal engineering (The use of geotextiles in coastal and hydraulic engineering: filters, revetments and sand filled structures), EUROGEO 5, Educational session, Technical Report, 2012, 24 p.

33. Dominique Kay, Eric Blond, Jacek Mlynarek. Geosynthetics durability: a polymer chemistry issue. 57th Canadian geotechnical conference, 5th Joint CGS/IAN-CNC conference. Quebec, Canada, 2004. 14 p.

34. Geosynthetics in civil engineering / Edited by R. W. Sarsby. CRC Press, Cambridge, England, 2007, 308 p.

35. Geotextile Fabric Application. URL: <http://www.erosionpollution.com/geotextile-fabric-application.html> (дата звернення 20.11.2023).

36. Giroud J. P. Development of criteria for geotextile and granular filters. 9th International Conference on Geosynthetics, Guarujá, Brazil, May 2010, 20 p.

37. Haghi A K: Experimental Analysis of Geotextiles & Geofibres Composites, WSEAS Book Press Publishers, 2007.

38. Juta, a.s. URL: <http://www.juta.cz/> (дата звернення 20.11.2023).

39. Karaguzel B. Kayaoglu. Characterization of air permeability behavior of needle-punched nonwoven fabrics, *Tekstil*, 2012. Vol. 61 (1-6), pp. 33-40.

40. Kopitar D., Skenderi Z., Rukavina T. Impact of calendering process on nonwoven geotextiles hydraulic properties. *Textile Research Journal*, 2014, 84(1), pp. 66-77. DOI: 10.1177/0040517513485627.

41. Mitra Aniruddha, Cybulska Maria, Goswami Bhuvnesh C. Deformation Behavior and Structural Mechanics of Needle Punched Nonwovens. School of Textiles, Fiber and Polymer Science, Clemson University, USA. URL: <http://www.tappi.org>. (дата звернення 20.11.2023).

42. Natural-Fiber Erosion-Control Fabrics URL: <https://www2.buildinggreen.com/article/natural-fiber-erosion-control-fabrics>. (дата звернення 20.11.2023).

43. Pelyk L.V., Vasylechko V.O., Kyrychenko O.V. Polyester geotextiles for landscape design. Sixteenth Polish-Ukrainian Symposium on Theoretical and Experimental Studies of Interfacial Phenomena and their Technological Applications (Lublin, Poland, August 28-31, 2018). Lublin, Bema Graphics S. C., 2018. P. 117.

44. Rawal, A., Shah, T. and Anand, S.C (2010), Geotextiles: Production, Properties and Applications, *Textile Progress*, Vol. 42, Issue 3, 181-226.

45. Saathoff F. Effects of stretched geotextiles in contact with soil. 14th International conference of soil mechanics and foundation engineering, Hamburg, pp. 1781-1784.

46. Selection of Fiber for Geotextiles. URL: <http://textilelearner.blogspot.com/2012/12/selection-of-fiber-for-geotextiles.html>. (дата звернення 22.11.2023).

47. Shobha K. Bhatia. Geotextile engineering. Application in civil and environmental engineering. ASCE Expo, 2012, 26 p.

48. Shukla S. K. An introduction to Geosynthetic engineering. CRC Press, Taylor & Francis Group, London, UK, 2016, 451 p.

49. Talakh S. Determination of stress-strain state hard cement constructions airport paving the presence of weak soil layers / S. Talakh, O. Dubik //

Proceedings the Seventh World Congress «Aviation in the XXI-st Century. - Kyiv: National Aviation University, 2016. P. 10.1.31 – 10.1.35.

50. Talakh S. Computational investigation of composed multilayered half-space strength under pavement / Svetlana Talakh, Oleksandr Dubik // Proceedings of the National Aviation University. Kyiv: National Aviation University, 2015. №3 (64). P. 97 – 104.

51. TERRAM Fiberweb Geosynthetics Ltd. URL: <http://www.terram.com/>. (дата звернення 22.11.2023).

52. Todd Rivas. Erosion Control Treatment Selection Guide, USDA, 2006, 64 p.

53. TYPAR Weather Protection System. URL: <http://www.typar.com>. (дата звернення 24.11.2023).

54. Р В.2.3-218-21476215-795:2011. Рекомендації щодо підвищення колієстійкості асфальтобетонного покриття.

ВІДГУК

керівника кваліфікаційної роботи
другого (магістерського) рівня вищої освіти,
виконаної на тему «Конструктивні заходи підвищення довговічності
дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом
великовантажних транспортних засобів»
здобувачем групи 8.1922-мбг
Веремчук Семеном Васильовичем

Актуальність дослідження. В умовах постійного зростання обсягів вантажоперевезень та інтенсивності руху автотранспорту, проблеми довговічності дорожнього покриття стають критично важливими для забезпечення безперебійного функціонування транспортної інфраструктури. Зокрема, інтенсивний рух великовантажних автомобілів сприяє виникненню швидкого зносу та деформацій дорожнього покриття, що вимагає постійних інженерних рішень для подовження терміну служби доріг. Автомобільні дороги як найважливіша складова транспортної інфраструктури є необхідною передумовою економічного і соціального розвитку держави. Від них залежить не тільки ефективність роботи промисловості, сільськогосподарського виробництва, а й забезпечення належного життєвого рівня людей та обороноздатності країни.

Відповідність виконаної кваліфікаційної роботи завданню. Кваліфікаційна робота на тему: «Конструктивні заходи підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів» повністю відповідає завданню.

Ефективність використаних методик. Запропоновані в кваліфікаційній роботі науково-практичні рішення мають глибоке обґрунтування, повнота розкриття теми та наявність багатоваріантності доводять ефективність використаних методик досліджень.

Рівень застосування здобутих у процесі навчання теоретичних знань та підготовки до виконання наукових досліджень. Коректно використані наукові методи для аналізу проблем та обґрунтування рішень з теми предмета професійної діяльності. Рівень застосування здобутих у процесі навчання теоретичних знань та підготовки здобувача другого рівня вищої освіти відповідає прийнятим вимогам.

Вміння логічно, послідовно та аргументовано викладати матеріал і робити висновки. Кваліфікаційна робота викладена послідовно, три розділи логічно взаємопов'язані між собою та підтверджені аргументованими матеріалами. Кожен розділ має чітко визначені завдання та допомагає досягти загальної

мети дослідження. Висновки є послідовними та аргументованими, відображають основні дослідження та результати кваліфікаційної роботи.

Вміння самостійно вирішувати практичні та наукові задачі. Наукова робота виконана автором самостійно на достатньо професійному рівні, вирішує практичні та наукові задачі є творчою й оригінальною.

Не виявлення (виявлення) в роботі елементів плагіату та компіляції. Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Недоліки в роботі (у разі необхідності). Корисно доповнити роботу техніко-економічними обґрунтуванням проектних рішень конструкцій автомобільних доріг. Проте, слід зауважити, що це доповнення не впливає на загальну якість виконання роботи.

Загальні оцінки виконаної кваліфікаційної роботи, відповідності якості підготовки здобувача вищої освіти вимогам ОПП і можливості присвоєння йому відповідної кваліфікації; інші питання, які характеризують професійні якості здобувача вищої освіти.

Кваліфікаційна робота є практичним та вражаючим дослідженням, яке відзначається своєю важливістю та високим рівнем виконання. Цінність полягає в підходах щодо розробки конструктивних заходів підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів.

Кваліфікаційна робота здобувача другого рівня вищої освіти Веремчука Семена Васильовича за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням відповідає спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 – Архітектура та будівництво) та вимогам ОПП «Міське будівництво та господарство».


Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору, Воротнікову Вадиму Васильовичу, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Кількість балів за шкалою ECTS 95 (відмінно) A
(1-2 – "задовільно", 3-4 – "добре", 5 – "відмінно")

Керівник кваліфікаційної роботи

Кандидат техн. наук, доцент
(науковий ступінь, посада)


(підпис)

Фостаценко О.М.
(ініціали, прізвище)

РЕЦЕНЗІЯ

на кваліфікаційну роботу
 другого (магістерського) рівня вищої освіти,
 виконаної на тему «Конструктивні заходи підвищення довговічності
 дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом
 великовантажних транспортних засобів»
 здобувачем групи 8.1922-мбг
Веремчуком Семеном Васильовичем

Актуальність дослідження. Автомобільні дороги як найважливіша складова транспортної інфраструктури є необхідною передумовою економічного і соціального розвитку держави. Від них залежить не тільки ефективність роботи промисловості, сільськогосподарського виробництва, а й забезпечення належного життєвого рівня людей та обороноздатності країни. Умови постійного збільшення обсягів вантажних перевезень та інтенсивного автомобільного руху роблять питання довговічності дорожнього покриття критично важливим для забезпечення неперервної функціональності транспортної інфраструктури. Зокрема, інтенсивна активність великовантажних автотранспортних засобів призводить до швидкого зносу та деформацій дорожнього покриття, що вимагає постійного застосування інженерних рішень для продовження терміну служби доріг.

Обґрунтованості висновків та пропозицій. Кваліфікаційна робота виконана на високому науковому рівні, вивчення даної проблеми є широко виваженою, застосовані загальнонаукові методи досліджень, наявні елементи наукової новизни. Висновки є обґрунтованими та послідовними, відображають основні результати кваліфікаційної роботи.

Використання наукових методів дослідження. Під час дослідження теми були використані наукові статті в періодичних виданнях, монографії, дисертаційні рукописи, збірки тез доповідей науково-практичних конференцій, інтернет-ресурси наукових електронних бібліотек. Вміння студента чітко, грамотно і аргументовано викладати матеріал, правильно оформлювати його. Кваліфікаційна робота виконана послідовно, тема розкрита повністю, розділи пов'язані між собою, застосовані комп'ютерні технології, матеріал чіткий та має наукову стилістику, оформлення технічно грамотне.

Участі студента у проведених дослідженнях, теоретичній та аналітичній обробці отриманих результатів. Магістрат Веремчук Семен Васильович активно приймав участь у проведених дослідженнях, теоретичній та аналітичній обробці отриманих результатів. Запропоновані в кваліфікаційній

роботі науково-практичні рішення мають глибоке обґрунтування, повнота розкриття теми доводять ефективність використаних методик досліджень.

Якість виконання. Кваліфікаційна робота викладена послідовно, три розділи логічно взаємопов'язані між собою та підтверджені аргументованими матеріалами. Кожен розділ має чітко визначені завдання та допомагає досягти загальної мети дослідження. Висновки є послідовними та аргументованими, відображають основні дослідження та результати кваліфікаційної роботи.

Не виявлені (виявлені) в роботі елементів плагіату та копіляції. Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Можливості впровадження результатів роботи. Результати роботи мають практичну значимість, результати відповідають високому рівню реальності, пропозиції мають перспективний характер. За темою роботи опубліковані тези доповіді у науково-технічній конференції студентів, магістрантів, аспірантів та викладачів.

Недоліки роботи. Бажано було б розширити інформацію у третьому розділі щодо питання пов'язаного з техніко-економічним обґрунтуванням проектних рішень конструкцій автомобільних доріг з відновлення нежорстких дорожніх одягів. Приведене зауваження не впливає на якість виконання роботи.

Оцінки кваліфікаційної роботи і можливості присвоєння здобувачу вищої освіти відповідної кваліфікації.

Кваліфікаційна робота здобувача другого рівня вищої освіти Веремчука Семена Васильовича на тему: «Конструктивні заходи підвищення довговічності дорожнього одягу автомобільних доріг з інтенсивним рухом великовантажних транспортних засобів» за актуальністю, обсягом виконаних теоретичних та експериментальних досліджень, змістом, рівнем новизни та практичним значенням відповідає спеціальності 192 - Будівництво та цивільна інженерія (галузь знань 19 – Архітектура та будівництво) та вимогам ОПП «Міське будівництво та господарство».

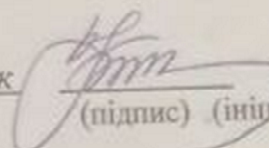
Кваліфікаційна робота виконана на високому рівні і заслуговує оцінки відмінно. Кваліфікаційна робота виконана у повному обсязі, відповідає встановленим вимогам і заслуговує позитивної оцінки, а її автору Веремчук Семену Васильовичу, може бути присвоєна кваліфікація магістра з будівництва та цивільної інженерії.

Елементи плагіату у кваліфікаційній роботі не виявлені.

Кількість балів за шкалою ECTS

відмінно / 95 / A

Рецензент кваліфікаційної роботи
професор кафедри промислового
та цивільного будівництва, докт. техн. наук
(науковий ступінь, посада)

 В. А. Банак
(підпис) (ініціали, прізвище)