

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ЦИВІЛЬНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ  
КАФЕДРА МІСЬКОГО БУДІВНИЦТВА І ГОСПОДАРСТВА

(повна назва кафедри)

**Кваліфікаційна робота**

другий (магістерський)

(рівень вищої освіти)

на тему «Підвищення надійності конструкцій автомобільних доріг  
Запорізького регіону, армованих геосинтетичними матеріалами»

Виконав: студент 2 курсу, групи БУД 18-1мд

спеціальності 192 «Будівництво та  
цивільна інженерія»  
(код і назва спеціальності)

освітньої програми «Міське будівництво та  
господарство»  
(код і назва освітньої програми)

Джурило А.В.  
(ініціали та прізвище)

Керівник доц., к.т.н. Фостащенко О.М.

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

Рецензент ст.викл. Світлична В.Б.

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

Запоріжжя

2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Будівництва та цивільної інженерії  
Кафедра Міського будівництва і господарства  
Рівень вищої освіти другий рівень (магістерський)  
Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
(код та назва)  
Освітня програма Міське будівництво та господарство  
(код та назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Балан А.В.  
« 03 » 09 20 19 року

**З А В Д А Н Н Я**  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ/ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Джурило Артем Віталійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) «Підвищення надійності конструкцій  
автомобільних доріг Запорізького регіону, армованих геосинтетичними  
матеріалами»

керівник роботи Фостащенко Олена Миколаївна, к.т.н., доцент  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «10» вересня 2019 року № 1542-с

2 Строк подання студентом роботи 08.01.2020

3 Вихідні дані до роботи Актуальність обраного напрямку досліджень,  
значимість у сучасному житті, можливості розв'язання проблематики,  
перспективи впровадження майбутніх досягнень, мета роботи, завдання до  
виконання обраних досліджень, об'єкт досліджень, предмет досліджень,  
передбачувані методи виконання досліджень

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
розробити) проаналізувати та узагальнити методичні підходи спрямовані на  
підвищення надійності автомобільних доріг; проаналізувати нормативну базу  
та результати досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності  
автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами; навести  
технічні характеристики геосинтетичних матеріалів; навести приклади  
впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг,  
армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових)  
Від восьми графічних аркушів із результатами аналітичних обліків  
наукового напрямку досліджень, результатами експериментальних досліджень,  
доказами оптимальності запропонованих методик, результатами  
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., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
2	Фостащенко О.М., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
3	Фостащенко О.М., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
4	Фостащенко О.М., доцент	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

1 Дата видачі завдання 03.09.2019

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пр
1.	СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ	20 жовтня	<i>[Signature]</i>
2.	КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДОРІЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	15 листопада	<i>[Signature]</i>
3.	КОНСТРУЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРІЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ	10 грудня	<i>[Signature]</i>
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА	25 грудня	<i>[Signature]</i>
	Попередній захист	8 січня	<i>[Signature]</i>

Студент *[Signature]* (підпис) Джурило А.В. (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проєкту) *[Signature]* (підпис) Фостащенко (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер *[Signature]* (підпис) Фостащенко О.М. (ініціали та прізвище)

## АНОТАЦІЯ

Джурило А.В. Підвищення надійності конструкцій автомобільних доріг Запорізького регіону, армованих геосинтетичними матеріалами.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 - Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник О.М. Фостащенко. Факультет будівництва та цивільної інженерії, кафедра міського будівництва та господарства, 2020.

Дослідженні та узагальнені методичні підходи, що спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону. Розроблені рекомендації щодо розрахунку основних показників, які визначають надійність конструкцій автомобільних доріг.

Ключові слова: ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ КОНСТРУКЦІЙ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ, ГЕОСИНТЕТИЧНІ МАТЕРІАЛИ, ДОРІЖНІЙ ОДЯГ, УЛАШТУВАННЯ ВОДОВІДВІДВОДУ, АРМУЮЧИЙ ПРОШАРОК

## ABSTRACT

Dzhurilo A.V. Improving the reliability of the construction of roads of the Zaporozhye region, reinforced geosynthetics.

Qualification final work for obtaining a higher education degree of a master's degree in specialty 192 - Construction and civil engineering, supervisor E.N. Fostashchenko. Faculty of Civil Engineering and Civil Engineering, Department of Urban Construction and Economics, 2020.

Research and generalized methodological approaches aimed at improving the reliability of roads reinforced with geosynthetic materials in the conditions of the Zaporozhye region.

Recommendations have been developed for calculating the main indicators that determine the reliability of road structures.

Key words: IMPROVEMENT OF RELIABILITY OF CONSTRUCTIONS OF CARS, GEOSYNTHETIC MATERIALS, ROAD CLOTHING, WATER DISCHARGE DEVICE, REINFORCING INTERLAY

#### АННОТАЦІЯ

Джурило А.В. Повышение надежности конструкций автомобильных дорог Запорожского региона, армированных геосинтетическими материалами.

Квалификационная выпускная работа для получения степени высшего образования магистра по специальности 192 - Строительство и гражданская инженерия, научный руководитель Е.Н. Фостащенко. Факультет строительства и гражданской инженерии, кафедра городского строительства и хозяйства, 2020.

Исследования и обобщены методические подходы, направленные на повышение надежности автомобильных дорог, армированных геосинтетическими материалами в условиях Запорожского региона.

Разработаны рекомендации по расчету основных показателей, определяющих надежность конструкций автомобильных дорог.

Ключевые слова: ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ КОНСТРУКЦИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ, ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ, ДОРОЖНАЯ ОДЕЖДА, УСТРОЙСТВО ВОДООТВОДА, АРМИРУЮЩАЯ ПРОСЛОЙКА

#### ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ .....	10
1.1 Обґрунтування вибору раціональної конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг .....	10
1.2 Вимоги щодо застосування геосинтетичних матеріалів в дорожніх конструкціях .....	24
1.3 Армування земляного полотна .....	27
РОЗДІЛ 2 КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	34
2.1 Виконання армування основи насипу автомобільних доріг .....	34
2.2 Армування і стабілізація укосів .....	39
2.3 Геосинтетичні фільтруючі прошарки .....	47
2.4 Конструювання дренажів із застосуванням геосинтетичних матеріалів .....	49
2.5 Розділення зернистих шарів геосинтетичними матеріалами .....	57
РОЗДІЛ 3 КОНСТРУЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ .....	62
3.1 Армування конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу геосинтетичними матеріалами .....	62
3.2 Влаштування армованих геосинтетичними матеріалами шарів конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу .....	67
3.3 Обґрунтування вибору базальтового полотна для улаштування водовідвідного і армуючого прошарку у запроєктованій конструкції дорожнього одягу .....	72
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА.....	83
4.1 Вимоги безпеки і охорони праці .....	83
4.2 Вимоги до охорони навколишнього середовища .....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	90

## ВСТУП

*Актуальність проблеми.* Сучасні умови стабільного зростання обсягу вантажоперевезень, кількості й тоннажу транспорту, що перетинає дорожні магістралі і невеликі шосе, закономірно потребують удосконалення технологій дорожнього будівництва, укладання такого надійного полотна, яке буде здатне прослужити протягом дуже довгих років без деформацій (колійність), пошкоджень (тріщини, западини) і руйнування. На сьогоднішній день самим прогресивним рішенням для посилення та зміцнення дорожньої основи є сучасні геосинтетичні матеріали - ткани і неткані матеріали (полотна), широко застосовуються для армування (стримування, зміцнення) ґрунту з метою його посилення під дорожнім полотном.

У сучасному дорожньому будівництві може використовуватися різноманітна геосинтетика в залежності від початкових параметрів ґрунту і його характеристики, якості використовуваного насипного матеріалу і планованої інтенсивності експлуатації майбутнього дорожнього покриття, а також від багатьох інших даних. У зв'язку з різноманітністю завдань використання, сьогодні і геотекстиль виробляється у великій різноманітності марок, типів, розмірів, технічних параметрів. Зокрема існують такі полімерні армуючі матеріали як: геотекстиль дренаж (сучасна геомембрана з абсолютними показниками водонепроникності); плоскі геосітки (міцний і довговічний армуючий матеріал); геотекстиль георешітка (міцна георешітка з прямокутними або квадратними осередками різного розміру); геомати (запобігає ерозії ґрунту) ; склосітка та інші.

У даній роботі наведені сучасні методи підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

Виходячи з вищевикладеного, підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону 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 та господарства Запорізького національного університету. В основу роботи покладено теоретичні дослідження та практичні розробки підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами.

*Метою роботи є* дослідження підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами. Різні георешітки, склосітки та інші геосинтетичні матеріали в дорожньому будівництві використовуються для вирішення цілого спектру проблем пов'язаних з активною експлуатацією майбутнього дорожнього полотна.

Включений в проектування будівництва доріг геотекстиль дозволяє значно покращити якісні та експлуатаційні характеристики дорожньої основи, збільшити термін його служби без необхідності проведення ремонтних робіт.

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 методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами;
- навести технічні характеристики геосинтетичних матеріалів;
- навести приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

*Об'єкт дослідження* – сучасні геосинтетичні матеріали.

*Предмет дослідження* є впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

*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;
- проаналізована нормативна база та результати досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами;
- наведені технічні характеристики геосинтетичних матеріалів.
- наведені приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

*Практичне значення одержаних результатів* полягає у досліджені та узагальнені методичних підходів, що спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; наведені результати досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами; технічні характеристики геосинтетичних матеріалів; наведені приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

Результати запропонованої роботи можуть бути використані всіма учасниками будівельного проекту на стадії його реалізації.

*Особистий внесок автора.* Наведені методичні підходи спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону. Розроблені рекомендації щодо розрахунку основних показників, які визначають надійність конструкцій автомобільних доріг.

*Відомості про апробацію результатів роботи.* Апробація роботи – за результатами досліджень опубліковано тези доповіді на XII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2019».

*Відомості про публікації здобувача.* Вплив функціонування мережі автомобільних доріг України на природне середовище - тези доповіді на XII університетської науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука-2019».

*Структура та обсяг магістерської роботи.* Робота складається з вступу, чотирьох основних розділів, висновків, списку використаних джерел. Робота викладена на 94 сторінках, 14 таблиць, 27 рисунків. Для написання даної роботи використано 51 літературне джерело.

РОЗДІЛ I  
СУЧАСНИЙ СТАН ПИТАННЯ ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ  
АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

1.1 Обґрунтування вибору раціональної конструкції дорожнього одягу автомобільних доріг

В даний час найбільш поширеним матеріалом для улаштування удосконалених покриттів доріг вищих категорій є асфальтовий бетон [48-66].

В США та країнах Європи вони складають більше 90 % від загальної протяжності доріг, по яких перевозиться більше 40 % вантажів.

В Україні теж дороги I-II технічної категорії влаштовані на 97 % з асфальтобетонним покриттям, завдяки цілому ряду переваг присутніх цьому матеріалу. Це висока ремонтоздатність, безшумність, безпильність, технологічність.

Зазвичай, у верхніх шарах дорожньої конструкції використовується гарячий щільний дрібнозернистий асфальтобетон типів «А» та «Б», властивості якого відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119-2011 [55].

Гарячий асфальтобетон (асфальтобетона суміш) містить в'язуче – бітум марок БНД 90/130, БНД 60/90, БНД 40/60 та укладається за температури 140 - 160 °С. Формування структури закінчується після ущільнення котками.

За крупністю скелетних фракцій асфальтобетони поділяються на крупнозернисті, що містять фракції щебеню від 20 до 40 мм, дрібнозернисті 10 - 20 мм і піщані 0-5 мм.

За пористістю (щільністю) – залишковою пористістю асфальтобетони поділяють на щільні (об'єм пор – 3-5 %), пористі (об'єм пор – 5-10 %) і високопористі (об'єм пор – 3-5 %).

Асфальтобетон характеризується значною міцністю, водонепроникністю, водостійкістю, здатністю до пружних і пластичних деформацій, що

забезпечує дорожньому покриттю еластичність, шорсткість і високе зчеплення з автомобільними шинами.

Дослідженнями Г.К.Сюньї, Л.Б. Гезенцвея, М.В. Горелишева, І.В. Корольова, В.О. Золотарьова, А.О. Белятинського, К.В. Краюшкіної та інших [54, 56-59] доведено, що при об'єднанні бітуму з мінеральними складовими щебенем і піском відбувається взаємодія між цими компонентами з протіканням складних фізико-хімічних міжмолекулярних явищ, які виявляються не тільки при приготуванні суміші, а й при експлуатації покриття.

Ці явища дозволяють щільному асфальтобетону протистояти дії атмосферних опадів, дощу, снігу при таненні, випаровуванню, зберігати шар води на покритті, не дозволяючи йому просочитись у нижчерозташовані шари дорожнього одягу.

В результаті водостійкості щільного асфальтобетону, на ділянках доріг з невідповідними геометричними параметрами, складними умовами рельєфу місцевості і значною кількістю опадів, автомобільний транспорт піддається акваплануванню. Це призводить до незабезпечення безпеки і комфортності дорожнього руху, появи ДТП зі складними наслідками і взагалі переривання руху.

Пористий (дренуючий) асфальтобетон (залишкова пористість >10 %) – це штучний будівельний конгломерат, який являє собою суміш мінеральних матеріалів (щебеню, піску і мінерального порошку) з бітумом у зменшеній кількості і виготовлений у визначених технологічних режимах, може бути укладений і ущільнений у верхніх шарах дорожнього одягу, на ділянках автомобільних доріг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування. Пористий асфальтобетон призначений для швидкого відведення води з поверхні дороги.

В США пористий (дренуючий) асфальтобетон отримав назву «Open graded friction course (OGFC)» і використовується вже більше 60 років. Ці суміші були розроблені для підвищення рівня безпеки на дорогах в

районах з підвищеною кількістю атмосферних опадів. Підбір суміші використовувався таким чином, щоб в ущільненому матеріалі була система сполучених пор, по яких вода з поверхні дороги видаляється значно швидше ніж з покриття із щільних сумішей. Це досягається за рахунок особливостей гранулометричного складу суміші, значну долю в якій складає одномірний щебінь.

Значно ширше пористий (дренуючий) асфальтобетон почав використовуватись в США з 1980 років, коли почала діяти програма федерального дорожнього агентства (FHWA) по боротьбі із заносами на дорогах. FHWA разом з Національним центром досліджень асфальту (NCAT) розробили гранулометричні склади дреноуючих асфальтобетонних сумішей та визначили оптимальну кількість в'язучого.

ASTM D6932/D6932 M регламентує улаштування верхніх шарів зносу із пористих (дренуючих) асфальтобетонів для підвищення безпеки руху і попередження явища аквапланування автомобілів.

Для підвищення корозійної стійкості дреноуючого асфальтобетону рекомендується введення адгезійних добавок до бітуму. Для підвищення шорсткості поверхні покриття і ТЕП можливо додавання волоконних добавок різних видів (дисперсне армування асфальтобетонної суміші).

Крім США активне використання пористого (дреноуючого) асфальтобетону проводилось в інших країнах – Японії, Великобританії, Нідерландах, Франції, Німеччині. На відміну від дреноуючих асфальтобетонів, що використовують в США, в Європі ці матеріали мають пористість 18-22 % (в США 15-16 %) і вимагають обов'язкового застосування полімерно-бітумного в'язучого.

В результаті накопиченого досвіду був розроблений нормативний документ EN 13108-7 Offenporiger Asphalt für Straßen und Verkehrsflächen, де наведені загальноєвропейські вимоги до складу і властивостей пористого (дреноуючого) асфальтобетону.

Згідно цього документу, пористість визначена в межах 24-28 %, мінімальний вміст в'язучого бітуму 5,5-6,5 % в залежності від максимального розміру зерен щебеню не більше 20 мм. Рекомендується застосування модифікованого бітуму і целюлозного волокна як армуючої добавки.

В країнах ближнього зарубіжжя – Росії та Білорусі теж проводились роботи по використанню пористого (дреноуючого) асфальтобетону у верхніх шарах покриття та основі дорожнього одягу [67-70].

Були розроблені вимоги до зернового складу і кількості бітуму, які наведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Вимоги до зернового 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

Проведені дослідження свідчать, що використання пористих сумішей запропонованих зернових складів дозволяє отримати дреноуючий

асфальтобетон каркасної структури із властивостями, які відповідають щільному асфальтобетону.

Вимоги до фізико-механічних властивостей пористого (дренуючого) асфальтобетону наведені в таблиці 1.2.

Одним із головних показників тут є визначення коефіцієнту заповнення пор бітумом (Кзп), який є показником структури асфальтового бетону.

Таблиця 1.2 - 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 <sup>2</sup> )	12·10 <sup>5</sup> (12)	15·10 <sup>5</sup> (15)

При отриманні визначених значень Кзч, забезпечується постійний обсяг вільного бітуму в суміші при будь-якій щільності мінерального кістяка. Це забезпечує каркасність структури, нормативну міцність і довговічність асфальтобетону при експлуатації.

Дослідженнями С.Є. Кравченко [68] визначено, що для об'єктивної оцінки якості пористого крупнозернистого асфальтобетону необхідно розробити вимоги до показника міцності при 50 °С, який характеризує зсувостійкість покриття під дією високих літніх температур.

Білоруськими вченими [68-70] визначено, що для верхнього шару покриття краще всього використовувати пористий асфальтобетон, що вміщує:

- щебеневі матеріали фракцій: 20-40 мм – 20 % за масою; 5-20 мм – 25 % за масою;
- гранітний відсів дроблення: 0-5 мм – 35 % за масою;

- бітум БНД 70/100 4,0-4,5 % (понад 100 % суміші).

Така суміш забезпечує щільність в межах 2,49-2,51 г/см<sup>3</sup> і водонасичення (W1) 5,0-5,8 %, тобто наближається до показника водонасичення для щільних асфальтобетонів (W) 3,0-3,5 згідно ДСТУ Б В.2.7-119. Зсувостійкість пористого асфальтобетону вищенаведеного складу визначається міцністю при стиску при 50 °С, яка знаходиться в межах 0,92-1,23 МПа, тобто коливання вмісту мінеральних складових можливе в межах 5-10 % за масою.

Улаштування асфальтобетонного покриття підібраного складу забезпечує високі транспортно-експлуатаційні показники асфальтобетонному покриттю і забезпечує відведення води в умовах підвищеного зволоження.

В Україні вчені Г.К. Сюньї, М.І. Волков, І.М. Борщ, І.В. Корольов, В.О.Золотарьов, В.В. Мозговий [71-76] теж проводили дослідження (теоретичні і практичні) щодо визначення можливості улаштування верхнього шару покриття із пористого асфальтобетону.

Було визначено, що мінеральні зерна в асфальтобетонній суміші вкриті шаром бітуму, при ущільненні утворюють конгломератну трьохфазну систему

– мінеральний остов, бітум, повітря. Повітря знаходиться в міжзерновому просторі, не заповненому бітумом та в пустотах мінеральних зерен. Ці простори не заповнені бітумом, а заповнені повітрям і є залишковою або сумарною пористістю.

Взагалі, асфальтобетон являє собою систему структурних елементів різних величин, що обумовлює наявність пор різного розміру – диференціальна пористість [54, 77 - 80]. Умовно наявні пори в асфальтовому бетоні можна поділити на три групи в залежності від розміру:

- мікропори радіусом до 50 А;
- перехідні пори радіусом 50 А – 500 А;
- субмакропори радіусом 500 А – 3 μ;
- макропори радіусом 3 μ- 50 μ,

де А = 10-8 см, а μ = 10-4 см.



Але на основні характеристики асфальтобетону – міцність і водостійкість не впливає розмір пор. Їх значення залежать тільки від величини сумарної пористості.

Це пояснюється тим, що при збільшенні кількості бітуму в суміші, наприклад, від 10 до 11,5%, кількість мікропор зменшується, а вміст перехідних пор зростає. Міцність асфальтобетону теж зростає. Однак збільшення міцності ніяк не означає, що всі пори мінерального остова заповнені бітумом: з 28,5 % пористості мінерального остова 1/3 залишається незаповненими і складаються із перехідних пор, які вміщуються в мінеральних зернах і субмакропор, що знаходяться у між зерновому просторі.

Це відбувається внаслідок різниці температур приготування суміші ( $t=160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), укладання ( $t = 120\text{-}130\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), при якій бітум зменшується в обсязі і відбувається втягування повітря при перемішуванні суміші.

В результаті проведених досліджень була визначена оптимальна кількість мінеральних складових і бітуму в пористому асфальтобетоні.

В Україні згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-119 дренуючий асфальтобетон поділяється на марки:

- пористий, із залишковою пористістю від 5 до 10 % (П);
- високопористий, із залишковою пористістю від 10 до 15 % (ВП).

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 приготування асфальтобетонної суміші пористої і високопористої використовується бітум в'язкий марки БНД 90/130.

Вимоги до зернового (гранулометричного) складу пористого асфальтобетону і фізико-механічних властивостей відповідно до ДСТУ Б В.2.7-119:2011 наведені в таблицях 1.3 - 1.4.

Незважаючи на проведені дослідження і розроблену нормативну

документацію, пористий (дренуючий) асфальтобетон не знайшов широкого застосування на дорогах України.

Таблиця 1.3 - Зерновий склад пористої асфальтобетонної суміші

Група а/б	Різнавид гранулометрії	Тип гранулометрії	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	
Пористий	Непереривчастий	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	
	Переривчастий	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 тип асфальтобетону має такі переваги: високі зчпні характеристики за рахунок збільшеної кількості щебневих фракцій, водопроникність, що зменшує кількість поверхневої води та кількість бризок води при дощовій погоді. Це призводить до зниження рівня небезпеки аквапланування та підвищення безпеки руху.

Крім цього, шорстка текстура поверхні пористого асфальтобетону дозволяє знизити рівень шуму, який виникає при взаємодії шини колеса з покриттям.

Однак, пористий асфальтобетон має ряд недоліків. Висока пористість є причиною зниженої міцності, прискореного старіння бітумного в'язучого в асфальтобетоні, оскільки кисень має доступ до більшої площі поверхні суміші, більш швидкого заморожування нижчерозташованих шарів. Цей тип асфальтобетону не має тих теплоізоляційних властивостей, які має покриття із щільних сумішей. При зимовому утриманні на

покриттях із пористого асфальтобетону не бажано використовувати за піщано-соляну суміш та технічну сіль у чистому вигляді для ліквідації ожеледиці, тому що це призведе до засмічення пор і проникнення хлоридів у нижчерозташовані шари дорожньої конструкції.

Таблиця 1.4 - 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 щеленового і піщаного, не більше	23	23
високопористого щеленового, 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

Але сьогодні в Україні в достатній кількості є матеріали, які дають можливість застосувати пористий асфальтобетон підвищеної міцності. Це добавки до бітуму різних видів (адгезійні, модифікуючі, полімерні), які підвищують його довговічність. Для зимового утримання існує цілий перелік хімічних реагентів, які не допускають утворення ожеледиці і попереджають появу зимової слизькості. Але головне те, що з початку 90-х років в дорожній галузі широко використовуються геосинтетичні матеріали (ГМ) в різних шарах дорожніх конструкцій.

Геосинтетичні матеріали укладаються між шарами дорожньої конструкції як армуючі, капілярперериваючі, дренаючі, розділюючі та укріплюючі прошарки.

Для відведення поверхневої води на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування, яка крізь пори пористого (дренуючого) асфальтобетону просочується в нижче розташований шар покриття і далі в товщу дорожнього одягу, попередження вологонакопичення в конструкції дорожнього одягу, збільшення міцності і довговічності, в роботі пропонується укладання під верхній шар покриття суцільного тканого геосинтетичного прошарку - базальтового суцільного полотна, просоченого полімерною речовиною, марки ПСБ-Д (просочене).

Така конструкція, запропонована автором, розроблена вперше, пройшла виробничу апробацію і зарекомендувала себе як ефективна для відведення поверхневої води з проїзної частини дороги, попередження появи аквапланування автомобілів.

Укладене базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене) є в значному ступені додатковим конструктивним шаром, який підвищує опір навантаженням від рухомих автомобілів і сприяє рівномірному розподілу напружень, тобто покращенню напружено-деформованого стану всієї дорожньої конструкції [81-94].

Армований дорожній одяг являє собою композиційну конструкцію, в якій суміщуються характерні позитивні властивості двох різних матеріалів – асфальтобетону і геосинтетичного матеріалу.

Взагалі, ГМ – загальна класифікаційна термінологія для всіх видів матеріалів із штучної чи природної сировини, які використовуються в дорожньому будівництві та інших галузях.

Цей термін включає:

- геотекстильні матеріали: неткані водонепроникні суцільні полотна; ткані водонепроникні, не оброблені полімерним в'язучим або водонепроникні, оброблені полімерним в'язучим, суцільні полотна.

Неткані полотна отримують в результаті скріплення синтетичних волокон (путанки), укладених по площинах одна на одній елементарними нитками.

Скріплення може бути механічним – голколпробивне (проколювання чи прошивання) та термоз'єднання адгезійним чи когезійним (за допомогою клейкої речовини).

Геотекстильні полотна ткани виготовляються на ткацьких станках методом складання схрещених під прямим кутом полімерних або базальтових ниток. Вони розрізняються по вигляду ниток (кручена, вузькі смужки, зрощена нитка). За необхідності, додатково можуть скріплюватися місця поєднання ниток. Для забезпечення водонепроникності виконується просочення розчинами полімерів.

До геосинтетичних матеріалів належать: сітки просочені, плетені, в'язані, екструзійні та сітки з підкладкою – композиційні матеріали, сітчасті смуги (шириною до 1 м), стрічки, георешітки – плоскі та об'ємні (модульні, сотові);

До гідроізоляційних матеріалів належать: водонепроникні чи із незначним ступенем водопроникності, бентонітові композити, геопластик із полімерного матеріалу.

До геосіток належать виготовлені з синтетичних волокон чи пластмас кристалеві структури з різними вузловими з'єднаннями і шириною отворів більше 10 мм для застосування з тією ж метою.

Розрізняють такі види геосіток: плетені, в'язані, укладені.

Сітка плетена – це сітка з отворами від 10 до 40 мм. Сітка в'язана виготовляється з синтетичних стрічок. В стрічках пробиваються отвори, розтягуються в одному чи обох напрямках (вздовж і впоперек). При витягуванні полімерні молекули орієнтуються в напрямку розтягування. При цьому міцність в напрямку розтягування збільшується, а подовження зменшується. Вузлові пункти не зміщуються, завдяки чого відбувається передача силового фактора між поздовжніми та поперечними перемичками.

Штамповані сітки виготовляються із полімерних листів шляхом продавлювання отворів розміром 10-20 мм.

Сітчасті смуги, стрічки розглядаються як сіткоподібні вироби. Стрічки можуть складатися, наприклад, із зєднаних смужок, а також об'єднаних між собою на одному рівні шарів ниток, зафіксованих полімерною оболонкою.

Георешітки мають розмір отворів від 70 до 100 мм.

### Геосинтетичні матеріали (ГМ)

геотекстильні матеріали (ГТ)	віднесені до геотекстилю вироби (ГВ)	геосинтетичні ізоляційні матеріали (ГІ)				
тканинні (ГТ. Тк) не тканинні (ГТ. Н) в'язанні (ГТ. В)	геогратки (ГР) геосітки (ГСіт) геосоти (ГС) геомати (ГМт) геопрешарки (ГПро)	полімерні (ГІ. П) бітумні (ГІ. Б) глинисті (ГІ. Г)				
<b>геокомпозити</b> (приклади деяких функцій)						
Розділяння	Фільтрування	Дренування	Армування	Захищення	Ізольовання	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 1.1 – Класифікація геосинтетичних матеріалів та область застосування

Композиційні матеріали являють собою сітку чи решітку з об'єднаних в площини з нетканим полотном товщиною не більше 1-2 мм (підложка). На основі досліджень А.О. Белятинського, К.В. Краюшкіної, В.К. Вирожемського, А.А. Рибальченко, В.Й. Заворицького та інших [5-6, 77, 84, 94] була розроблена класифікація геосинтетичних матеріалів, що наведена на рис. 1.1, 1.2.



Рисунок 1.2 – Геосинтетичні матеріали

Для раціонального вибору необхідно враховувати фізико-механічні характеристики геосинтетичних матеріалів, їх стійкість до впливу місцевих природно-кліматичних умов та до дії транспортних навантажень. Характерні особливості ГМ і галузі їх використання наведені в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Фізико-механічні властивості ГМ і галузі їх використання

Вид ГМ	Вихідний матеріал	Галузь використання	Показники фізико-механічних властивостей
Геотекстильні полотна неткані механічно скріплені	Поліпропілен, поліефір, полівініл-хлорид	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 проколванні конусом, ефективна пористість, хімічна стійкість, щільність, товщина
Геотекстильні полотна ткані просочені (водонепроникні) стійкість, щільність, адгезія до асфальтобетону	Поліефір, 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, поліефір, 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 форми	Улаштування повністю водонепроникних елементів,	Водонепроникність, міцність при розриві, відносне подовження при розриві, товщина,

		геотехнічних та дорожніх конструкцій	щільність
--	--	--------------------------------------	-----------

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 1.5, видно, що для відведення зайвої кількості води, що з'являється під час опадів – дощу та снігу з одночасним армуванням дорожнього одягу, найбільш підходить тканий просочений водонепроникний геотекстильний матеріал, а саме: базальтове суцільне полотно марки ПСБ-Д (просочене).

1.2 Вимоги щодо застосування геосинтетичних матеріалів в дорожніх конструкціях

Геосинтетики виконують сім основних функцій в конструкції: армування; дренажування; захищення; ізолювання; протиерозійний захист; розділення; фільтрування.

Класифікація геосинтетичних матеріалів та області їх застосування згідно із рисунком 1.1.

Термін служби геосинтетичних матеріалів повинен перевищувати термін служби конструкцій, в яких вони застосовуються.

Проектування дорожньої конструкції із застосуванням геосинтетиків включає конструювання та розрахунки (на стійкість, міцність, довговічність, захист від ерозії, дренажування) з обґрунтуванням варіантів для вибору найбільш економічного для заданих умов виконують відповідно до 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, ДБН В.2.3-4, ДБН В.2.3-5, ДСТУ-Н Б В.1.2-13, [4], [5] та інших нормативних документів.

Вихідні дані для проектування дорожньої конструкції повинні включати:

- функціональні вимоги, проектний строк служби конструкції, рівень надійності і необхідний коефіцієнт запасу конструкції;

- умови навантаження конструкції під час будівництва і експлуатації;
- ґрунтово-геологічні, гідрогеологічні і погодно-кліматичні умови району будівництва;
- фізико-механічні та розрахункові характеристики матеріалів і ґрунтів, які будуть використані в конструкції;
- режим експлуатації конструкції і експлуатаційні обмеження;
- техногенно – геологічні чинники, що можуть мати місце з часом.

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

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

Склад та зміст проектної документації для будівництва, ремонту та реконструкції автомобільних доріг потрібно 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] та 6.1 ДБН В.2.3-4 та розділу 4 ДБН В.2.3-5. Погодно-кліматичні фактори та природні умови району будівництва згідно з 6.1.3 ДБН В.2.3-4. Конструкцію земляного полотна в поперечному профілі треба призначати за типовими рішеннями відповідно до 6.1.4 ДБН В.2.3-4.

Заходи щодо забезпечення міцності і стійкості земляного полотна та робочого шару згідно з 6.3.5 ДБН В.2.3-4. Найбільш доцільні заходи слід вибирати на основі техніко-економічних розрахунків.

Спорудження насипів із ґрунтів і матеріалів з відходів промисловості потрібно здійснювати відповідно до 6.4 ДБН В.2.3-4. Спорудження земляного полотна треба здійснювати згідно з [4].

Спорудження земляного полотна із застосуванням геосинтетичних матеріалів треба здійснювати згідно з 20.7 ДБН В.2.3-4 та [4]. Влаштування дренажних, армуючих, розділяючих, ізолюючих прошарків з геосинтетичного матеріалу, який вибирається відповідно до вимог використання з характеристиками, що забезпечують стійкість до кліматичних факторів, необхідно виконувати по вирівняній, спрофільованій та ущільненій основі згідно з 20.7 ДБН В.2.3-4.

Методику відбору зразків для визначення технічних характеристик геосинтетиків наведено у Додатку Б ГБН В.2.3-37641918-544:2014.

Властивості, за якими оцінюють придатність геосинтетиків для заданої області застосування, наведені в таблиці 1.6, а значення властивостей – в таблиці 1.5.

Підсилення дорожнього одягу потрібно виконувати з метою підвищення загальної міцності існуючого дорожнього одягу шляхом збільшення його товщини, заміни одного чи декількох шарів більш міцними згідно з 8.4 ДБН В.2.3-4 та розділом 5 ДБН В.2.3-5 або використання АСМ відповідно до розділу 11 ГБН В.2.3-37641918-544:2014 .

Підготовка до дорожньо-будівельних робіт повинна забезпечувати можливість безпечного виконання робіт усіма учасниками будівництва.

Підготовка повинна передувати з необхідним випередженням кожному етапу виконання дорожньо-будівельних робіт. Її потрібно організувати як регулярну функціональну систему взаємозв'язаних заходів організаційного, технічного, технологічного і планово-економічного характеру.

Будівництво та реконструкцію автомобільних доріг потрібно здійснювати з дотриманням вимог нормативних документів щодо безпеки дорожнього руху, охорони праці, а також вимог проектної

документації, ПОБ та ПВР. Організацію та планування дорожньо-будівельних робіт потрібно здійснювати на підставі ПОБ та ПВР.

Організацію контролю якості будівництва автомобільних доріг потрібно здійснювати згідно з розділом 8 ДБН А.3.1-5.

Властивості, за якими оцінюють придатність геосинтетиків для заданої області застосування, наведені в таблиці 1.6, а значення властивостей – в таблиці 1.7.

Таблиця 1.6 – Критерії, необхідні для вибору геосинтетиків

Назва показника	Область застосування геосинтетиків							Метод випробувань згідно з [1]
	Розділення	Фільтрування	Дренування	Армування	Захищення	Ізолювання	Протигрозійний захист	
<b>I. Проектні критерії</b>								
<i>1.1 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>1.2 Гідравлічні</i>								
Фільтруюча здатність матеріалу	+	+	+	+			+	6.4.2
Дренуюча здатність матеріалу під навантаженням			+					6.4.3
Характерний розмір отворів		+	+				+	6.4.1
<b>II. Технологічні критерії</b>								
Статичне проколювання плунжером <sup>*)</sup>	+	+	+	+	+	+	+	6.3.8
<sup>*)</sup> Випробування з статичним проколюванням плунжером не використовують для геосинтетиків з відкритою структурою, таких як, геогратки, геосітки тощо.								

### 1.3 Армування земляного полотна

Останнім часом на теренах країн СНД, в тому числі в Україні, спостерігається тенденція застосування нетрадиційних дорожньо-будівельних матеріалів – синтетичних, які виконують різні функції в складі

дорожньої конструкції. Однією з них є армування земляного полотна. За останні сорок років у будівельній галузі світу важко знайти проблему, яка б викликала стільки творчого інтересу у спеціалістів, як будівництво споруд з армованих ґрунтів. Протягом останнього десятиліття метод армування, як метод для покращення фізико-механічних характеристик слабких ґрунтів, отримав широке визнання і впровадження в практику дорожньо-будівельної галузі.

Таблиця 1.7 – Характеристики деяких геосинтетиків

Назва показника	Одиниця вимірювання	Норма	Метод випробувань згідно з [1] та [2]
1	2	3	4
<b>Фізичні властивості</b>			
Поверхнева щільність	г/м <sup>2</sup>	135–2000	6.2.1 [1]
Товщина	мм	0,25–7,5	6.2.2 [1]
<b>Механічні властивості</b>			
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]
<b>Гідралічні властивості</b>			
Характерний розмір отворів	мм	2,0–0,075	6.4.1 [1]
Фільтруюча здатність матеріалу	с <sup>-1</sup>	0,02–2,2	6.4.2 [1]
Дренуюча здатність матеріалу під навантаженням	м <sup>2</sup> /хв	0,01–2,0 · 10 <sup>-3</sup>	6.4.3 [1]
<b>Стійкість</b>			
Пошкоджуваність при вкладанні	% (від міцності геотекстилю)	0–70	6.5.1 [1]
<b>Стійкість до агресивних середовищ</b>			
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]

Сам принцип армування ґрунтів був відомий ще у 4-5 тисячолітті до н.е. Але розроблений, офіційно визнаний і запатентований новий вид будівельних матеріалів – «армований ґрунт» був французьким вченим А. Відалем. Перші досвіди застосування синтетичних текстильних матеріалів в основах насипів земляного полотна на слабких ґрунтах були проведені на терені колишнього СРСР у 1974-1975рр. Вони виявилися настільки ефективними, що темпи зростання обсягів використання геосинтетичних матеріалів у транспортному будівництві почали стрімко зростати. [1] Адже їх унікальні властивості дозволяють суттєво підвищити міцність, довговічність та надійність дорожньої конструкції, а головне – зменшити вартість будівництва порівняно з традиційними проектними рішеннями. Зараз можна відзначити, що практично на кожному дорожньобудівельному об'єкті геосинтетичні матеріали застосовуються, як армуючі прошарки земполотна, так і шарів дорожнього одягу.

Земляне полотно є важливим елементом автомобільної дороги, від міцності і стійкості якого залежить довговічність всієї конструкції. На сьогодні і досі актуальною проблемою у галузі дорожнього будівництва є спорудження земляного полотна на слабких і неоднорідних ґрунтах. У вирішенні цієї проблеми зроблено уже багато, а саме з кожним роком все більшого поширення набуває покращення властивостей земляного полотна завдяки широкому застосуванню геосинтетичних матеріалів.

Багатофункціональність і властивості сучасних геосинтетичних матеріалів створює необхідність розробки нових конструктивних рішень і методик розрахунку конструкцій з застосуванням геосинтетичних прошарків. При застосуванні армуючого геосинтетичного прошарку змінюється напружено-деформований стан конструкцій, в зв'язку з чим є актуально детально дослідити і проаналізувати процес перерозподілу напружень з перевантажених зон на сусідні недовантаженні ділянки. Проаналізувати методику розрахунків земляного полотна з геосинтетичним прошарком за нормативними документами України та визначитись з можливими

напрямами її вдосконалення для врахування впливу прошарку на роботу насипу.

Армований ґрунт – це складний композитний матеріал, що складається з еластопластичної матриці (ґрунту) і в'язкопластичного армування (геосинтетику). Технологія армування ґрунту відома вже давно і в своїх примітивних формах з давніх часів широко використовувалася в Середній Азії при будівництві гідротехнічних споруд. Але глибоке теоретичне і експериментальне дослідження ідея армоґрунту отримала відносно недавно завдяки роботам Відаля та Шлоссера.

Для України застосування армування ґрунтів у транспортному будівництві має особливо важливе значення, адже територія нашої держави представлена майже всіма складними ґрунтовими умовами: просадочність, зсуви, карст і т.д. В таких умовах в процесі будівництва і експлуатації виникають великі деформації, що спричиняють часткову або повну руйнацію конструкцій.

Сучасні умови будівництва автомобільних доріг, особливо в складних умовах, потребують розробки індивідуальних проектів конструкції земляного полотна. Вибір найбільш раціональних конструкцій земляного полотна багато в чому залежить від прогнозу осадки і її розвитку в часі під дією ваги насипу. І саме армування основи насипу є одним з перспективних методів вирішення цих питань в складних умовах.

Армування ґрунтового масиву геосинтетиками перетворює його в міцне тверде тіло анізотропної будови, подібної до будови штучних композитних матеріалів. Принцип роботи армоґрунту оснований на можливості поєднання ґрунту і арматурних елементів (геосинтетиків), що змонтовані так, щоб зменшити напруження розтягу, які можуть виникати в ґрунті під дією сил гравітації чи зовнішнього навантаження і передати їх за допомогою сил зчеплення на геосинтетичний прошарок, який добре сприймає зусилля розтягу.

У армоґрунтовому масиві виникає складний напружено-деформований стан, а тому досить складно описати перерозподіл напружень. Взагалі, ефект армування масиву ґрунту геосинтетичними матеріалами проявляється двояко. Перше, арматура за рахунок власної міцності і опору розтягу перешкоджає зсуву одних частин ґрунтового масиву відносно інших. Друге, прошарок, працюючи сумісно з ґрунтом викликає перерозподіл напружень з перевантажених зон на сусідні недовантажені ділянки, залучаючи їх до роботи. Введення такого прошарку дозволяє підсилити небезпечну чи ослаблену зону конструкції, забезпечивши її рівномірну міцність. Дослідження закономірностей процесів деформування і руйнування від зовнішніх навантажень насипів ґрунту, армованих геосинтетиками, триває в різних країнах світу лише 20-30рр. Цей час є не дуже значний, тому вивчення цих процесів знаходиться поки що на початковій стадії.

При розрахунках звичайного масиву ґрунту використовують феноменологічну математичну модель. А от для армованого ґрунту застосовують дискретну математичну модель. Її рівняння зв'язують загальні (феноменологічні) деформаційні і міцнісні характеристики ґрунтового масиву, як єдиного цілого, з показниками властивостей та взаємодії її внутрішніх елементів: ґрунту і армуючого прошарку. Отже, при проектуванні армування ґрунту дорожнього полотна, для здійснення розрахунків є потреба використовувати дві математичні моделі. Для визначення кількості і якості елементів армування потрібна дискретна математична модель, а для розрахунку осадок споруд, стійкості схилів – континуальні моделі. Окремі елементи дискретної моделі при дії зовнішнього навантаження, як і в звичайних феноменологічних моделях, описують рівняння відомих модельних тіл з ідеальними властивостями. Ґрунт описує умова граничного напруженого сипучого середовища Кулона – Мора. Елементи армування, залежно від їх призначення (робота на розтяг, стиск або зріз) і поставленої задачі, описують або умови граничного опору жорсткого тіла, або умови деформування і руйнування пружно-крихкого тіла, а при роботі на стиснення



– рівняння пружності або та ж сама умова граничного стану Кулона – Мора. Взаємодію по контактах описують умови дії сил тертя в стані спокою або в динаміці [2].

Проблема розрахунку напружено-деформованого стану армованих ґрунтових основ полягає у необхідності врахування сумісної роботи таких різних елементів, як ґрунт основи природної структури, армуючий елемент і матриця (засипка з ущільненого ґрунту) [3].

Це спричинено такими факторами:

- значною різницею їх деформаційних властивостей;
- значною різницею в міцносних властивостях;
- значною різницею в геометричних розмірах.

Потрібно зазначити, що раніше широке впровадження геосинтетичних матеріалів стримувалося відсутністю нормативних документів, які б регламентували правила застосування та методи випробувань геосинтетичних матеріалів, що спричиняло труднощі при проектуванні, будівництві та контролі якості матеріалів і обмежувало використання геосинтетики. На відміну, від Європи, в якій прийнято норми DIN, ISO, та США, у яких прийнято ASTM та AASHTO, які регламентують використання геосинтетиків. Проте, за останні декілька років ця ситуація змінилась. Було розроблено і впроваджено нормативні документи 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).

При осадці насипу на слабкій основі з використанням геосинтетичного прошарку ґрунт захоплює за собою армуючий елемент, який осідаючи разом з ґрунтом, чинить внаслідок натягнення опір, в результаті чого відбувається відповідне підвищення напружень в налягаючих шарах ґрунту. Проте, на

жаль, їх ще дуже мало знижуються у нижчележачих шарах ґрунту. Армуючий елемент при осадці подовжується і від натягнення в ньому виникають розтягуючі напруження. Так як модуль пружності при розтягу елементів армування надто великий, затухання розтягуючих напружень в цих елементах мало відчутне, внаслідок чого напруження поширюються далеко за межі напруженої області [9]. Тому виникає питання – а чи впливає наявність армуючого геосинтетичного прошарку в основі насипу на його осадку? Але поряд з твердженнями ВБН В.2.3-218-544:2008 «Споруди транспорту. Матеріали геосинтетичні в дорожньому будівництві» існують дослідження армованих ґрунтових основ під фундаменти споруд Чернія Г.І. і Ковальського Р.К. у Науково-дослідному інституті будівельних конструкцій [10]. За їхніми результатами встановлено, що шляхом армування зосереджується зона дії максимальних дотичних напружень в області, в якій знаходиться міцний ґрунт і армуючий прошарок, що позитивно впливає на роботу ґрунтової основи, оскільки причиною руйнування є саме дотичні напруження; в армованій основі проходить перерозподіл нормальних напружень на більшу ширину, ніж у неармованій (значення напружень на глибині менші, ніж в неармованій основі); вертикальне переміщення армованої основи приблизно в 2 рази менше, ніж неармованої. В цілому ними зроблено висновок, що прогнозувати напруженодеформований стан армованих ґрунтових основ можна і для цього може бути використаний метод скінченних елементів за допомогою комп'ютерних програм. Враховуючи вищесказане можна сказати, що при розрахунку осадки основи насипу (прогнозі напружено-деформованого стану) все таки потрібно враховувати наявність геосинтетичного прошарку. При застосуванні геосинтетичних прошарків в основі насипу при будівництві тимчасових доріг або доріг нижчих категорій на слабких ґрунтах знижується величина осадки за рахунок зменшення її нерівномірності.

## РОЗДІЛ 2

### КОНСТРУКТИВНІ ЕЛЕМЕНТИ ДОРОЖНЬОЇ КОНСТРУКЦІЇ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

#### 2.1 Виконання армування основи насипу автомобільних доріг

Загальні вимоги до вкладання геосинтетичних матеріалів:

- основа під укладання геосинтетичних матеріалів повинна бути звільнена від предметів, які можуть пошкодити матеріал (гостре каміння, коріння та гілля дерев, будівельне сміття тощо);
- послідовність і напрямок укладання геосинтетичних полотен повинні узгоджуватись з напрямком ведення будівельних робіт. Кожне наступне полотно геосинтетичного матеріалу в частині перекриття повинно бути заведене під вже вкладене полотно геосинтетичного матеріалу для запобігання їх зминанню та зміщенню при укладанні та розподілі шарів зернистих матеріалів поверху способом "від себе";
- влаштування швів паралельно осі дороги заборонено;
- складки і зморшки, які виникли на поверхні геосинтетичних полотен при їх укладанні, необхідно розрівняти вручну;
- за необхідності полотна прищиплюють до основи щоб запобігти їх зриванню вітром.

Способи з'єднання полотен геосинтетичних матеріалів в будь-якому напрямку наведені на рисунку 2.1.

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

- матеріал нитки для зшивання полотен повинен бути з тієї ж сировини, що і геосинтетичний матеріал (кевлар, поліпропілен, поліефір, поліамід тощо). Міцність нитки повинна бути не меншою за міцність волокон геотекстилю;
- необхідний натяг нитки встановлюють пробними зшиваннями (в польових умовах);

- щільність шва (кількість петель на одиницю довжини шва) повинна бути від 2 до 4 петель на 25 мм довжини, в залежності від виду, густини та міцності геотекстилю;
- кількість швів двох полотен геосинтетичного матеріалу може становити від 1 до 3 в залежності від виду, густини та міцності геотекстилю, відстань між швами – (5 – 10) мм;
- тип петельного шва – рекомендується двопетельний шов;
- міцність шва перевіряють випробуванням зразків зшитого геосинтетичного матеріалу в лабораторних умовах;
- відстань від шва до краю геосинтетичного матеріалу та оптимальну відстань між скобами встановлюють випробуванням зразків геосинтетичних матеріалів в лабораторних умовах.

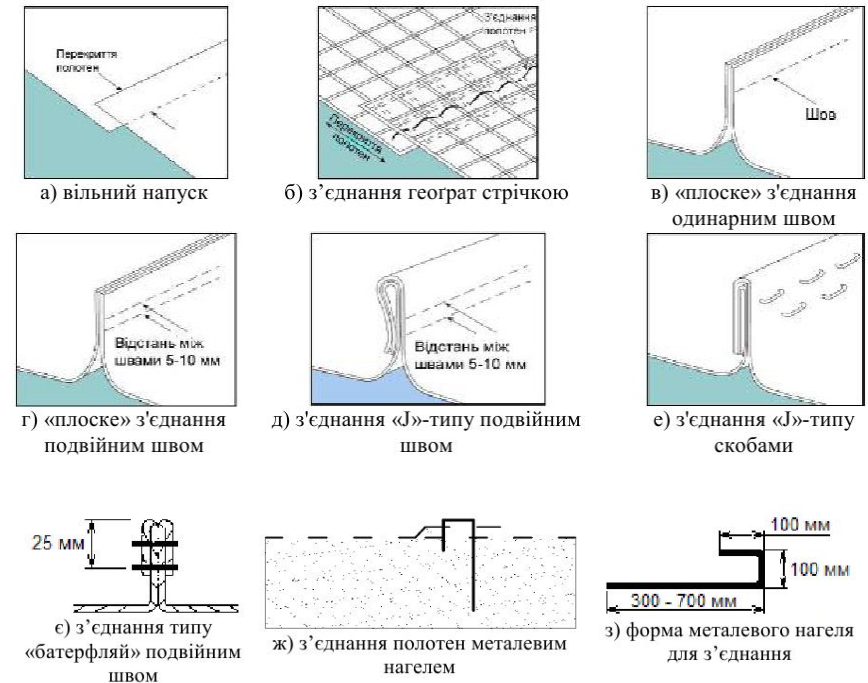


Рисунок 2.1 - Способи з'єднання полотен геосинтетичних матеріалів

Мінімальна величина перекриття полотен геосинтетичного матеріалу при вільному напуску становить 0,5 м і може бути збільшена до 1,0 м при недостатній несучій здатності ґрунтової основи. На ділянках торфу величина перекриття може бути збільшена до (2,0 – 2,5) м. Полотна геосинтетичного матеріалу в місцях перекриття повинні додатково кріпитись до основи за допомогою нагелів через кожні 2,5 м. За необхідності передачі зусиль між полотнами їх зшивають, склеюють, з'єднують скобами, стрічками тощо.

Оптимальним типом з'єднання є «плоске» з'єднання. З'єднання «J»-типу та «бабочка» є найбільш міцним (рис. 2.1).

Ремонт пошкоджень полотен геосинтетичного матеріалу:

- при дефектах, величина яких перевищує половину ширини полотна геосинтетичного матеріалу, пошкоджену частину відрізають на всю ширину і заміняють новим полотном, яке з'єднують одним зі способів згідно з рис. 2.1.

- при дефектах, менших половини ширини полотна геосинтетичного матеріалу, вирізають і заміняють лише пошкоджену частину з наступним з'єднанням з полотном;

- незначні дефекти полотна геосинтетичного матеріалу, менші ніж 150 мм, можуть відремонтувати перекриттям пошкоджених ділянок новим геосинтетичним полотном необхідного розміру, з напуском не менше ніж 1 м в кожен бік від дефекту.

Полотна геосинтетичних матеріалів засипають ґрунтом або зернистим матеріалом в напрямку від полотен, які перекривають, до полотен, які підстеляють. Мінімальна товщина шару ґрунту або зернистого матеріалу засипки над полотном геосинтетичного матеріалу повинна бути не менше ніж 0,2 м. Заїзд будівельної техніки для розвантаження матеріалу засипки безпосередньо на полотно геосинтетичного матеріалу заборонено.

Послідовність влаштування шарів ґрунту над армуючим матеріалом на дуже слабких основах (модуль деформації менше ніж 5 МПа) (рис. 2.2).

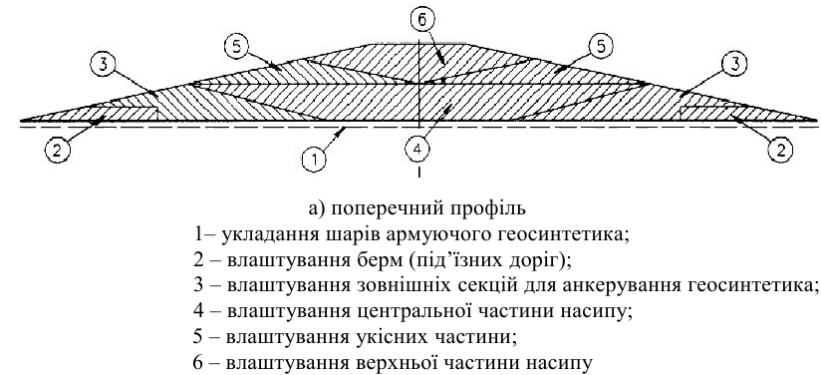


Рисунок 2.2 - Послідовність насипання ґрунту над армуючим полотном геосинтетичного матеріалу на дуже слабкій основі

Особливу увагу слід приділяти першому шару відсіпки над полотном геосинтетичного матеріалу: висота навантаження не повинна перевищувати 1 м; ґрунт потрібно розподіляти відразу ж після розвантаження, щоб запобігти локальному продавленню слабкої основи; рух транспортних засобів над першим насипаним шаром потрібно здійснювати вздовж осі насипу дороги; ущільнення шару слід виконувати лише проходженням транспортуючої та розподіляючої ґрунт техніки; різкі розвороти, гальмування і розгін техніки заборонені. Якщо глибина колії від транспорту в ґрунті першого шару відсіпки перевищує 75 мм, то застосовують більш легку техніку або зменшують її навантаження.

Послідовність влаштування шарів ґрунту над армуванням на основах з модулем деформації більше ніж 5 МПа виконують згідно з рисунком 2.3.

При укладанні в основу насипу ґрунтової торцевої частини влаштовують за допомогою тимчасової опалубки (рис. 2.4 (а - д)). Мінімальна величина анкерного завороту в бічній частині напівзамкнених об'ємів з обох сторін повинна бути не менше ніж 2,5 м. При невикористанні для армування георат, розмір отворів яких значно перевищує діаметр зерен матеріалу

засипки, в торцевій частині обойми влаштовують вкладки з нетканинного геотекстилю, мішків з геотекстильних матеріалів із ґрунтом (див. рис. 2.4 (б, в, г)) або відсипають крупнозернистий матеріал.



Рисунок 2.3 - Схема насипання ґрунту над полотном геосинтетичного матеріалу на слабкій основі (з модулем деформації більше за 5 МПа)

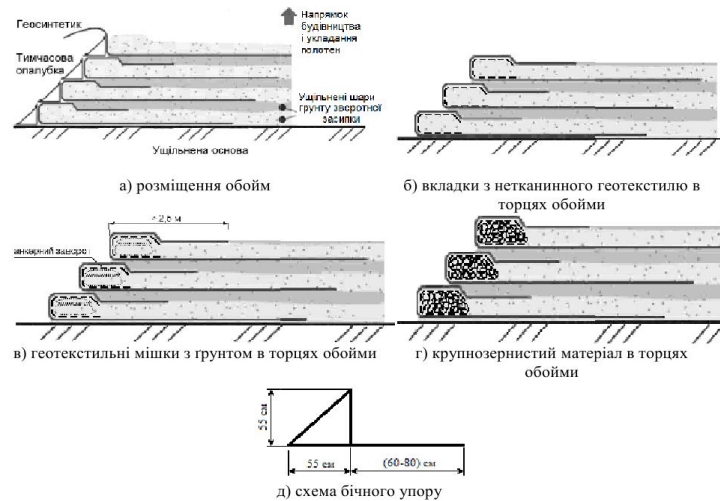


Рисунок 2.4 - Влаштування бічної частини ґрунтово-геосинтетичних обойм за допомогою тимчасової опалубки

## 2.2 Армування і стабілізація укосів

Армування і стабілізацію укосів застосовують в насипах автомобільних доріг для забезпечення їх стійкості:

- за необхідності збільшення їх крутизни до  $70^\circ$
- в армоґрунтових підпірних стінках з крутизою від  $70^\circ$  до  $90^\circ$ ;

При укладанні в основу насипу ґрунтово-геосинтетичних обойм,

- на підходах до мостів і в берегових опорах мостів;
- за необхідності зменшення смуги відведення під час нового будівництва, реконструкції з розширенням земляного полотна, ремонту обрушених укосів насипів або виїмок та спорудження насипів зперезвожених дрібнозернистих ґрунтів.

Варіанти первинного та вторинного армування та стабілізації укосу насипу наведені на рисунку



Рисунок 2.5 – Схема армування і стабілізації укосу насипу

Рекомендованими геосинтетичними матеріалами для армування і стабілізації укосів є:

- для первинного армування - геограти з міцністю на розтяг не менше ніж  $30 \text{ кН/м}$  із поліефірних, поліпропіленових чи поліамідних волокон;
- для вторинного армування - геотекстилі тканинні і нетканинні;
- геомати для захисту поверхні укосу від ерозії.

Короткі полотна вторинного армування, довжиною від 1 м до 2 м, укладають між полотнами первинного армування, якщо відстань між останніми більше ніж 0,6 м згідно з рисунком 2.6.

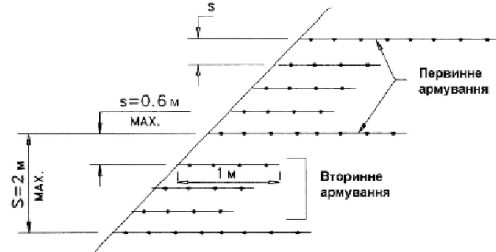


Рисунок 2.6 – Схема закладання полотен вторинного армування між полотнами первинного

Елементами армування і стабілізації укосу є первинне і вторинне армування, захист поверхні укосу від ерозії і система дренажу

Первинне армування повинно забезпечувати загальну стійкість укосу, виконують полотнами геосинтетика, які закладають в тіло укосу на ширину, що заходить за лінію можливого обриву укосу.

Вторинне армування повинно забезпечувати стійкість укосної частини під час ущільнення. Для цього застосовують достатньо міцні геотекстилі тканинні і нетканинні з додатковою функцією фільтрації. Полотна геосинтетичного матеріалу закладають на ширину до 2 м в тіло укосу між полотнами первинного армування.

Для забезпечення загальної стійкості укосу необхідно влаштовувати систему дренажу армованого укосу, окрім випадків спорудження насипу із зернистих (дренуючих) матеріалів.

Розрахунок стійкості укосу виконують за критеріями внутрішньої, зовнішньої і комбінованої стійкості та експлуатаційного граничного стану (див. рис. 2.7).

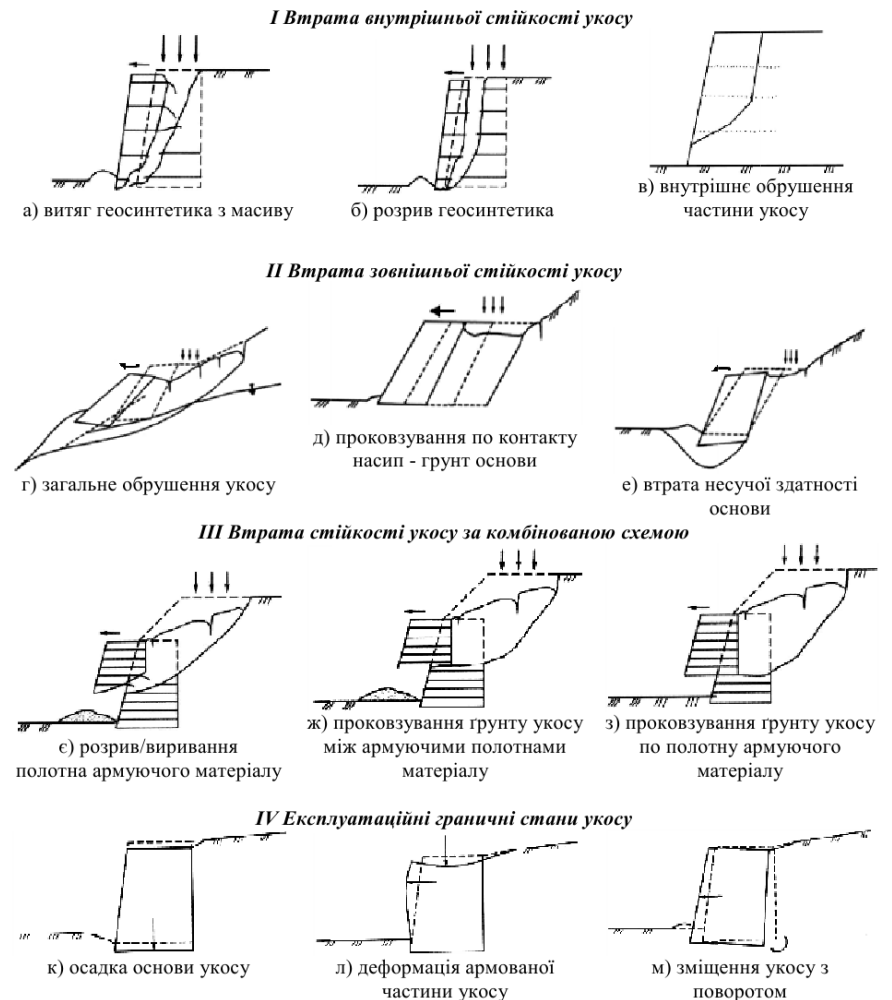


Рисунок 2.7 - Схеми втрати стійкості укосів

Внутрішня стійкість характеризує роботу ґрунту і геосинтетичних полотен в армованій частині конструкції. При цьому вважається, що площина ймовірного обриву проходить крізь армуючі полотна.

Зовнішня стійкість характеризує роботу армованої конструкції в цілому, без урахування способу армування, а площина ймовірного обрушення проходить поза чи під армованою частиною.

Комбінована втрата стійкості може виникати, коли лінія обрушення проходить одночасно поза армуванням і безпосередньо через армовану частину.

Експлуатаційні граничні стани визначають критичні значення усадки і деформації, перевищення яких впливає на експлуатаційні якості конструкції.

Величину розрахункового зусилля первинного армування укосу,  $Tr$ , приймають як найбільше значення з розрахунків на внутрішню, зовнішню і комбіновану стійкість. Необхідна розрахункова міцність геосинтетика для армування укосу повинна задовольняти умові (2.1):

$$Td = Tr, \quad (2.1)$$

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

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

Необхідна номінальна довготривала міцність геосинтетика,  $T_{ном}$ , повинна задовольняти умові (2.2):

$$T_{ном} \geq T_d \cdot \gamma_m \cdot \gamma_n, \quad (2.2)$$

Розрахункову довжину анкерування полотен в укисній частині насипу приймають як більшу з довжин, отриманих при розрахунках на внутрішню, зовнішню і комбіновану стійкість укосу.

Наявність ґрунтової води в тілі укосу може знижувати здатність геосинтетика опиратись зусиллям витягування і призводити до ерозії

поверхні укосу. Внутрішній дренаж, як правило, влаштовують за армованою частиною укосу. Відстань між водовипусками залежить від геометрії об'єкта та інтенсивності підтікання води. При просторовій орієнтації дренажу слід приймати до уваги, що потенційна площа обрушення укосу може проходити по контакту "ґрунт-геосинтетик дренажу", в якому величина зчеплення і кут внутрішнього тертя можуть бути зниженими. Геотекстилі первинного і вторинного армування повинні мати водопроникність більшу, ніж ґрунт, яким засипають армовану частину для запобігання накопиченню води над геотекстилем внаслідок інфільтрації атмосферних опадів.

При порівнянні проектних варіантів армованого і неармованого укосів на основі критерію "ефективність-вартість" приймають до розрахунку: об'єм земляних робіт, площу поверхні укосу, середню висоту укосу і кут його закладання, вартість місцевого ґрунту для неармованого укосу і підібраного ґрунту для армованого, вимоги до протиерозійного захисту укосу, можливість і вартість землевідведення, вартість конструкцій безпеки (огорожі тощо), необхідність застосування тимчасової опалубки, необхідність перенаправлення руху транспорту під час будівництва і естетичність конструкції в цілому, експлуатаційні витрати.

Обмеження при армуванні та стабілізації укосів. Потрібно приймати до уваги стійкість та довговічність геосинтетиків у ґрунтових умовах (рівень рН і окислювання). Використання геосинтетиків на основі поліетилентетрафталату слід обмежувати в ґрунтах з  $3 < \text{pH} < 9$ ; а на основі поліолефінів (поліпропілен і поліетилен) обмежувати в ґрунтах з рН більше 3. Якщо місце вкладання геосинтетика знаходиться на рівні ґрунтових вод або нижче, слід враховувати питому вагу геосинтетичного матеріалу, щоб уникати його плавучості під час вкладання, питома вага повинна бути більше ніж 1,0 за рахунок привантаження. Розмір і маса рулону геосинтетика повинні відповідати умовам розрахунків (мінімальна ширина) та способу вкладання (механізований чи немеханізований).

Виконання армування і стабілізація укосів. До початку робіт розробляють детальний план укладання полотен геосинтетиків, який повинен регламентувати напрямок вкладання полотен: при поперечному вкладанні розрахункова міцність геополотна залежить від МН - напрямку; при поздовжньому ПМН - напрямку.

З'єднання окремих полотен в напрямку передачі основних зусиль (від осі насипу в бік укосу) при поперечному вкладанні полотен не допускається, тобто довжина полотна для первинного армування повинна бути відміряна з цільного рулону. В перпендикулярному напрямку полотна з'єднують способами згідно з рисунком 2.1.

Основу під укладання полотен геосинтетиків звільняють від предметів, які можуть пошкодити полотна (гостре каміння, корені та гілля дерев, будівельне сміття тощо). Необхідна рівність основи повинна бути  $\pm 30$  мм. При вкладанні армуючих полотен геосинтетиків в укосах із крутизою менше  $45^\circ$  загортання полотен дозволяється не виконувати. Способи закладання геосинтетичних полотен наведено на рисунку 2.8.

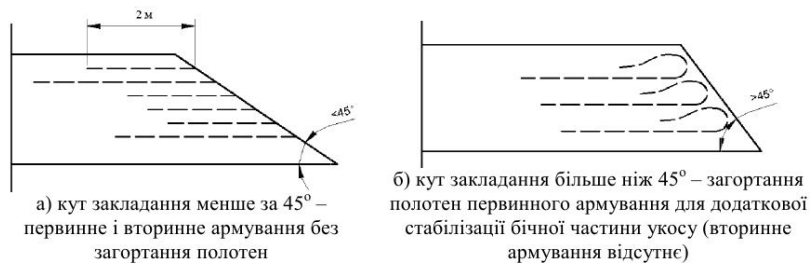


Рисунок 2.8 - Способи закладання геосинтетичних полотен при армуванні укосу залежно від його крутизни  $\alpha$

При більш крутих укосах необхідне загортання полотен в торцевій частині. Для формування торцевої частини використовують тимчасову або постійну опалубку, згідно зі схемами наведеними на рис. 2.9, 2.10.

Товщина шару засипання ґрунтом полотна геосинтетиків не повинна перевищувати 0,6 м.

Засипання армуючих полотен зернистим матеріалом виконують екскаватором з фронтальним ковшем (рисунок 2.9). Заїзд будівельної техніки безпосередньо на полотна геосинтетичних матеріалів заборонено.

Мінімальна товщина зернистого матеріалу над полотном геосинтетиків повинна бути не менше 0,2 м. Ущільнення незв'язного ґрунту засипки виконують віброкотком чи віброплитою, а зв'язного – котком на пневмоходу.

Для ущільнення бічної частини укосу застосовують легкі ущільнюючі засоби (рисунок 2.10 е). Коефіцієнт ущільнення ґрунту в укісній частині повинен становити не менше ніж 0,95 від стандартного значення при варіації вологості ґрунту в межах 2 %.

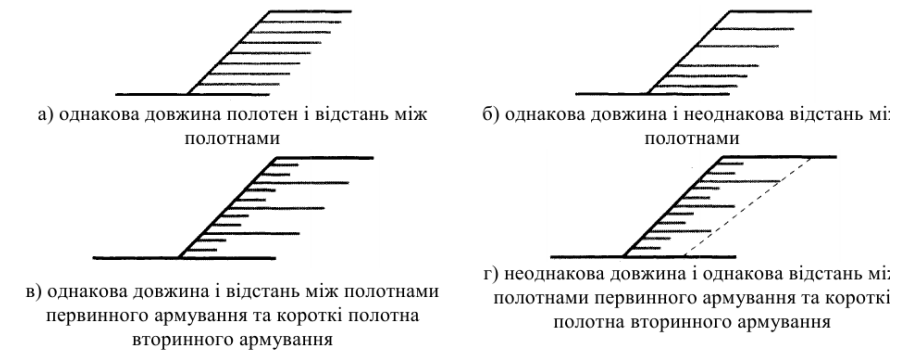


Рисунок 2.9 - Схеми армування укосів з різною довжиною армування

Надалі виконують влаштування внутрішнього дренажу армованого укосу та протиерозійного захисту укосу.



а) металевий упор опалубки



б) встановлення тимчасової опалубки



в) укладання первинного армування



г) укладання торцевої геотекстильної прокладки



д) засипання армуючого полотна ґрунтом



е) ущільнення торцевої частини ручною віброплитою



є) укладання нового шару

Рисунок 2.10 - Послідовність операцій з улаштування армованого георатами укосу з застосуванням тимчасової опалубки

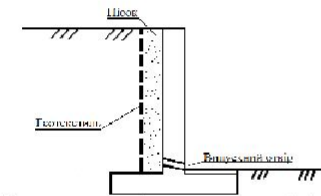
### 2.3 Геосинтетичні фільтруючі прошарки

Геосинтетичні фільтруючі прошарки використовують для запобігання попаданню дрібних ґрунтових частинок, захоплених водою, в зернисті дренаючі шари чи перфоровані труби або для запобігання суфозії в конструкціях протиерозійного захисту.

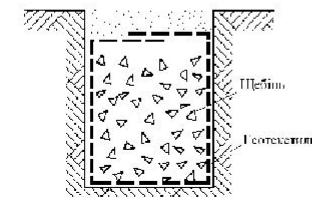
Застосування геотекстильних фільтрів є ефективним в дренажах між крупно- і дрібнозернистими шарами дорожнього одягу, між ґрунтом зворотної засипки і габіонами, в системах контролю ерозії ґрунтів.



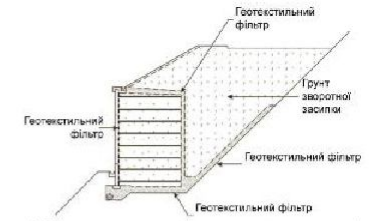
б) фільтри в системі дренажу армованого укосу



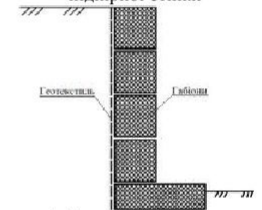
г) фільтри в системі дренажу жорсткої підпірної стінки



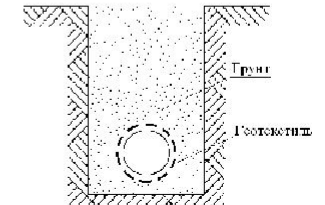
е) фільтр у «французькому дренажі»



в) фільтри в системі дренажу нежорсткої підпірної стінки



д) фільтр за габіонами



ж) фільтр навколо перфорованої труби

Рисунок 2.11 - Схеми закладання геотекстильних фільтрів



Найбільш ефективними геосинтетиками для фільтрації є нетканинні термічно скріплені та виготовлені за механічною (голкопробивні) та комбінованою технологіями. Вибір геосинтетика залежить від умов застосування та обумовлюється: їх товщиною, орієнтуванням волокон, поверхневою щільністю та відносною густиною матеріалу.

Для мінімізації ризику забивання фільтра перевагу віддають геотекстилю з максимальним значенням параметра  $O_{90}$ , який задовольняє критерій утримання.

Якщо під час укладання в конструкцію можливе тривале (понад одного дня) ультрафіолетове опромінення геотекстильного полотна, то перевагу віддають УФ-стабілізованим геотекстилям. Якщо є ймовірність шкідливого хімічного чи біологічного впливу на геотекстиль (наприклад, при близькому розміщенні автомобільної дороги до полігонів поховання відходів тощо), то потрібно проводити лабораторні випробовування стійкості вибраного геотекстилю до фактичних умов оточуючого середовища конструкції.

Обмеження при улаштуванні фільтруючих прошарків у дорожній конструкції. Складності при застосуванні фільтруючих геотекстильних прошарків можуть виникати у разі використання:

- одномірних дрібнозернистих незв'язних ґрунтів, наприклад, лес, кам'яна мука та дрібнозернистий відсів;
- незв'язних ґрунтів переривчастого гранулометричного складу в умовах високого гідравлічного градієнта;
- дисперсійних (незв'язних) глин, які з часом перетворюються в агрегати;
- високолузних ґрунтових вод, які можуть призводити до відкладання і накопичення кальцієвих, натрієвих чи магнієвих осадів на геотекстилі;
- твердих суспензійних частинок в мутних річкових водах чи в результаті землечерпання, які можуть накопичуватись на поверхні чи в середині фільтруючого прошарку;

- твердих суспензійних частинок разом з високим вмістом мікроорганізмів ( стічних вод в місцях поховання побутових та сільськогосподарських відходів), які можуть об'єднуватись і накопичуватись на поверхні чи в середині фільтруючого прошарку.

Влаштування фільтруючих прошарків. Підготовка основи під геосинтетичні полотна:

- основу потрібно очищати від предметів, які можуть пошкодити полотна (гостре каміння, корені та гілля дерев, будівельне сміття тощо);
- ступінь ущільнення ґрунту основи повинен відповідати проектним вимогам.

До початку робіт розробляють детальний план укладання геотекстильного фільтра, який регламентує спосіб і напрямок укладання.

Вимоги до вкладання такі:

- послідовність укладання полотен відповідає напрямку проведення будівельних робіт: кожне наступне полотно в місці перекриття повинно бути заведене під вже вкладене полотно для того, щоб запобігти зминанню і зміщенню полотен при розподілі зернистих матеріалів поверху способом "від себе";
- розгорнуті полотна, готові до засипання зернистим матеріалом, не повинні мати складок і зморщок;
- за необхідності полотна пришпилюють до основи, щоб запобігти їх зриванню вітром.

Геотекстильні фільтруючі полотна з'єднують між собою вільним напуском на величину не менше ніж 0,3 м або зшивають.

#### 2.4 Конструювання дренажів із застосуванням геосинтетичних матеріалів

Дренажі з застосуванням геосинтетиків влаштовують для відведення води від дорожньої конструкції в дренажну систему. Дренуючі геосинтетика

застосовують в конструктивних шарах дорожнього одягу, в земляному полотні та в підстиляючій основі та використовують для влаштування траншейного і площинного понижуючого дренажу, горизонтального дренажу в основі земляного полотна чи під тимчасовим навантаженням, для вертикального та горизонтального дренажу основи з метою прискорення консолідації, для капілярпереривання, для горизонтального і прикрайкового дренажу конструкції дорожнього одягу, для перехоплюючого дренажу при захисті укосів виїмок, для дренажу армованого укосу та підпірних стінок, при захисті бетонного фундаменту від агресивної дії засолених ґрунтових вод.

Ефективними геосинтетиками для дренажу є: геотекстилі нетканинні скріплені механічним (голкопробивним), термічним та комбінованим способом; дренажні геоконструкції. Найбільш ефективними для дренажу є геоконструкції, які складаються з дренажного ядра та геотекстильних фільтрів, які можуть виконувати дренажування з однієї чи обох сторін від геоконструктивного полотна.

Системи дренажу дорожньої конструкції поділяють на дві функціональні категорії: для дренажу вод поверхневої та бокової інфільтрації та для контролю рівня ґрунтової води. Всі дренажі за способом приймання води поділяють на гравітаційні (під впливом власної ваги), під дією зовнішнього тиску та капілярперериваючі.

Гравітаційний дренаж передбачає вільний потік води (під власною вагою); витрата потоку залежить від кута, під яким дренажує геополотно закладене в конструкцію. До гравітаційного відносяться застійний дренаж підпірних стінок та дренаж конструкції дорожнього одягу (включає осушення основи дорожнього одягу і активної зони земляного полотна та перехоплюючий дренаж).

Дренаж шару основи дорожнього одягу складається з (1) розділяючого зернистого шару чи геосинтетичного прошарку для запобігання змішуванню матеріалів і перешкоджання інфільтрації води в ґрунт земляного полотна, (2)

колекторних дрен уздовж кромки дорожнього одягу, (3) фільтруючого геотекстильного прошарку для запобігання виносу дрібних фракцій в дренажну систему, (4) крупнозернистої дренажної засипки, (5) водонепроникної заглибки для запобігання попаданню в дренажну систему поверхневої води та (6) водовипусків. Дренажування ґрунту активної зони земляного полотна здійснюють шляхом влаштування кювету чи підповерхневих колекторних дрен подібно до дренажу шару основи. Ефективним є проектування підповерхневого дренажу, який одночасно відводить воду з шару основи дорожнього одягу та активної зони земляного полотна.

В дренажах під дією зовнішнього тиску (горизонтального, вертикального) вода перетікає з області більш високого тиску в область меншого тиску, незважаючи на орієнтацію дренажного геосинтетичного полотна. До тискового відносяться вертикальні дрени для швидкої консолідації ґрунту, дрени в межах зворотної ґрунтової засипки армованих ґрунтових стінок, дрени в насипах і дамбах та під тимчасовим навантаженням.

Дренаж капілярпереривання влаштовують в місцях морозного зривання, набухання й засолення ґрунтів.

Конструкція дренажу основи дорожнього одягу наведена на рис. 2.12.

Обмеження стосуються фільтрів у геоконструктивних дренажах та аналогічні обмеження для фільтруючих геотекстилів. Стійкість дренажного ядра до повзучості при стиску та ефективності пропускання води при довготривалому навантаженні, що відповідає обтисненню дрени в ґрунтовому масиві, повинні моделюватись в лабораторних умовах.

Влаштування дренажів. До початку робіт розробляють детальний план укладання дренажних геосинтетиків.

Поверхню, на якукладають дренажні геоконструкції, слід звільнити від предметів, які можуть пошкодити геосинтетик (гостре каміння, корені та гілля дерев, будівельне сміття тощо) та потрібно достатньо вирівняти,

щоб не перешкоджати вільному протіканню води всередині дренаючого геокompозиту.

З'єднання полотен виконують в торець «ядро-ядро», а зовнішні геотекстильні фільтри вкладають з перепуском не менше ніж на 0,15 м з кожного боку полотна. Напрямок перекриття фільтруючих полотен повинен співпадати з напрямком засипання зернистого матеріалу.

Ядра з'єднують затискачами чи зв'язують полімерним шнуром через 1,0 м. Колір затискачів чи шнура повинен бути контрастним до кольору ядра для кращого контролю з'єднань, наприклад, чорне ядро – білий чи жовтий затискач.

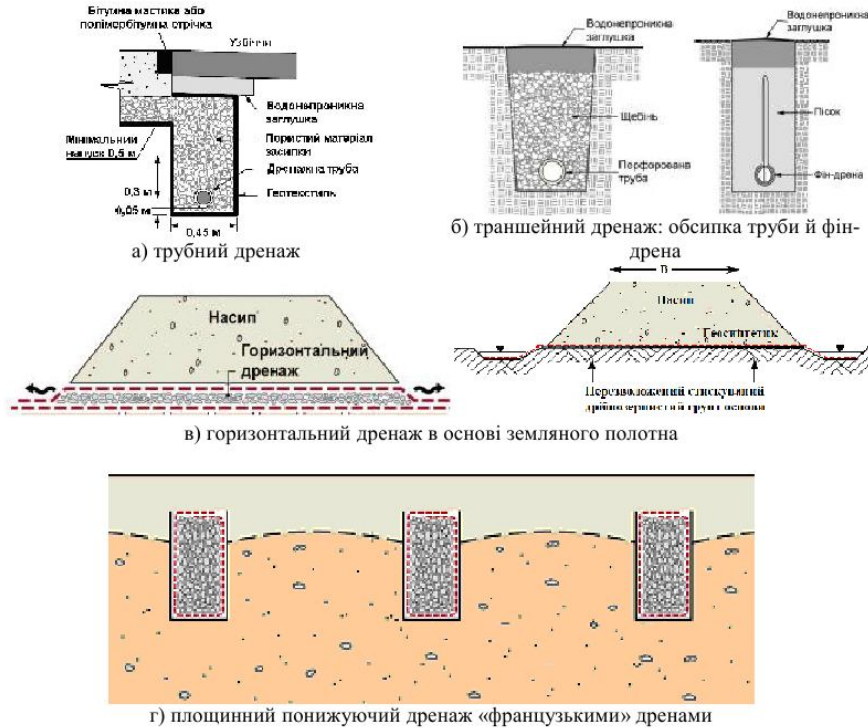


Рисунок 2.12 - Схеми закладання геосинтетиків для влаштування дренажу

Всі вкладені полотна перевіряють на відсутність пошкоджень до початку їх засипання зернистим матеріалом. Будь-які розриви, прориви, задирання тощо повинні бути ліквідовані й замінені латками, які в межах від 0,6 до 0,7 м перекривають розмір пошкодженої частини матеріалу. Латки повинні бути з такого ж геокompозитного матеріалу та з'єднані з основним полотном через кожні 15 см. Якщо пошкоджена площа перевищує 50 % ширини полотна, то видаляють ділянку на всю ширину рулону.

Якщо використовують крупнозернистий матеріал засипки, то його розвантажують на піщаний захисний та вирівнюючий шар товщиною від 6 см до 12 см, з послідовним розподіленням матеріалу засипки на геосинтетичне полотно. Для розподілення зернистого матеріалу на геосинтетичному полотні вибирають транспортні засоби з малим тиском на основу. Заїзд будівельної техніки на неприкрите геосинтетичне полотно заборонено. Мінімумально допустима товщина шару перекриття становить 0,2 м.

Ущільнення матеріалу перекриття виконують легким гладковальцевим котком. Якщо геосинтетичне полотно вкладають на основу малої несучої здатності (з модулем пружності на поверхні менше ніж 30 МПа), то нижній зернистий шар перекриття ущільнюють розподіляючим бульдозером чи автогрейдером і після цього гладковальцевим котком без вібрації. Наступні вищі шари перекриття ущільнюють гладковальцевим віброкотком. Не слід застосовувати розподіляючі й ущільнюючі машини, які залишають колю в зернистому шарі перекриття. Для уникнення колієутворення слід використовувати легку техніку.

Вимоги до влаштування траншейного дренажу:

- геокompозит потрібно вкладати із забезпеченням максимальної дренаючої здатності;
- при загортанні геотекстилю над дренаючим зернистим матеріалом величина перекриття полотен повинна становити не менше ніж 0,3 м. Після

загортання полотен вкладають ґрунт зворотної засипки і ущільнюють до необхідного стану (рисунок 2.13).

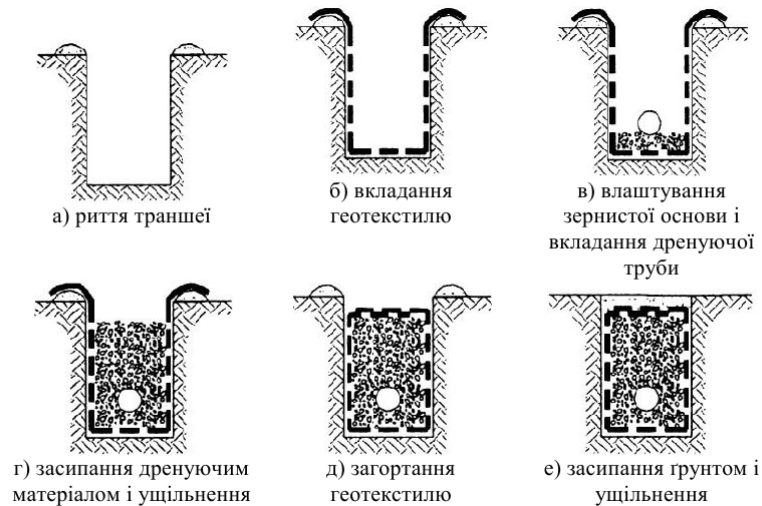


Рисунок 2.13 - Послідовність будівництва траншейної дрени із застосуванням геотекстилю

Влаштування дренажу в основі конструкції дорожнього одягу. Система включає в себе влаштування горизонтального площинного дренажу, прикромкових поздовжніх дрен (трубчастих, геокомпозитних чи фін-дрен) і бокових водовипусків. Встановлення прикромкових дрен можливе до чи після влаштування шарів покриття дорожнього одягу.

Вимоги до влаштування дренажних труб:

- глибина траншеї повинна бути такою, щоб верх труби був не менше ніж на 50 мм нижче основи дренажного зернистого шару дорожнього одягу;
- основу дорожнього одягу і дно траншеї вистеляють геосинтетичним полотном. Полотна вкладають таким чином, щоб їх перекриття співпадало з напрямком руху води;

- дренажні труби вкладають на зернисту основу, з'єднують з водовипусками і засипають зернистим матеріалом. Дренажна здатність матеріалу засипки повинна бути не меншою ніж дренажна здатність матеріалу основи дорожнього одягу. Ущільнення матеріалу засипки, яке виконують за допомогою ручного ущільнюючого обладнання (віброплити, ручні трамбовки), розпочинають коли товщина шару над трубою становить більше ніж 0,15 м.

Вимоги до вкладання прикромкових попередньо виготовлених дрен та фін-дрен:

- ширина траншеї під геокомпозитну дренажну трубу становить від 100 мм до 150 мм, глибина має бути достатньою для того, щоб верхній край дрени знаходився не менше ніж на 50 мм нижче нижньої грані шарів покриття;
- дренаж встановлюють вертикально при зовнішній стороні траншеї та приєднують до водовипусків до початку зворотного засипання;
- для зворотного засипання траншеї використовують крупнозернистий пісок для забезпечення щільного контакту між дренажним шаром основи і геокомпозитною дренажною;
- ущільнення матеріалу засипки виконують в помірному режимі зі зволоженням для уникнення пошкодження дрени.

Влаштування вертикальних дрен. Вертикальні дрени влаштовують за допомогою спеціального навісного обладнання, яке монтується на крані, що складається з оболонки (металевої труби ромбовидного перерізу), яка переміщується по направляючій стрілі та втискується в ґрунтову товщу (рисунок 2.14). Через оболонку зверху вниз проходить вертикальна дренаж і кріпиться до наконечника за допомогою спеціального затвору, який дозволяє заанкерувати кінець дрени в ґрунтовому масиві при вийманні оболонки. Глибина укладання дрени може сягати 40 м і більше. Схеми закладання вертикальних дрен наведено на рисунку 2.15.

Існує декілька способів занурення оболонки в ґрунтову товщу, які застосовують для встановлення вертикальних дрен: (1) вібрація, (2) статичне

навантаження, (3) забивання і (4) віброструменева перфорація. Вибір способу залежить від ґрунтово - геологічних умов і умов об'єкта будівництва.

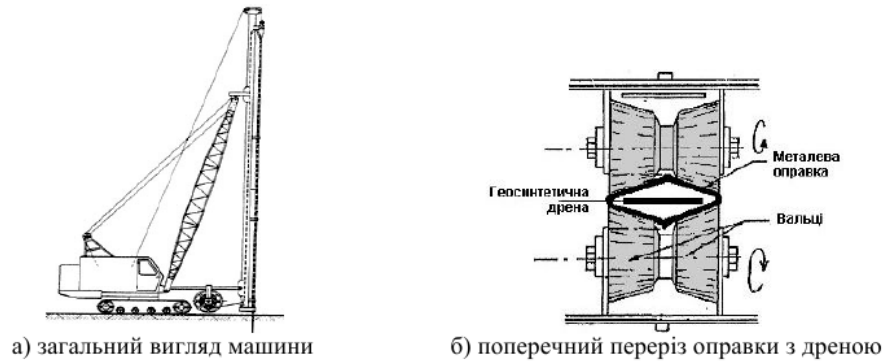


Рисунок 2.14 - Обладнання для встановлення вертикальних дрен

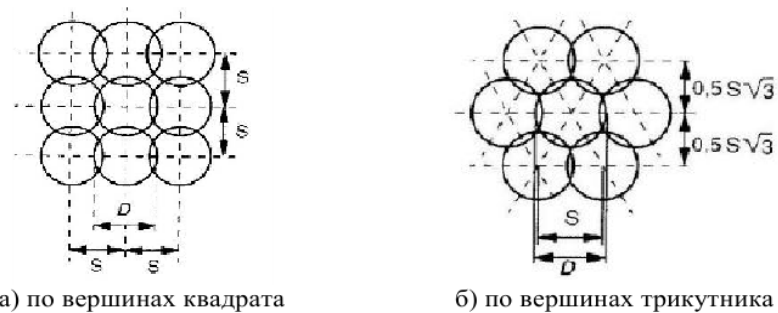


Рисунок 2.15 - Схеми закладання вертикальних геокомпозитних дрен (план)

Вібрацію застосовують в умовах слабкої основи. Роботи виконують легкими машинами. При необхідності підвищення несучої здатності основи, до початку встановлення вертикальних дрен влаштовують робочу платформу. Для цього на слабку основу вкладають розділюючий і фільтруючий геосинтетик, який перекривають шаром піску товщиною 0,5 м.

Швидкість встановлення вертикальних дрен за допомогою вібрації становить близько 1 м/с.

Якщо ґрунтова товща неоднорідна за геологічним складом і м'які пласти перемежуються порівняно твердими відкладеннями, то таку товщу більш ефективно проходити струменевою перфорацією разом з вібрацією.

Витрата води становить в середньому 2500 л/год при тиску 100 атм.

Занурення статичним навантаженням вимагає прикладання навантаження близько 50 т на оболонку з дренаю.

Забивання застосовують у випадках проходження ґрунтових товщ, перемежованих твердими відкладеннями. Використовують швидкохідні пневмо- чи гідромолоти з частотою від 300 до 600 ударів/хв. Такий метод, порівняно з вібрацією, є більш ефективним у складних ґрунтово-геологічних умовах.

Вертикальні дрени поставляють в бобінах. Ширина дрени переважно становить 10 м.

Після встановлення вертикальних дрен влаштовують горизонтальний дренаж в основі конструкції для відведення води за межі споруди. Якщо несуча здатність слабкої перезволоженої основи недостатня для заїзду будівельної техніки, то горизонтальний дренаючий шар відсипають до початку встановлення вертикальних дрен.

## 2.5 Розділення зернистих шарів геосинтетичними матеріалами

Розділючі геосинтетичні полотна запобігають змішуванню різних фракцій між собою зернистих матеріалів, суміжних із конструктивними шарами або з ґрунтом земляного полотна у дорожній конструкції. Залежно від жорсткості (загального модуля пружності) основи, на яку вкладають геосинтетик, крім розділення, можна додатково стабілізувати і підсилувати (армувати) конструкцію (табл.2.1). За наявності слабких ґрунтів (з модулем пружності менше 5 МПа) раціональним є використання

термоскріпленого геотекстилю максимальної міцності для розділення та армуючого геосинтетичного матеріалу (геоґратки чи геокомпозиту).

Таблиця 2.1 - Функції геосинтетичного матеріалу в конструкції залежно від жорсткості основи

Функція геосинтетика	Модуль пружності основи, МПа	
	в стані природної вологості	у водонасиченому стані
Розділення	не менше 80	не менше 30
Розділення зі стабілізацією	30–80	10–30
Розділення з підсиленням (армуванням)	не більше 30	не більше 10

Застосування розділяючих (підсилюючих і стабілізуючих) геосинтетиків є ефективним між крупно - і дрібнозернистими шарами конструкції дорожнього одягу, між конструкцією дорожнього одягу і ґрунтом земляного полотна, в основах тимчасових доріг, в основі насипу (особливо при високому рівні ґрунтових вод), між основою і ґрунтом тимчасового привантаження, при розширенні проїзної частини і під бермами навантаження, між ґрунтом основи і підпірною стінкою (жорсткою і нежорсткою), над основами, складеними лесовими, здимальними, набухаючими ґрунтами, які можуть перезволожуватися в окремі сезони року, під тротуарними плитами, фігурними елементами мощення (ФЕМами) чи бруківкою (рисунок 2.16).

Для розділення та розділення зі стабілізацією раціональним є використання геосинтетиків нетканинних термічно скріплених геотекстилів, які додатково задовольняють вимогам фільтрації. Для розділення з підсиленням доцільне застосування тканинних геотекстилів та геокомпозитів, що мають при деформації від 2 % до 5 % модуль пружності більше ніж 100 кН/м.

Конструювання розділяючого прошарку з застосуванням геосинтетичних матеріалів.

Геосинтетики для розділення вкладають в конструкцію полотнами. За необхідності забезпечити додатково стабілізацію чи підсилення, геосинтетики закладають у вигляді напівзамкнених та замкнених об'ємів (рисунок 2.17).

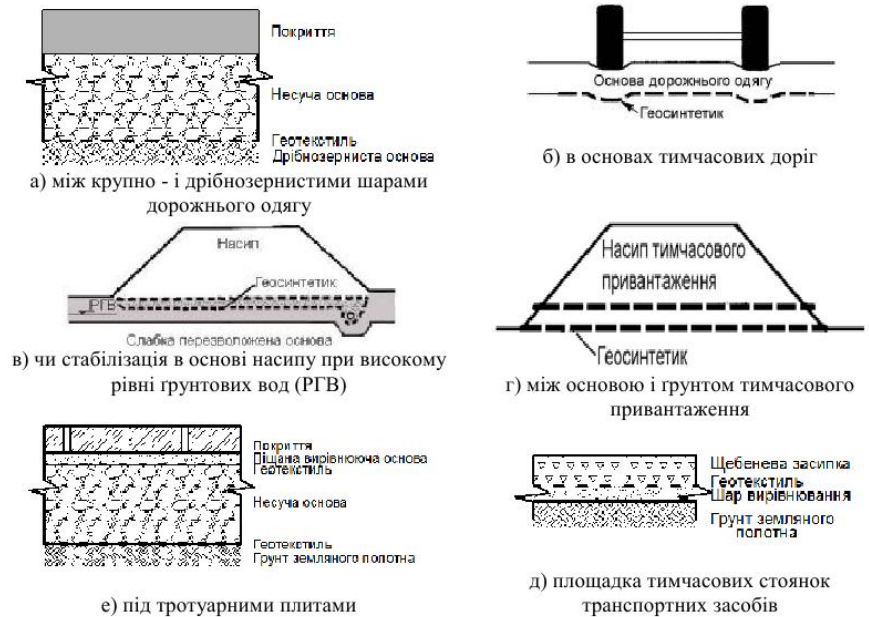


Рисунок 2.16 - Области застосування розділяючих та частково армуючих геосинтетичних матеріалів

При влаштуванні насипів на слабких основах геосинтетики для розділення вкладають в комбінації з ґратками, розташовуючи їх під армуючими матеріалами.

Жорсткі ґратки не повинні додатково розділяти окремі шари конструкції. Для отримання ефекту армування розмір вічок жорстких ґраток повинен забезпечувати заклинювання максимальної фракції  $D_{max}$  камяного матеріалу. Розмір отворів геоґратки повинен бути в 1,5-2,0 рази меншим від кам'яного

матеріалу  $D_{max}$ . Тривісноорієнтовані ґратки з перемінним розміром отворів слід використовувати для армування піщаних шарів.

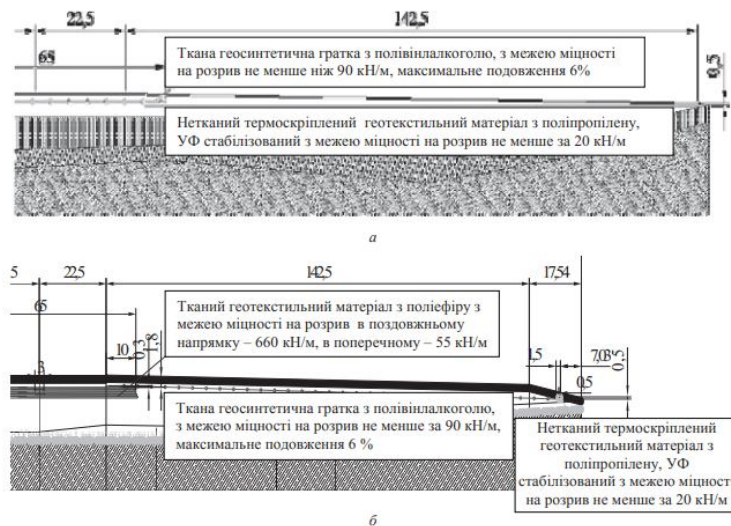


Рисунок 2.17 - Приклади закладання полотен геосинтетика в основу земляного полотна

Влаштування зернистих шарів з геосинтетичними прошарками.

Основа повинна бути підготовлена до початку вкладання геосинтетичних полотен: не містити брил, коріння дерев, будівельного сміття тощо. Нерівності поверхні повинні бути виправлені: перевищення - зрізані, пониження - засипані. Доцільною є пробна розкатка геосинтетика для виявлення дефектів основи.

Для основ особливо малої несучої здатності, таких, як торф'яні болота, слід уникати зняття верхнього шару, використовуючи міцність його кореневих переплетень.

Геосинтетичні полотна вкладають відповідно напрямку відсіпання зернистого шару перекриття. Заборонено тягнути полотно по основі до місця вкладання. Полотно повинно бути розстелено рівно без складок.

На горизонтальних кривих чи в місцях поворотів траси геосинтетик вкладають суцільним полотном з формуванням складок згідно з рисунком 2.18 а), чи окремими полотнами згідно з рисунком 2.18 б).

Напрямок складок і напусків повинен узгоджуватись з напрямком засипання геосинтетичних полотен. Місця напусків полотен скріплюють скобами чи фіксують нагелями з кроком від 2 м до 2,5 м.

На примиканні до існуючих об'єктів (конструкцій) чи їх перетині геосинтетичне полотно розстеляють до краю існуючої конструкції.



Рисунок 2.18 - Схема вкладання розділяючого геосинтетика в місцях поворотів траси

РОЗДІЛ 3  
 КОНСТРУЮВАННЯ ПОКРИТТЯ ДОРОЖНЬОГО ОДЯГУ З  
 ЗАСТОСУВАННЯМ ГЕОСИНТЕТИЧНИХ МАТЕРІАЛІВ

3.1 Армування конструкцій дорожнього одягу нежорсткого типу геосинтетичними матеріалами

Армуючи синтетичні матеріали (АСМ), застосовують:

- для перерозподілу зусиль в конструкції дорожнього одягу;
- для підвищення довговічності та запобігання тріщиноутворенню в асфальтобетонних шарах;
- для підвищення несучої здатності та збільшення терміну служби конструкції в цілому;
- для запобігання утворенню відображених тріщин в покритті на тріщинувато-блочній основі.

Завдяки застосуванню АСМ в пакеті асфальтобетонних шарів досягають:

- зменшення колійності;
- зменшення тріщиноутворення від втоми;
- зменшення товщини шарів підсилення;
- зменшення кількості відображених тріщин.

Перед влаштуванням покриття необхідно повністю закінчити спорудження основи дорожнього одягу, яка повинна відповідати вимогам 21.1 – 21.4 ДБН В.2.3-4. Розрахунок конструкції дорожнього одягу з АСМ в новому будівництві виконують з урахуванням вимог [5].

Для проектування підсилення дорожньої конструкції за допомогою АСМ враховують такі вихідні дані: аналіз типів дефектів існуючого покриття, їх кількість і значимість; фактичну і перспективну інтенсивність руху та склад транспортного потоку для встановлення сумарної приведеної до розрахункової осі інтенсивності руху; міцність, жорсткість

(деформативність), товщину і неоднорідність існуючого та нових шарів конструкції; спосіб укладання АСМ; тип в'язучого і зчеплення АСМ із асфальтобетонними шарами. Розташування в конструкціях матеріалів, кількість необхідних шарів встановлюють згідно з вимогами до несучої здатності запроектованої конструкції та міцності АСМ згідно з вимогами [4].

Функції АСМ при ремонтах дорожньої конструкції і методи їх з'єднання з конструктивними шарами визначають відповідно до таблиць 3.1 і 3.2.

Таблиця 3.1 – Функції АСМ, призначених для ремонтів асфальтобетонних покриттів

Вид АСМ	Спосіб з'єднання		
	армування	поглинання напруження (при значному видовженні та контрольованому зменшенні зчеплення)	ізоляція від вологи та опадів
Геотекстиль	-	XX	XX
Ґрати	X, XX1)	-	X2)
Геокомпозит (підложка+ґратка)	X, XX1)	XX	XX

1) ефективність армування залежить від виду матеріалу та температури шарів на контакті з АСМ.  
 2) використовують тільки для полімерних ґраток або ґраток із скловолкна, оброблених органічним в'язучим із закріпленням дюбелями на поверхні.  
 Примітка. X – матеріал ефективний; XX – матеріал дуже ефективний.

Таблиця 3.2 – Способи з'єднання АСМ з конструктивними шарами

Вид АСМ	Спосіб з'єднання				
	розлив бітуму в кількості 0,65–0,85 кг/м <sup>2</sup>	розлив бітуму в кількості 0,85–1,2 кг/м <sup>2</sup>	розлив бітумної емульсії в кількості 0,9–1,6 кг/м <sup>2</sup>	прибивання цвяхами або дюбелями	самоприлипання
Геотекстиль		+			
Ґрати	+		+	+	+
Геокомпозит (підложка+ґратка)	+	+	+		



Конструювання виконують відповідно до типових схем згідно з рисунками 3.1 – 3.4.

Армування напівжорсткого дорожнього одягу з жорсткими прошарками (рисунок 3.1) виконують при ремонті існуючих основ із тріщинами для зменшення ймовірності проявлення відображених тріщин в шарах асфальтобетонного покриття. При цьому смуги армуючих ґраток вкладають на шар вирівнювання після розливу органічного в'язучого згідно з таблицею 3.3, на ширину, що на 25 см більша від діаметра чаші прогину поверхні від рухомого навантаження (чашу прогину визначають розрахунком згідно з рішенням теорії пружності або експериментально за результатами штампових випробувань) (рисунок 3.1).

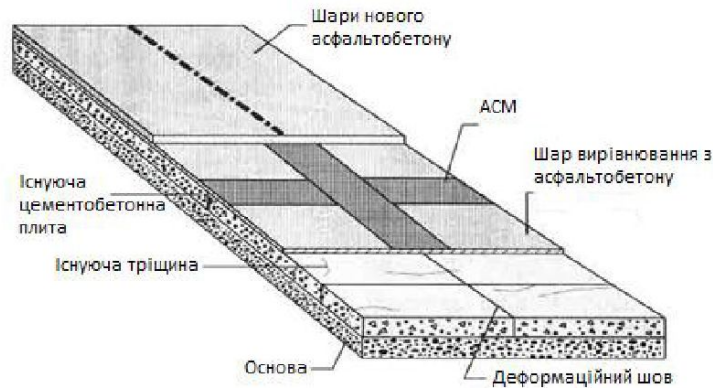


Рисунок 3.1 - Схема армування при ремонті дорожнього одягу напівжорсткого типу

Армування нежорсткого дорожнього одягу (рисунок 3.2) виконують на відремонтованих ділянках (де була ямковість, просадки, блокові тріщини тощо) для зменшення ймовірності проявлення відображених тріщин та підвищення довговічності асфальтобетонного покриття з локальним ремонтом окремих дефектів та руйнувань.

Таблиця 3.3 – Норми витрат бітуму для підґрунтовки

Клас шорсткості	Шорсткість покриття за методом піщаної плями, мм	Текстура покриття основи	Орієнтовна норма витрат бітуму для підґрунтовки АСМ, кг/м <sup>2</sup>	
			ґраток	геокомпозитів
4	0,8–1,2	Крупнозерниста	0,90–1,15	0,95–1,20
3	0,4–0,8	Середньозерниста	0,85–1,10	0,90–1,15
2	0,2–0,4	Дрібнозерниста	0,75–1,05	0,80–1,10
1	< 0,2	Піщана	0,65–1,00	0,70–1,05

**Примітка 1.** Норми витрат бітуму уточнюють на місці виконання робіт за результатами пробної приклейки АСМ. Методика оцінки сили зчеплення АСМ з основою наведена в додатку В.  
**Примітка 2.** При розподілі бітуму розбризуванням форсунками норма витрат може бути зменшена.  
**Примітка 3.** Для якісного розподілення в'язучого необхідно розділити його на дві частини: 2/3 від загальної витрати – під АСМ, а решту розподілити поверх укладеного АСМ.

Армування шарів напівжорсткого та нежорсткого дорожнього одягу (рисунок 3.3 – 3.4) при реконструкції виконують на всю ширину покриття для зменшення ймовірності проявлення відображених тріщин та збільшення довговічності покриття.

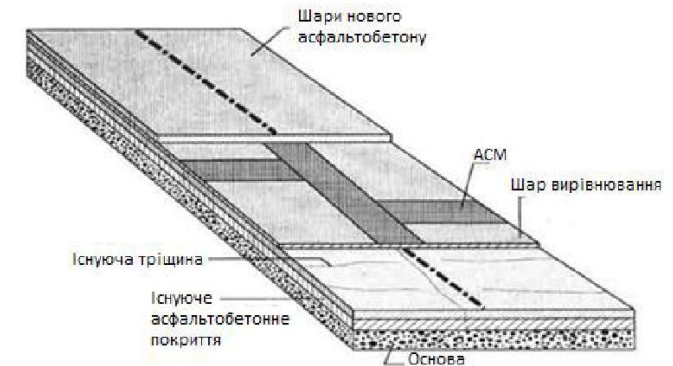


Рисунок 3.2 – Схема армування при ремонті дорожнього одягу напівжорсткого типу

Вирівнювання шаром дрібнозернистого асфальтобетону під АСМ виконують завжди при фрезеруванні існуючої поверхні та незабезпеченій рівності поверхні існуючої основи (рисунок 3.1 – 3.4).

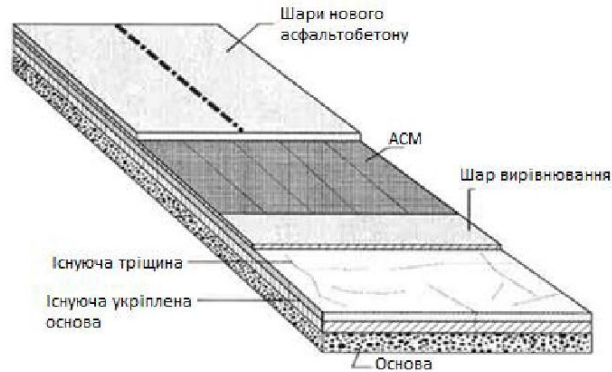


Рисунок 3.3 – Схема армування при реконструкції шарів дорожнього одягу напівжорсткого типу



Рисунок 3.4 – Схема армування при реконструкції шарів дорожнього одягу напівжорсткого типу

На укладений АСМ вкладають асфальтобетонний шар, згідно з розрахунком, товщиною, в залежності від дорожньо-кліматичної зони України, але:

- не менше ніж 12 см для зони У-І;

- не менше ніж 10 см для зон У- II – У-III;

- не менше ніж 8 см для зон У-IV.

Для будівництва магістральних вулиць та доріг високої якості і доріг з рухом великовантажних транспортних засобів, які є причиною утворення колій і відображених тріщин, слід використовувати щебенево-мастиковий асфальтобетон (ЩМА) згідно з ДСТУ Б В.2.7-127 та традиційні склади згідно з ДСТУ Б В.2.7-119, приготовлені з використанням або з добавкою природного асфальту, або з бітуму, модифікованого полімерами згідно з ДСТУ Б В.2.7-135.

3.2 Влаштування армованих геосинтетичними матеріалами шарів конструкції дорожнього одягу нежорсткого типу

При використанні АСМ в асфальтобетонних покриттях додаткові вимоги до матеріалів шарів конструкції дорожнього одягу не висуваються. Органічні в'язучі, що застосовують для підгрунтовки повинні відповідати вимогам: бітуми – ДСТУ 4044, бітумні емульсії – ДСТУ Б В.2.7-129, модифіковані бітуми – ДСТУ Б В.2.7-135. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон повинні задовольняти вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

Щебенево-мастикові суміші та асфальтобетон повинні відповідати вимогам ДСТУ Б В.2.7-127.

В якості АСМ використовують ґратки та композитні армуючі матеріали відповідно до вимог нормативних документів та законодавства.

Для армування асфальтобетонного покриття нежорстких дорожніх одягів використовують АСМ на основі полімерних волокон.

Вибір типу АСМ виконують із співвідношення між розмірами вічок  $l_{віч}$  та найбільшим діаметром часток заповнювача  $d_{max}$  (відношення  $d_{max}/l_{віч} \geq 2,0-2,5$ ) та відповідно до величини діючих напружень розтягу при згині та зрізі.

Таблиця 3.3 – Характеристики волокон для виробництва АСМ

Волокна	Стійкість до руйнування (г/день)		Поверхнева щільність, г/м <sup>2</sup>	Вологість, %	Коефіцієнт лінійного теплового розширення (x10 <sup>-5</sup> на 1°С)	Температура плавлення, °С
	Середнє значення зразка в сухому стані	Середнє значення у водонасиченому стані				
1	2	3	4	5	6	7
Поліпропілен (філамент і нитка) (для підложки)	4,8-7,0	4,8-7,0	0,91	3,0	6	від 160 °С до 170 °С
<b>Поліефір</b>						
Філамент нормальної міцності при розриві	4,0-5,0	4,0-5,0	1,22 або 1,38	0,4 або 0,8	4-5	від 250 °С до 290 °С
Філамент високої міцності при розриві	6,3-9,5	6,2-9,4				
Нитка нормальної міцності при розриві	2,5-5,0	2,5-5,0				
Нитка високої міцності при розриві	5,0-6,5	5,0-6,4				
<b>Поліамід</b>						
Поліамід 66 (філамент нормальної міцності при розриві)	3,0-6,0	2,6-5,4	1,14	4,0-4,5	5,5	приблизно 260 °С
Поліамід 66 (філамент високої міцності при розриві)	6,0-9,5	5,0-8,0				
Поліамід 66 (нитка)	3,5-7,2	3,2-6,5				
Поліамід 6 (філамент)	6,0-9,5	5,0-8,0		4,5	5,0	не нижче 210 °С
Поліамід 6 (нитка)	2,5	2,0		4,5	5,0	від 160 °С до 220 °С

Для забезпечення максимального зв'язку шарів асфальтобетону, між якими укладають АСМ, відношення площі зайнятої ребрами АСМ до загальної площі ґраток (відкритість структури) повинно бути більше ніж 75%.

Для армування рекомендовано використовувати АСМ з міцністю не менше ніж 50 кН/м для доріг I та II категорії, та не менше ніж 40 кН/м для доріг III–IV категорії. При відповідному техніко-економічному обґрунтуванні можна використовувати АСМ з міцністю більше ніж 100 кН/м.

Для забезпечення ефективного використання АСМ його видовження при розтягу не повинно перевищувати максимального видовження при розриві композиту (асфальтобетон та АСМ), яке становить (6 – 12) % в залежності від виду полімеру та температури випробування. Робота

асфальтобетонного покриття в пружній стадії зворотних деформацій забезпечується при видовженні АСМ в межах (3–6) %.

Поверхневий (неглибокий) ремонт поперечних відображених тріщин з використанням АСМ застосовують для уповільнення розвитку відображених тріщин в асфальтобетонних шарах, коли крайки тріщин достатньо міцні, а фрезерування шарів покриття на всій довжині ділянки не обов'язкове якщо площа окремих руйнувань менша 10% від загальної площі поверхні покриття.

Порядок виконання поверхневого ремонту (рисунок 3.5):



Рисунок 3.5 – Схема поверхневого ремонту поперечних відображених тріщин та аварійний ремонт

- локальне фрезерування асфальтобетонного шару покриття вздовж тріщини смугою шириною 1 м і на глибину, яка на 3 см перевищує товщину верхнього шару асфальтобетонного покриття;
- розкриття тріщини фрезою до ширини не менше 12 мм і глибини 15 мм та заповнення тріщини емульсією або мастикою;
- за необхідності влаштування вирівнюючого шару із дрібнозернистого асфальтобетону і його укладання;

- розливання підгрунтовки по фрезерованій поверхні або шару 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 врахуванням зміни ущільнюваності при укоченні асфальтобетону);
- ущільнення асфальтобетонної суміші до необхідного коефіцієнта ущільнення  $K_{ущ} = 0,98$ .

Ремонт відображених тріщин з використанням АСМ застосовують в разі недостатньої міцності основи (розтріскана основа, укріплена цементом, пісний бетон, цементобетон дроблений віброрезонансним методом тощо), недостатньої міцності крайок та недостатньої несучої здатності конструкції. Цей ремонт може включати заміну основи та може бути використаний для локальних ремонтів тріщин втоми (тріщини типу "крокодилова шкіра").

Порядок виконання ремонту (рисунок 3.6):

- локальне фрезерування шару (шарів) асфальтобетонного покриття вздовж тріщини смугою шириною 2м на глибину, яка на 3см нижче шару покриття;
- фрезерування нижніх шарів конструкції дорожнього одягу на ширину не менше ніж 1 м і 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 не менше 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 під АСМ;
- розподілення (розлив або розбризкування) підгрунтовки та укладання шарів АСМ;
- герметизація вертикальних стінок фрезерованої смуги бітумом, емульсією, мастикою або самоклеючими полімер-бітумними стрічками.

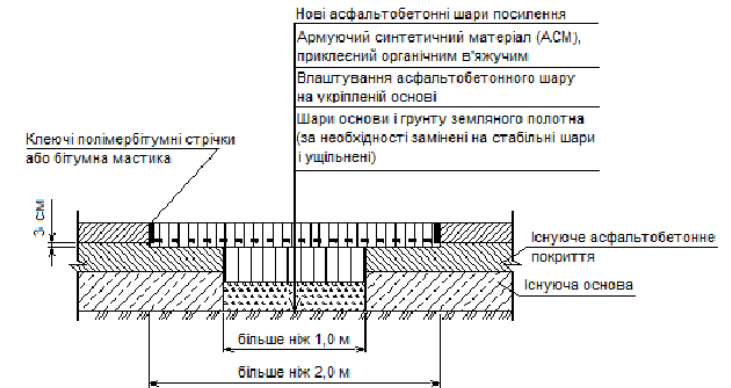


Рисунок 3.6 – Схема ремонту наскрізних тріщин у конструкції дорожнього одягу

Для підсилення конструкції новим асфальтобетонним шаром поверх відремонтованого місця вкладають полотно АСМ шириною 3м на підгрунтовку (рис. 3.7).

Використання АСМ при поширенні конструкції дорожнього одягу або перебудові узбіччя, має за мету запобігання утворенню на поверхні проїзної частини поздовжніх тріщин, відображених тріщин або поздовжніх швів в місцях з'єднання існуючої проїзної частини з конструкцією дорожнього одягу на ділянці розширення або укріплення узбіччя. Спосіб розширення конструкції дорожнього одягу або укріплення узбіччя з використанням АСМ виконують згідно з рисунком 3.8.

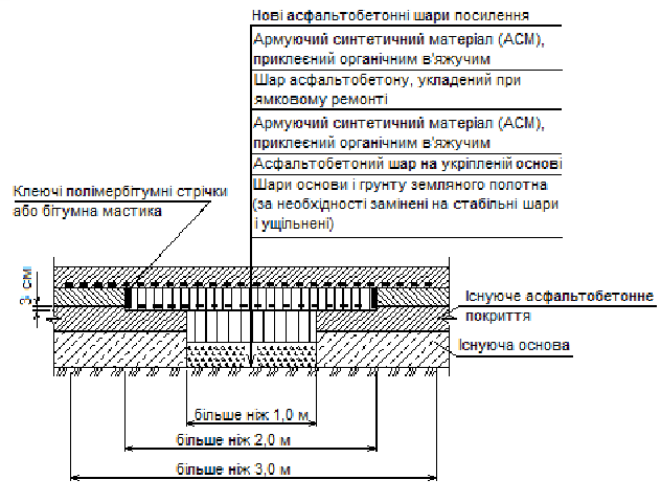


Рисунок 3.7 – Схема ремонту наскрізних тріщин та підсилення конструкції дорожнього одягу новими асфальтобетонними шарами



Рисунок 3.8 – Схема поширення конструкцій дорожнього одягу з використанням АСМ (вигляд у поперечному напрямку)

3.3 Обґрунтування вибору базальтового полотна для улаштування водовідвідного і армуючого прошарку у запроєктованій конструкції дорожнього одягу

Геосинтетичні матеріали (ГМ) – це матеріали, які використовуються в контактi з асфальтобетонними або нижчерозташованими шарами дорожнього одягу, виготовлені з полімерів різних типів, базальту або скловолокна та виконують функції армування, фільтрування і дренажування.

Властивості геосинтетичних матеріалів повинні відповідати вимогам ГБН В.2.3-37641918-544:2014.

На ділянках дорiг з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування з улаштованим покриттям із пористого (дренуючого) асфальтобетону, геосинтетичні матеріали використовуються для водовідведення на укiсну частину поверхневої води з проїзної частини через шар покриття, забезпечуючи тим самим очищення її від надлишкової води та забезпечення безпеки руху транспортних засобів.

Одночасно такий прошарок виконує функцію армування (підсилення) дорожнього одягу.

В Україні є значний досвід використання ГМ, виготовлених із базальтової сировини шляхом плавлення гірської породи – базальту.

Роботи щодо дослідження і використання ГМ на основі базальтового безперервного волокна (ББВ) активно проводились з 1999 року ДП «ДерждорНДІ», НДІ Склопластиків і волокна, смт. Буча, НДІ Будівельних конструкцій тощо. Цими установами рекомендувались базальтові матеріали для укладання як армуючі, дренажні та розділюючі прошарки при реконструкції таких важливих об'єктів як автомобільні дороги Київ-Одеса, Київ-Чоп, під'їзд до Міжнародного аеропорту «Бориспіль» тощо.

Відомо [89-94], що ББВ мають високі міцнісні характеристики, хімічну та термічну стійкість, морозостійкість. Використання таких матеріалів дає

можливість забезпечити високу адгезію до нижче розташованого шару, стійкість дорожніх покриттів із пористого асфальтобетону до дії навантажень, забезпечить відвід води, що буде просочуватись при випаданні дощу, тобто довговічність протягом міжремонтного терміну служби покриття.

Результатом виконаних досліджень було виготовлення на заводі Теплозвукоізоляції суцільного базальтового полотна марки ПСБП-Д (полотно суцільне базальтове дорожнє) просочене полімерним в'яжучим, вимоги до якого наведені в ТУ У 600209775.070 та полотно ПБ-550 (ниткопрошивне, полотно базальтове щільністю 550 г/м<sup>2</sup>) для будівництва доріг в складних геологічних умовах (болотиста місцевість, зсувні ділянки тощо).

На ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування рекомендується до використання полотна марки ПСБ-Д (просочене).

Основні технічні характеристики ПСБ-Д наведені в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Технічні характеристики полотна базальтового ПСБ-Д

Найменування характеристик ПСБ-Д (просочене)	Показники
Розривне навантаження, МПа	
по ширині	120,0
по довжині	120,0
Щільність, г/см <sup>3</sup>	250 ±10
Подовження при розриві під дією навантаження, %	2,5-3,0

Базальтове суцільне полотно ПСБ-Д (просочене) використовувалось для підсилення шарів основи нежорсткого дорожнього одягу на дорогах Київ-Одеса, Київ-Харків-Довжанський для розділення шарів основи і

грунту земляного полотна автомобільної дороги Львів-Чоп, Кіпті-Глухів-Бачівськ, при капітальному ремонті автомобільної дороги Львів-Чоп та на інших об'єктах.

Важливим об'єктом, де використовувався цей матеріал, була дорога обхід м.Чернівці, для розділення шарів основи (піщано-гравійної суміші) і грунту земляного полотна (суглинки легкі перезволожені).

У зв'язку з складними ґрунтово-гідрологічними умовами, наявністю водостоків та глинистих ґрунтів, високим ухилом до 70 промілей, висотою насипу до 9 м, глибиною виїмки 6 м ДП «ДерждорНДІ» було рекомендовано використовувати тільки ткани геотекстильні матеріали, які в порівнянні з нетканими мають високу розривну міцність, низьке подовження при розриві і меншу деформативність.

При розділенні шарів, армуванні з одночасним покращенням умов дренажування ПСБ-Д укладали на всю ширину із загином (в об'їму), смуги матеріалу у виїмку укладались поперечно на всю глибину з перекриттям смуг на 20 см без виводу на відкисну частину.

На сьогодні стан автомобільної дороги обхід м.Чернівці з ПСБ-Д (просочене) задовільний.

Досвід експлуатації свідчить, що армування шарів дорожнього одягу ПСБ-Д (просочене) позитивно впливає на транспортно-експлуатаційний стан покриття, відсутня колійність, вибоїни, уповільнюється процес появи і розвитку тріщин.

Враховуючи позитивний досвід використання ПСБ-Д (просочене), вирішено використати цей матеріал для відведення поверхневої води на ділянках з підвищеним рівнем небезпеки аквапланування транспортних засобів.

Таким чином, вкладання арматурного прошарку з геотекстилю спричиняє комплексний ефект: забезпечення міцності і стійкості всієї конструкції (особливо в стиснених умовах, на слабких ґрунтах), та доведена можливість використання у Запорізькому регіоні.

### 3.4 Розрахунок конструкції дорожнього одягу

Розрахунок конструкції дорожнього одягу автомобільної дороги Дніпро-Запоріжжя проводився за допустимим пружним прогином згідно з вимогами ВБН В.2.3-218-186.

Конструкція дорожнього одягу відповідає вимогам надійності і міцності за критерієм пружного прогину, якщо:

$$K_{мц} \leq \frac{E_{заг}}{E_{потр}}, \quad (3.1)$$

де,  $K_{мц}$  – коефіцієнт міцності дорожнього одягу для дороги III технічної категорії з капітальним типом дорожнього одягу  $K_{мц} = 1,33$ ;

$E_{заг}$  – загальний модуль пружності дорожньої конструкції;

$E_{потр}$  – потрібний модуль пружності з урахуванням типу покриття та інтенсивності дії навантаження ( $E_{потр}=225$  МПа).

Розрахункові показники наведені в таблиці 3.1.

До розрахунку прийнята величина модуля пружності на поверхні шару земляного полотна  $E_{тр}=40$  МПа.

Розрахунок ведеться пошарово за допомогою номограм, які зв'язують відношення  $E_2/E_1$  – модулі пружності верхнього і нижнього шарів, відносну товщину  $h_i$  шару до діаметру навантаженої площини  $D$ , тобто  $h/D$  і відношення загального модуля пружності на поверхні двох шарової системи до модуля пружності верхнього шару  $E_{заг} / E_1 - E_i$ .

Параметри до розрахункової схеми, що визначені згідно з розрахунковими показниками, наведених в таблиці 3.5, наведені в таблиці 3.6.

$$K_{мц} \leq \frac{504}{225} = 2,42.$$

$$K_{мц} = 2,42 > K_{мц} = 1,33.$$

Умова виконана. Дорожня конструкція відповідає вимогам надійності і міцності.

Таблиця 3.5 - Розрахункові показники конструктивних шарів дорожнього одягу на дослідній ділянці автомобільної дороги

Номери шарів	Матеріал шару	Розрахункові показники, Е,МПа
1	2	3
1	Асфальтобетон АСГ.Др.П.А-Б.НП.І.БНД 60/90	2800
2	Асфальтобетон АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І.БНД 60/90	3200
3	Щебенево-піщана суміш ЩПС 40 (оброблена цементом), марка матеріалу М20 згідно з ДСТУ-Н Б В.2.3-39	700
4	Щебенево-піщана суміш С-5 згідно з ДСТУ Б В.2.7-30	180
5	Пісок крупнозернистий згідно з ДСТУ Б В.2.7-32-95	100
6	Ґрунт земляного полотна – суглинок важкий пілуватий	40

Таблиця 3.6 - Параметри до розрахункової схеми конструкції дорожнього одягу

Е/Е	Н/Д	Еі	Епотр
-	-	40	-
0,40	0,540	58	-
0,322	0,540	91	-
0,130	0,405	168	-
0,052	0,270	288	-
-	-	432	-
0,154	0,135	504	225

3.5 Розрахунок ефективності армування дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтобетону та базальтового суцільного полотна марки ПСБП-Д (просочене)

Розрахунок ефективності армування дорожньої конструкції з покриттям із пористого асфальтобетону і укладанням під шар покриття прошарку ПСБ-Д (просочене) виконувався згідно з вимогами ВБН В.2.3-218-186.

Лінійний коефіцієнт армування визначається за залежністю:

$$K_A = \sqrt{\frac{(1 - \mu_{a/\bar{\sigma}}) \cdot E_a}{(1 - \mu_a) \cdot E_{a/\bar{\sigma}}}} \quad (3.2)$$

де

$E_{a/\bar{\sigma}}$  та  $\mu_{a/\bar{\sigma}}$  модуль пружності асфальтобетонного шару і його коефіцієнт Пуасона ( $\mu_{a/\bar{\sigma}}=0,3$ );

$E_a$  та  $\mu_a$  – лінійний модуль пружності армуючого прошарку та його коефіцієнт Пуасона ( $\mu_a=0,4$ ).

Лінійний модуль пружності армуючого прошарку визначається за формулою:

$$E_a = 500 \cdot \left( \frac{R_a}{\varepsilon_p} \right)^{1/3} \quad (3.3)$$

$R_a$  – міцність при розриві ПСБ-Д – 120 кН/м;

$\varepsilon_p$  – відносне подовження при розриві у частках одиниці ( $\varepsilon_p=0,05$ );

500 – коефіцієнт приведення розмірностей.

$$E_a = 500 \cdot \left( \frac{120}{0,05} \right)^{1/3} = 6515 \text{ МПа};$$

Тоді лінійний коефіцієнт ефективності армування ( $K_A$ ) дорівнює:

$$K_A = \sqrt{\frac{(1 - 0,3) \cdot 6515}{(1 - 0,4) \cdot 2800}} = 1,58;$$

Еюра модуля пружності армованого асфальтобетону в межах активної зони армування визначається за формулою:

$$F_a = \int_0^H E(z) dz; \quad (3.4)$$

де  $E(z)$  - зміна модуля пружності в межах активної зони армування.

$$E_z = E_{a/\bar{\sigma}} \left\{ 1 + \frac{(K_{e\phi} - 1)z}{H} \ln e^{\frac{z}{h}} \right\}, \quad (3.5)$$

де  $H$  – товщина активної зони армування, що визначається за формулою:

$$H = 1,5d \quad (3.6)$$

де  $d$  – розмір максимальної кам'яної фракції в асфальтобетоні, см

$$H = 1,5 \cdot 4 = 6,0 \text{ см.}$$

$$F_a = \int_0^6 2800 \left( 1 + \frac{(1 \cdot 58 - 1)z}{6} \ln e^{\frac{z}{6}} \right) dz = 15840 \quad (3.7)$$



Площа епюри модуля пружності неармованого асфальтобетону в межах активної зони армування дорівнює ( $F_H$ ):

$$F_H = \int_0^h E_{a/6}(z) dz = \int_0^h 2800 dz = 11700 \quad (3.8)$$

Коефіцієнт ефективності армування за модулем пружності дорівнює:

$$K_A = \frac{F_a}{F_H} = \frac{15840}{11700} = 1.35 \quad (3.9)$$

Модуль пружності нижнього армованого шару асфальтобетону крупнозернистого товщиною  $h = 10$  см визначається із формули:

$$E_{a/6} = \frac{K_A \cdot E_{a/6} \cdot H + E_{a/6} (h - H)}{h} = \frac{1,35 \cdot 3200 \cdot 6 + 3200 (10 - 6)}{10} = 3872 \text{ МПа} \quad (3.10)$$

При новому значенні модуля пружності нижнього армованого шару асфальтобетону, модуль пружності верхнього шару становитиме:

$$E_B = \frac{2400 \cdot 6 + 3872 \cdot 10}{16} = 3320 \text{ МПа} \quad (3.11)$$

За номограмою [124] визначається напруження розтягу при згині  $\sigma_r$  у верхньому шарі дорожнього одягу:

$$\sigma_r = 1,55.$$

Тоді розрахункове напруження розтягу при згині становитиме:

$$\sigma_r = \sigma_r \cdot p \cdot K_\delta \quad (3.12)$$

$p$  – розрахунковий тиск на покриття, МПа;

$p = 0,6$  для навантаження групи А2;

$K_\delta$  – коефіцієнт, що враховує особливості напруженого стану покриття під колесом автомобіля зі спареними балонами,  $K_\delta = 0,85$ :

$$\sigma_r = 1,55 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,791 \text{ Мпа}$$

Тоді перевіряється умова:

$$K_{\text{мц}} \leq \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r}, \quad (3.13)$$

де  $R_p$  – міцність матеріалу при багаторазовому розтягу:

$$R_p = R_{\text{лаб.}} \cdot K_m \cdot K_{k.n} \cdot K_T \quad (3.14)$$

де  $R_{\text{лаб.}}$  – границя міцності на розтяг при згині для пористого асфальтобетону на бітумі БНД 60/90,  $R_{\text{лаб.}} = 8,0$  МПа згідно [124] Додаток Е, таблиця Е1;

$K_m$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності в часі від дії погодних-кліматичних умов,  $k_m = 0,75$ ;

$K_{k.n}$  – коефіцієнт, що враховує зниження міцності матеріалу в результаті температурно-усадкових впливів,  $k_T = 0,80$ ;

$K_T$  – коефіцієнт, що враховує короткочасність та повторюваність навантажень на дорозі:

$$K_{k.n} = K_{np} \cdot \sum N^{-(\frac{1}{m})}, \quad (3.15)$$

де  $K_{np}$  – коефіцієнт, що враховує вплив повторних навантажень у нерозрахунковий період,  $K_{np} = 7,2$ ;

$m$  – показник втоми,  $m = 4,5$ ;

$\sum N$  – сумарна інтенсивність руху;

$$K_{k.n} = 0,4$$

Тоді  $R_p = 8,0 \cdot 0,75 \cdot 0,80 \cdot 0,4 = 1,92$ .

Перевіряється умова:

$$K_{ми} = \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r} = \frac{1,35 \cdot 1,92}{0,791} = 3,27$$

$$1,33 \leq \frac{K_A \cdot R_p}{\sigma_r} = \frac{1,35 \cdot 1,92}{0,791} = 3,27$$

Армована дорожня конструкція збільшує свою міцність у 2,5 рази.

Таким чином, розрахована дорожня конструкція з покриттям із пористого асфальтового бетону з укладанням базальтового суцільного полотна марки ПСБ-Д (просочене) відповідає всім критеріям міцності.

Ефективність армування заключається в забезпеченні надійності і міцності дорожньої конструкції протягом нормативного терміну експлуатації із забезпеченням відведення води з поверхні покриття.

Армування ґрунтового масиву геосинтетиками перетворює його в міцне тверде тіло анізотропної будови, подібної до будови штучних композитних матеріалів. Принцип роботи армоґрунту оснований на можливості поєднання ґрунту і арматурних елементів (геосинтетиків), що змонтовані так, щоб зменшити напруження розтягу, які можуть виникати в ґрунті під дією сил гравітації чи зовнішнього навантаження і передати їх за допомогою сил зчеплення на геосинтетичний прошарок, який добре сприймає зусилля розтягу.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

#### 4.1 Вимоги безпеки і охорони праці

Геосинтетики повинні відповідати вимогам нормативних документів на продукцію та законодавству України.

Геосинтетичні матеріали при звичайних умовах є:

- нетоксичними речовинами;
- не викликають подразнень верхніх дихальних шляхів та шкіри.

За ступенем впливу на організм людини відносяться до мало небезпечних речовин (IV клас) згідно з ГОСТ 12.1.007. Робота з ними не вимагає особливих засобів індивідуального захисту.

В процесі робіт з використанням геосинтетичних матеріалів необхідно дотримуватись вимог безпеки згідно з ГОСТ 12.3.002, НПАОП 63.21-1.01, СП 1042-73, ДБН А.3.2-2, ДСТУ 4044, ДСТУ Б А.3.2-8 та ДСТУ Б А.3.2-9.

Групу горючості полімерних геосинтетичних матеріалів визначають згідно з ДСТУ Б В.2.7-19. Полімерні геосинтетичні матеріали повинні належати до групи горючих матеріалів не нижче ніж Г2.

Під час роботи з геосинтетичними матеріалами необхідно дотримуватись вимог пожежної безпеки згідно з ГОСТ 12.1.004, НАПБ А 01.001. Перед початком робіт проводять інструктаж з правил пожежної безпеки (ППБ) згідно з НАПБ Б.02.005 та НАПБ Б.06.001. Навчання та перевірка знань з питань пожежної безпеки слід проводити відповідно до вимог НАПБ Б.02.005.

Виробничі, складські та інші приміщення повинні бути обладнані автоматичними системами пожежогасіння та пожежної сигналізації відповідно до ДБН В.2.5-56 та первинними засобами пожежогасіння відповідно до НАПБ А.01.001.

Оснащення приміщень первинними засобами пожежогасіння потрібно здійснювати згідно з НАПБ А.01.001 та НАПБ Б.03.001, транспортних засобів, задіяних в роботах – згідно з НАПБ Б.06.005.

При роботі з полімерними геосинтетиками при температурі, що перевищує температуру їх плавлення, місця роботи повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння відповідно до 8.1.5 НАПБ А.01.001.

Експлуатацію вогнегасників слід здійснювати згідно з НАПБ Б.01.008.

При загорянні геосинтетичних матеріалів їх необхідно гасити тонко розпилим струменем води, піною, вогнегасним порошком.

При роботі з полімерними геосинтетиками за температури, що перевищує температуру їх плавлення (наприклад, при укладанні гарячого асфальтобетону або при термозварюванні) можливе виділення легких продуктів термоокислювальної деструкції, що містять у своєму складі органічні кислоти, карбонільні з'єднання, в тому числі формальдегід і ацетальдегід, оксид вуглецю та інші токсичні речовини. При цьому необхідно дотримуватись вимог нормативних документів та нормативно-правових актів з пожежної безпеки та загальних правил безпеки.

Концентрації шкідливих речовин в повітрі робочої зони не повинні перевищувати їх гранично допустимих концентрацій (таблиця 4.1), відповідно до вимог ГОСТ 12.1.005.

Контроль вмісту шкідливих речовин в повітрі робочої зони виконують згідно з ГОСТ 12.1.016 та ГОСТ 12.1.014.

Під час робіт на проїзній частині без припинення руху автотранспортних засобів місце робіт має огорожуватись знаками згідно з [11] та НПАОП 63.21-1.01.

Дозволені рівні сумарної питомої активності природних радіонуклідів в заповнювачах до асфальтобетону, згідно з ДБН В.1.4-1.01 та ДБН В.1.4-2.01, не повинні перевищувати показників для 1 класу. Роботи з приготування органічних в'язучих матеріалів з добавками потрібно виконувати згідно з ДСТУ Б А.3.2.5.

Таблиця 4.1 – Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі при укладці асфальтобетонної суміші

Назва речовини	Гранично допустима концентрація, мг/м <sup>3</sup>	Клас небезпеки	Дія на організм людини
Формальдегід	0,5	2	Викликає подразнення слизової оболонки очей та дихальних шляхів
Ацетальдегід	5,0	3	
Оксид вуглецю	20,0	4	Викликає запаморочення, шум в вухах, почуття слабкості
Оцтова кислота	5,0	3	Викликає подразнення верхніх дихальних шляхів

При роботі з геосинтетичними матеріалами обладнання та механізми, що задіяні у виробничому процесі, повинні відповідати вимогам безпеки згідно з ДСТУ 7237, ГОСТ 12.2.003, ГОСТ 12.3.002; засоби захисту від статичної електрики – ДСТУ ГОСТ 12.1.038, ГОСТ 12.1.018, ГОСТ 12.1.044 та ГОСТ 12.4.124; гігієнічний контроль промислової вібрації необхідно здійснювати згідно з ДСН 3.3.6.039. Безпека виробничих процесів та обладнання повинні відповідати СП 1042 та ГОСТ 12.3.002.

Параметри мікроклімату на робочих місцях повинні відповідати вимогам ДСН 3.3.6.042. Місця виконання робіт з геосинтетичними матеріалами позначаються знаками безпеки згідно з [17]. Освітленість робочих місць повинна відповідати вимогам ДБН В.2.5-28 і ДСТУ Б.В.2.2-6, контроль здійснюють згідно з ДСТУ Б В.2.2-6. Закриті приміщення, де проводять роботи з геотекстилями та віднесеними до геотекстилю виробами, повинні бути забезпечені приливно-витяжною вентиляцією згідно з ДСТУ Б А.3.2-12, СНиП 2.04.05.

При роботі з геосинтетичними матеріалами забезпечення та користування спеціальним одягом здійснюють згідно з ГОСТ 12.4.004, ГОСТ 12.4.016, НПАОП 0.00-4.01, НПАОП 63.21-3.03 та [16].

Навчання та перевірку знань з питань охорони праці потрібно проводити відповідно до вимог НПАОП 0.00-4.12.

При роботі з геосинтетичними матеріалами слід дотримуватися правил охорони атмосферного повітря населених місць від забруднення хімічними та біологічними речовинами відповідно до ДСП 201.

#### 4.2 Вимоги до охорони навколишнього середовища

Проектування дорожніх об'єктів із використанням геосинтетичних матеріалів повинно здійснюватися відповідно до вимог нормативних документів. При будівництві дорожніх об'єктів потрібно забезпечити виконання вимог з охорони навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів, обліку найближчих та віддалених екологічних, економічних, соціальних, демографічних наслідків будівництва.

При техніко-економічному обґрунтуванні проекту слід враховувати сучасний рівень науково-технічного прогресу і гранично-допустимі навантаження на навколишнє природне середовище як у будівельний, так і в експлуатаційний періоди і передбачати надійні і ефективні заходи попередження і усунення забруднення навколишнього природного середовища, раціональне використання і відтворення природних ресурсів, оздоровлення навколишнього природного середовища.

При проектуванні та будівництві дорожніх об'єктів із використанням геосинтетичних матеріалів повинні бути повністю враховані реальні потреби в електроенергії та водопостачанні відповідного регіону, рельєф місцевості для розміщення об'єкта, заходи з максимального збереження земель і лісів, населених пунктів, пам'яток природи, історії та культури, ефективної охорони рибних запасів, своєчасної утилізації деревини та родючого шару ґрунтів під час розчищення і затоплення ложа водосховища, та недопущення негативних змін у навколишньому природному середовищі.

При проектуванні не слід застосовувати ґрунтові та неґрунтові матеріали, а також технології, що спричиняють хімічне, фізичне і біологічне забруднення навколишнього середовища.

При розробці проектів для будівництва і реконструкції автомобільних доріг та інших дорожніх об'єктів із використанням геосинтетичних матеріалів техніко-економічні і транспортно-експлуатаційні характеристики об'єкта проектування потрібно вирішувати в комплексі з питанням захисту навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів.

До змісту проекту має входити окремий розділ "Оцінка впливу на навколишнє середовище (ОВНС)", який розробляється згідно з вимогами ДБН А.2.2-1, ДБН А.2.2-3, ДБН В.2.3-5 та [6] з урахуванням положень нормативно-правових актів у галузі охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки. Матеріали ОВНС необхідно розробляти на основі екологічних, геозооботаничних, інженерно-геологічних, санітарно-гігієнічних та інших необхідних натурних та лабораторних досліджень на базі сучасних методик і технічних засобів.

З метою оптимізації проектних робіт та процедури ОВНС всі дорожні об'єкти поділяють на три екологічних класи. Вимоги до проектування таких об'єктів наведено в ДБН В.2.3-4.

При проектуванні автомобільних доріг із використанням геосинтетичних матеріалів оцінці впливу на навколишнє середовище підлягають усі джерела впливу автомобільних доріг на навколишнє середовище, крім технологічних процесів будівництва та утримання.

При розробці матеріалів ОВНС потрібно порівнювати кількісні показники забруднення навколишнього природного середовища відпрацьованими газами, твердими викидами, шумом, іншими факторами дії транспортних засобів на навколишнє природне середовище з гранично допустимими концентраціями забруднюючих речовин в атмосферному

повітрі, водоймищах і ґрунтах та іншими санітарно-гігієнічними нормами, що встановлені для відповідної території.

При проектуванні реконструкції дорожніх об'єктів слід порівнювати існуючий вплив об'єкта на навколишнє природне середовище з впливом на нього після проведення реконструкції.

При проектуванні автомобільних доріг, дорожніх споруд, об'єктів дорожнього сервісу тощо із використанням геосинтетичних матеріалів перевагу віддають рішенням, що мінімально впливають на навколишнє природне середовище.

У разі перевищення встановлених для відповідної території санітарно-гігієнічних норм забруднення, суттєвого втручання в біосистеми на прилеглих територіях потрібно передбачати відповідні санітарно-захисні, природоохоронні, інженерні та технічні заходи: будівництво шумозахисних екранів, застосування дорожніх покриттів, на яких шум при проїзді автомобілів має найменшу величину, влаштування водовідвідних та водоочисних споруд, посадку спеціальних зелених насаджень, влаштування біопереходів, регулювання режимів руху автотранспорту, влаштування відповідного покриття та укріплення узбіч для зниження пилоутворення тощо.

При зберіганні, транспортуванні, застосуванні та при здійсненні робіт із використанням геосинтетичних матеріалів не відбувається забруднення води, ґрунту, а також надходження канцерогенних та мутагенних речовин в навколишнє природне середовище.

## ВИСНОВКИ

1. Для Запорізького регіону застосування армування ґрунтів у транспортному будівництві має особливо важливе значення, адже територія представлена складними ґрунтовими умовами. В таких умовах в процесі будівництва і експлуатації виникають великі деформації, що спричиняють часткову або повну руйнацію конструкцій.

2. Сучасні умови будівництва автомобільних доріг, особливо в складних умовах, потребують розробки індивідуальних проектів конструкції земляного полотна. Вибір найбільш раціональних конструкцій земляного полотна багато в чому залежить від прогнозу осадки і її розвитку в часі під дією ваги насипу. І саме армування основи насипу є одним з перспективних методів вирішення цих питань в складних умовах.

3. Армування ґрунтового масиву геосинтетиками перетворює його в міцне тверде тіло анізотропної будови, подібної до будови штучних композитних матеріалів. Принцип роботи армоґрунту оснований на можливості поєднання ґрунту і арматурних елементів (геосинтетиків), що змонтовані так, щоб зменшити напруження розтягу, які можуть виникати в ґрунті під дією сил гравітації чи зовнішнього навантаження і передати їх за допомогою сил зчеплення на геосинтетичний прошарок, який добре сприймає зусилля розтягу.

4. Встановлено, що шляхом армування зосереджується зона дії максимальних дотичних напружень в області, в якій знаходиться міцний ґрунт і армуючий прошарок, що позитивно впливає на роботу ґрунтової основи, оскільки причиною руйнування є саме дотичні напруження; в армованій основі проходить перерозподіл нормальних напружень на більшу ширину, ніж у неармованій (значення напружень на глибині менші, ніж в неармованій основі); вертикальне переміщення армованої основи приблизно в 2 рази менше, ніж неармованої.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. СОУ 45.2-00018112-025:2007 Матеріали геосинтетичні. Методи випробувань.
2. МР В.2.7-218-24729256-758:2009 Матеріали синтетичні для армування асфальтобетону. Методи випробування.
3. EN ISO 10318:2005 Geosynthetics – Terms and definitions (Геосинтетики. Терміни і визначення).
4. ВБН В.2.3-218-171-2002 Споруди транспорту. Спорудження земляного полотна автомобільних доріг.
5. ВБН В.2.3-218-186-2004 Споруди транспорту. Дорожній одяг нежорсткого типу.
6. ГБН В.2.3-218-007:2012 Екологічні вимоги до автомобільних доріг. Проектування.
7. ВБН В.2.7-218-185-2004 Будівельні матеріали. Приготування, зберігання та застосування бітумів, модифікованих полімерами.
8. ВБН Г.1-218-050-2001 Міжремонтні строки експлуатації дорожніх одягів та покриттів на автомобільних дорогах загального користування.
9. МР В.2.7-218-24729256-758:2009 Матеріали синтетичні для армування асфальтобетону. Методи випробування.
10. ГБН В.2.3-218-551:2011 Споруди транспорту. Автомобільні дороги загального користування. Капітальний ремонт. Вимоги проектування.
11. СОУ 45.2-00018112-006:2006 Безпека дорожнього руху. Порядок огороження та організація дорожнього руху в місцях проведення дорожніх робіт з будівництва, реконструкції, ремонту та утримання автомобільних доріг.
12. П Г.1-218-113:2011 Технічні правила ремонту та утримання автомобільних доріг загального користування України.
13. ВБН В.2.3-218-189-2005 Споруди транспорту. Влаштування неукріплених та укріплених щебневих і гравійних шарів основ дорожніх одягів.

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

26. EN ISO 12236:2006 Geotextiles and geotextile-related products – Static puncture test (CBR-test) (Геотекстиль та віднесені до геотекстилю виробу. Статичне випробування 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: Випробування 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 виробу. Визначення характеристик тертя. Частина 2: Випробування 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 виробу. 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 виробу. 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 20.11.2019).

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 20.11.2017).

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 calendaring 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 20.11.2019).

42. Natural-Fiber Erosion-Control Fabrics URL: <https://www2.buildinggreen.com/article/natural-fiber-erosion-control-fabrics>. (дата звернення 20.11.2017).

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 22.11.201+).

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. TERRAM Fiberweb Geosynthetics Ltd. URL: <http://www.terram.com/>. (дата звернення 22.11.2019).

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

51. TYPAR Weather Protection System. URL: <http://www.typar.com>. (дата звернення 24.11.2019).

**ВІДГУК**  
керівника кваліфікаційної роботи

здобувача рівня вищої освіти «другий (магістерський)» Джурило Артема Віталійовича  
(П.І.Б.)

Кваліфікаційна робота на тему: «Підвищення надійності конструкцій автомобільних доріг Запорізького регіону, армованих геосинтетичними матеріалами».

Виконана згідно до завдання, відповідає темі, містить 33 листа  
(не) згідно (не) відповідає

графічного матеріалу і пояснювальну записку з 94 сторінок, підписана консультантами і має рецензію.

1. Актуальність теми, наявність замовлення роботи підприємством (організацією) \_\_  
Слід визначити, що тема магістерської роботи є актуальною тому що підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону є однією з головних складових підвищення надійності функціонування доріг.

2. Глибина обґрунтувань прийнятих рішень (повнота розрахунків, наявність багатоваріантності) \_\_\_\_\_  
У кваліфікаційній роботі наведені сучасні методи підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону. В основу роботи покладено теоретичні дослідження та практичні розробки підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами.

3. Загальний рівень підготовки та ерудиції здобувача ступеня вищої освіти «магістр»  
\_\_\_\_\_ відповідає прийнятим вимогам

4. Творчий потенціал і ступінь самостійності студента у вирішенні поставлених задач на достатньому професійному рівні \_\_\_\_\_

5. Науковий рівень (для робіт дослідницького характеру) та глибина експериментальних досліджень \_\_\_\_\_ виконано у повному обсязі та відповідає вимогам

6. Застосування сучасних системних та інформаційних технологій, фізичного або математичного моделювання, наявність обґрунтування вибору типу ЕОМ, застосування стандартних та оригінальних програм, наявність аналізу результатів та їх використання у





розділи магістерської роботи оформлені згідно норм та відповідають вимогам, що висуваються до магістерських робіт. Розділи взаємозв'язані один з одним, чітко та технічно грамотно оформлені. Науковий стиль викладення матеріалу – виконано у повному обсязі та відповідає вимогам, що висуваються до магістерської роботи.

4. Практична значимість результатів роботи (рівень реальності результатів та пропозицій, техніко - економічні показники запропонованих рішень, наявність публікацій за темою роботи) \_\_\_\_\_

Практичне значення одержаних результатів полягає у дослідженні та узагальненні методичних підходів, що спрямовані на підвищення надійності автомобільних доріг; наведені результати досліджень щодо сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами; технічні характеристики геосинтетичних матеріалів; наведені приклади впровадження сучасних методів підвищення надійності автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами в умовах Запорізького регіону.

5. Недоліки кваліфікаційної роботи магістра: в роботі відсутнє техніко-економічним обґрунтуванням проектних рішень конструкцій автомобільних доріг, армованих геосинтетичними матеріалами. Приведене зауваження не впливає на якість виконання роботи.

6. Кваліфікаційна робота магістра у цілому виконана (ний) на відповідальному рівні і заслуговує оцінки:

кількість балів 98

за національною шкалою відмінно

за шкалою ЄКТС A

Рецензент старший викладач кафедри міського будівництва і господарства

Запорізького національного університету

(посада, місце роботи)

  
(підпис)

Світлична В.Б.  
(П.І.Б.)