

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНІ**  
**ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ**

**Кафедра промислового та цивільного будівництва**

**Кваліфікаційна робота/проект**

другий магістерський рівень  
(рівень вищої освіти)

на тему: Вдосконалення властивостей дорожнього асфальтобетону  
оптимізацією прочносних властивостей

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.1920-пцб  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(код і назва спеціальності)  
освітньої програми промислове і цивільне будівництво  
(код і назва освітньої програми)  
Московченко Данило Сергійович  
(прізвище та ініціали)

Керівник доц., к.т.н., Мішук К.М.  
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Рецензент проф., д.е.н. Анін В.І.  
посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали

Запоріжжя  
2022

## МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІМ. Ю.М. ПОТЕБНИ  
ЗАПОРІЗЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ

Кафедра Промислового та цивільного будівництва  
 Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(другий (магістерський) рівень)  
 Спеціальність 192 «Будівництво та цивільна інженерія»  
(шифр і назва)  
 Освітня програма «Промислове і цивільне будівництво»  
(шифр і назва)  
 Спеціалізація \_\_\_\_\_  
(шифр і назва)

## ЗАТВЕРДЖУЮ:

завідувач кафедри промислового та  
цивільного будівництва  
проф. І.А. Арутюнян  
 20 \_\_\_\_\_ року

## ЗАВДАННЯ

## НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ / ПРОЕКТ СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Московченко Данило Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи (проєкту) Вдосконалення властивостей  
дорожнього асфальтобетону оптимізацією прочносних властивостей

керівник роботи Мішук Катерина Миколаївна, доц., к.т.н.,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від " 02 " 06 20 22 року № 397-С

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи грудень 2022 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи нормативні документи з вимог до  
складу асфальтобетону та вимоги до покращення його  
властивостей

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно  
 розробити) розділ 1 – аналіз існуючих технологій покращення властивостей

асфальтобетонів; 2 – вплив властивостей асфальтобетонів на їх структуроутворення; 3 – рекомендації щодо складових та технології виготовлення покращених асфальтобетонів.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Від восьми графічних аркушів формату А4

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи магістра

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 2	Мішук К.М., доц. кафедри		
Розділ 3	Мішук К.М., доц. кафедри		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Розділ 1		
2	Розділ 2		
3	Розділ 3		

Студент   
(підпис) Московченко Д.С.  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи (проєкту)   
(підпис) Мішук К.М.  
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер Данкевич Н.О.  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Московченко Данило Сергійович. Вдосконалення властивостей дорожнього асфальтобетону оптимізацією прочносних властивостей.

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія, науковий керівник К.М. Мішук. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету, кафедра промислового та цивільного будівництва, 2022.

В роботі розглядаються питання пов'язані із вдосконаленням властивостей дорожнього асфальтобетону. Особливу увагу приділено оптимізації прочносних властивостей. Зроблено аналіз застосування сучасних технологій та матеріалів.

Розглянуті значення і роль, актуальні технології, організаційно-технологічні особливості інноваційних технологій та матеріалів.

В роботі обґрунтовано методологічні основи використання асфальтобетонних сумішей. Були проаналізовані фізико-механічні властивості різних видів асфальтобетону. Досліджено процеси структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів. Розглянуті методи проектування складу асфальтобетонних сумішей. Вивчено досвід використання двостадійної технології в приготуванні асфальтобетонної суміші.

Вивчено досвід та дослідження США, Європи, Канади та інших країн у галузі застосування асфальтобетонних сумішей. Розглянуто питання доцільності використання дисперсного армування дорожніх покриттів. Також розглянуто методи боротьби з колесутворенням дорожнього одягу. Проведено аналіз використання модифікаторів асфальтобетонних сумішей, що використовуються, та можливість використання сланцевих фусів в складі асфальтабетону.

Розглянуто можливість підвищення адгезії бітуму за допомоги сланцевих фусів.

Ключові слова: ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОНУ, АДГЕЗІЯ, КОЛІЄУТВОРЕННЯ, ДВОСТАДІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, АРМУВАННЯ, АСФАЛЬТОБЕТОННІ СУМІШІ, БІТУМ.

Список публікацій магістранта:

1. *Московченко Д.С., Мішук К.М.* Вдосконалення властивостей дорожнього асфальтобетону оптимізацією прочносних властивостей. II Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», Запоріжжя: ЗНУ, 2022. С 382-384:  
[https://www.znu.edu.ua/ii\\_znu/nauka/conf2/znrbyk\\_22.pdf](https://www.znu.edu.ua/ii_znu/nauka/conf2/znrbyk_22.pdf)

## ABSTRACT

Moskovchenko Danylo Serhiyovych. Improving the properties of road asphalt concrete by optimizing durability properties.

Qualification work for obtaining a master's degree in the specialty 192 - Construction and civil engineering.

Research supervisor, associate professor of the Department of Industrial and Civil Engineering K.M.Mishuk Zaporizhzhia National University. Engineering Educational and Scientific Institute named after Y.M. Potebny, Department of Industrial and Civil Engineering, 2022.

The work deals with issues related to improving the properties of road asphalt concrete. Special attention is paid to the optimization of durability properties. An analysis of the use of modern technologies and materials was made.

Considered meaning and role, current technologies, organizational and technological features of innovative technologies and materials.

The work substantiates the methodological bases of using asphalt concrete mixtures. The physical and mechanical properties of various types of asphalt concrete were analyzed. The processes of structure formation of dispersed-reinforced asphalt concrete were studied. The methods of designing the composition of asphalt concrete mixtures are considered. The experience of using two-stage technology in the preparation of asphalt concrete mixture was studied.

The experience and research of the USA, Europe, Canada and other countries in the field of application of asphalt concrete mixtures was studied. The issue of feasibility of using dispersed reinforcement of road surfaces is considered. Methods of combating rutting of road clothing are also considered. An analysis of the use of asphalt concrete mixture modifiers and the possibility of using shale fus in the asphalt concrete composition was carried out.

The possibility of increasing the adhesion of bitumen with the help of shale fus was considered.

Key words: *physico-mechanical properties of asphalt concrete, adhesion,*

*rutting, two-stage technology, reinforcement, asphalt concrete mixtures, bitumen.*

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	10
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ШЛЯХОМ АРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК ОРГАНІЧНИХ МОДИФІКАТОРІВ .....	12
1.1 Армування асфальтобетонних покриттів .....	12
1.2 Армування асфальтобетонних покриттів сітками .....	18
1.3 Армування асфальтобетонних покриттів геотекстилем та георешітками .	27
1.4 Армування асфальтобетонних покриттів із використанням прошарків ....	30
1.5 Дисперсне армування асфальтобетонних покриттів.....	34
1.6 Застосування добавок органічних модифікаторів для покращення властивостей асфальтобетонів.....	40
2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ.....	48
2.1 Дослідження процесів структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів.....	48
2.2 Розташування дисперсної арматури в адсорбційно-сольватних оболонках бітуму .....	53
2.3 Моделювання стохастичного процесу структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів з використанням теорії фракталів.....	58

2.4 Технологія використання сланцевих фусів та золи винесення ТЕС в як мінеральний порошок для приготування асфальтобетонних сумішей .....	63
<b>3 ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ДИСПЕРСНОГО АРМУВАННЯ ТА ДВОХСТАДІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИГОТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ .....</b>	<b>71</b>
3.1 Вимоги до матеріалів, які використовуються для приготування асфальтобетонних сумішей.....	71
3.2 Особливості проектування складу асфальтобетонних сумішей .....	76
3.3 Технологія виготовлення дисперсно армованих асфальтобетонних сумішей .....	90
3.4 Приготування асфальтобетонних сумішей за двостадійною технологією введення органічного в'язучого.....	94
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>97</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>	<b>98</b>



## ВСТУП

**Актуальність теми дослідження.** Наразі стоїть питання щодо вдосконалення асфальтобетонних покриттів. Висока інтенсивність руху, збільшення вантажопідйомності автомобілів, погані кліматичні умови призводять до руйнування дорожніх одеж. Асфальтобетон є багатокомпонентною системою, що володіє комплексом різних властивостей: міцністю, пружністю, пластичністю. У зв'язку з цим асфальтобетон не витримує високої інтенсивності, комплексного впливу збільшення навантажень. Тому ефективність його використання у дорожньому будівництві, без додаткових удосконалень значно знижується. Тому актуальність роботи полягає в необхідності покращення властивостей асфальтобетону, дослідженню деформації, підвищенню якості даних покриттів на основі розробки нової технологій, що дозволяють забезпечити підвищену міцність, довговічність та стійкість до кліматичних умов.

**Метою магістерської роботи** є модифікація асфальтобетону та суттєве покращення дорожніх покриттів.

**Задачі дослідження.** Для досягнення поставленої в процесі дослідження мети вирішуються наступні завдання:

- аналіз існуючих технологічних покращень властивостей асфальтобетонів;
- вивчення застосування модифікуючих добавок;
- дослідження процесів структуроутворення дисперсного армування;
- вивчення світового досвіду удосконалення дорожніх покриттів.

**Методами дослідження** є застосування новітніх технологій при розробці та використанні асфальтобетонних сумішей.

**Наукова новизна** полягає у поглибленому вивченні та розвитку технології виробництва асфальтобетонних сумішей. Розробці приготування

асфальтобетонної суміші з використанням дисперсного армування та її модифікація.

**не вистачає об'єкту і предмету дослідження**

**Практична цінність** полягає у нових технологічних розробках сприяючих вирішенню проблем пов'язаних із руйнуванням та деформацією дорожнього полотна. Використання екологічних та економічно обгрунтованих матеріалів у складі приготування асфальтобетонної суміші.

**Апробація результатів магістерської роботи.** Основні положення роботи докладалися в 2022 році на I Всеукраїнській науково-практичній конференції Інженерного навчально-наукового інституту ЗНУ «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», (Запоріжжя, 2022р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей; II Всеукраїнська науково-практична конференція за участю молодих науковців «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України», (Запоріжжя, 2022р.) за результатами якої опублікована збірка тез доповідей.

**Структура і об'єм магістерської роботи.** Магістерська робота складається з вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел. Повний об'єм магістерської роботи складає 100 сторінок тексту, у тому числі 36 рисунків, 21 таблиця, 3 формули. Список використаних джерел містить 33 найменування праць вітчизняних та зарубіжних авторів.

# **1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЙ ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ШЛЯХОМ АРМУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ДОБАВОК ОРГАНІЧНИХ МОДИФІКАТОРІВ**

## **1.1 Армування асфальтобетонних покриттів**

До появи асфальтобетону для мощення вулиць використовувалися камені. Тоді була поширена саме бруківка. Але вже з середини XIX століття у низці країн, наприклад у США та у Франції стали набирати популярності бітумо-мінеральні суміші. Литий асфальт вперше був застосований у США, 1867 р. Одним із перших важливим кроком до масового застосування стало покриття тротуарів Королівського мосту в Парижі.[16] Розвиток дорожньої мережі висував нові. Більш жорсткі вимоги до покриття. Особливо це стосувалося швидкості їх зведення. Будівництво покриттів із гарячих сумішей, що вимагають ущільнення, набуло широкого поширення на початку XX століття. Були представлені змішувальні установки, в яких мінеральні матеріали змішувалися з бітумом після їх підігріву. На даний час основним типом дорожніх покриттів є асфальтобетон.

На часі питання про будівництво більш удосконалених доріг з асфальтобетонним покриттям, що відповідають усім вимогам щодо довговічності, рівності, шорсткості (коефіцієнта зчеплення). Для реалізації цієї мети необхідний докладний та детальніший аналіз технологічного процесу виробництва асфальтобетонної суміші виробництва такого покриття потрібне приготування асфальтобетонної суміші. Виробництво асфальтобетонної суміші - це один із найенергоємніших процесів дорожнього будівництва. Від стану всього парку машин та обладнання залежить витрата палива – енергетичних ресурсів. Найбільш широке застосування асфальтовий бетон знаходить у будівництві при зведенні магістральних, міських, аеродромних,

дорожніх, покрівельних та інших покриттів, гідротехнічних, мостових, промислових, житлово-цивільних та інших будівель та споруд.

Автомобільний транспорт може безпечно пересуватися лише тоді, коли дорожнє покриття не потребує частих ремонтних втручань та протистоїть передчасній деформації, зберігає цілісність при циклічному згині від проїзду транспорту та при багаторазовій дії розтягуючих напруг в результаті коливань температури.

Експлуатація застосовуваних покриттів міських вулиць та доріг показує, що при інтенсивному русі автомобільного транспорту, термін їхньої служби становить не більше 4-5 років, та навіть 2-3 роки. Стан асфальтобетонних покриттів значно впливає на результативність роботи автомобільного транспорту. Різні пошкодження та нерівності на дорожньому покритті призводять до перевитрати палива автомобілями. Поява підвищеного рівня вібрації прискорює зношування дорожнього покриття та автомобілів. Внаслідок цього збільшується вартість перевезень автомобільним транспортом, збільшується витрата пального.

Довговічність та якість дорожніх асфальтобетонних покриттів визначається двома групами факторів. До першої групи належать властивості застосовуваних матеріалів, їх взаємодії між собою та стан під час експлуатації асфальтового бетону:

- якість бітуму;
- якість мінеральних матеріалів;
- якість приготування суміші та стан під час експлуатації асфальтобетону.

До другої групи входять фактори, пов'язані з умовами зовнішнього середовища та зовнішніх впливів:

- характер впливу на покриття транспорту, що рухається, величина деформації покриття та основи;
- природно-кліматичні фактори.

Однією із серйозних проблем наших доріг є утворення колійності. [2] Ця проблема викликана збільшенням інтенсивності руху та одночасним підвищенням динамічних навантажень у зв'язку із зростанням швидкостей, збільшенням кількості автомобілів із шипованими покриттями, низькою якістю дорожньо-будівельних матеріалів. Окрім того, тривалий інтенсивний сонячний вплив розігріває асфальтобетон і впливає на поведінку бітумного в'язучого. Розігріте покриття стає м'яким, і в результаті його повзучості після проходження важкого навантаження виникає залишкова деформація. У літній період покриття автомобільних доріг може нагріватися до  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а то й понад  $50\text{--}55$ . (Рис. 1.1)

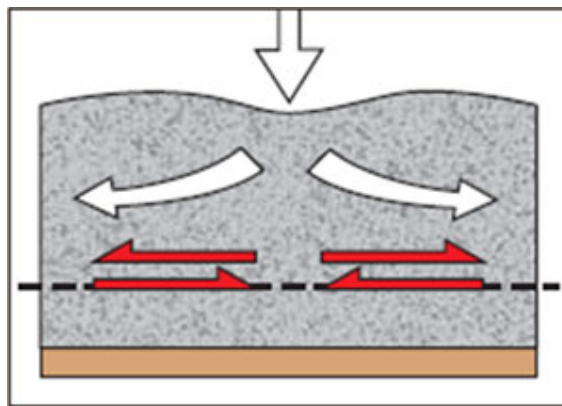


Рисунок 1.1 – Колееутворення

Існує багато методів боротьби з колійністю, на теперішній час у дорожньому будівництві, широко поширений метод армування асфальтобетонних сумішей.[6] Наприклад - армування асфальтобетону синтетичними сітками. (Рис. 1.2) Зміцнення асфальтобетонного покриття спеціальними матеріалами суттєво збільшує його експлуатаційні властивості. Армують не лише саме дорожнє полотно, а й його укоси, основи мостів, залізничні насипи, майданчики для стоянок, під'їзди та з'їзди, а також аеродроми та пішохідні доріжки. Вибір матеріалу для посилення залежить від характеру навантажень на конструкцію, що зводиться. Найчастіше в сучасному

дорожньому будівництві для армування використовують: метал, синтетичні матеріали.



Рисунок 1.2 – Армування асфальтобетону синтетичними сітками

Виконати зміцнення ґрунту та полотна можливо, як звареною сіткою так і металевим прутом. Прут укладають у необхідному порядку, а потім зварюють на місці в єдину конструкцію. Елементи обов'язково з'єднують для того, щоб арматура набула потрібної жорсткості та стійкості. Існує також готовий матеріал із низьковуглецевого арматурного дроту, зібраного в комірки. Більше зручно використовувати дорожню сітку. Вона виглядає, як розташовані перпендикулярно металеві осі, закріплені у цільне полотно зварюванням. Такий матеріал виготовляють використовуючи низьковуглецеву сталь високої якості. Гнучкість дозволяє витримувати зсуви та деформації ґрунту, а жорсткості цілком достатньо для компенсації навантажень на дорожнє покриття. Але в цій конструкції є недолік - нестійкість чорного металу до корозії. Збільшити

міжремонтний інтервал у кілька разів дозволяє придбання сітки високої якості, що не має іржі та видимих пошкоджень поверхні. Ще кращім варіантом є армування доріг нержавіючою сіткою . (Рис. 1.3)



Рисунок 1.3 – Нержавіюча сітка для армування асфальтобетону

Оцинковане або покрите пластиком металеве полотно не руйнуватиметься під впливом вологи.

Вже давно та вдало у будівництві доріг застосовується геосинтетика (Рис. 1.4). Цей матеріал зовсім не схильний до корозії, крім того, на нього не впливають різні хімічні сполуки та агресивні середовища. Дорогам, укріпленим синтетичними волокнами, не страшні реагенти, якими посипають дороги в зимку, щоб запобігти ожеледиці. Також не страшний тісний контакт із полями, удобреними хлористими та фтористими речовинами, та багато іншого. Полімерне полотно допомагає рівномірно розподілити вагове навантаження на всю площу об'єкта.



Рисунок 1.4 – Геосинтетичні дороги

Геоматеріали здатні витримати досить великі навантаження різних спрямованостей. Їм під силу вигини та переломи ґрунту, зрушення пластів, постійний тиск в одну точку, що викликає колійність асфальту. В широкому розумінні геосинтетика такі полімерні матеріали, які часто мають стільникову конструкцію, що застосовуються у дорожніх та земельних роботах. Сітка з осередками різних розмірів укладається між кулями будматеріалу та перешкоджає просадженню дорожнього полотна, збільшує діапазон допустимих температур експлуатації будматеріалу (наприклад, бітуму), покращує дренавання та виконує масу інших функцій, які в кінцевому підсумку впливають на термін служби дорожнього покриття. У 2-3 рази рідше у середньому ремонтуються об'єкти, у будівництві яких використовувалися геосинтетичні матеріали. (Рис. 1.5)





Рисунок 1.5 – Геоматеріали

Геосинтетика для дорожнього будівництва - це матеріали, більшість яких випускається в панелях, або в рулонах. До найчастіше використовуваних видів геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві відносять: геосітки, геотекстиль, георешітки, геомати, а також геокомпозити, геокамери та геомембрани.[4] Довговічність асфальтобетону була і залишається важливим руховим важелемважилем для удосконалення дорожнього покриття та терміну його служби. Тому щороку з'являється дедалі більше новітніх технологій удосконалення асфальтобетонних дорожніх асфальтобетонів.

## 1.2 Армування асфальтобетонних покриттів сітками

У процесі експлуатації асфальтобетонне дорожнє підбирання зазнає значних навантажень на вигин і розтяг. Внаслідок цього дорожнє полотно руйнується, з'являються різні деформації: коля від коліс, тріщини, вибоїни. Щоб

продовжити експлуатацію асфальтобетонних доріг, не вдаючись до ремонту, використовують технологію армування асфальтобетону сталеву сіткою.

Для армування асфальтобетонних покриттів сітка випускається у великому асортименті. Відрізняється дорожня сітка за кількома параметрами:

- діаметром арматури чи дроту – 4-40 мм;
- розміром осередків, що знаходяться в межах від 50 до 300 мм;
- виготовляється з арматури або дроту, гладкого або рифленого;
- може бути оцинкована нержавіюча або чорна;
- форма осередків може бути квадратна, прямокутна, багатокутна, ромбічна, трапеція.

Вибір сітки для армування асфальтобетонних покриттів залежить від багатьох факторів:

- товщина покриття із асфальтобетону;
- заплановані навантаження;
- вологість, температура, опади;
- тип ґрунту;

На вибір армуючого матеріалу впливає багато факторів: можливі навантаження, вологість, температурні перепади, тип ґрунту тощо. (Таб. 1.1)

Таблиця 1.1 – Фактори вибору сталевих сіток

оцинкована сітка	сітка із чорного металу	нержавіюча сітка
<ul style="list-style-type: none"> <li>• забезпечує більш тривалу експлуатацію</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• відрізняється невеликою вартістю</li> <li>• схильна до негативного впливу вологи, іржавіє і втрачає свої початкові якості</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• найдорожчий варіант</li> <li>• потрібна при прокладанні доріг поблизу водойм або в місцях з високою концентрацією ґрунтових вод</li> </ul>

Сталева сітка повинна мати міцність при розтягуванні від 35 до 50 кгс/мм<sup>2</sup> (340 - 490 Н/мм<sup>2</sup>), міцність залежить від діаметра дроту у сітці та розміру осередків. Який вид буде використаний при використанні сталевих сіток, встановлюють залежно від ступеня руйнування дорожнього покриття.

Особливу увагу звертають на вологість та рівень ґрунтових вод. Обов'язково роблять ретельну підготовку перед укладанням сітки. Очищають поверхню перед укладанням, на старому покритті закладають тріщини шириною більше 5мм, усувають нерівності за допомогою фрезерування. Для укладання сталевих сіток використовують: механічні укладачі, автомобілі-маніпулятори зі штангою, фронтальні навантажувачі. (Рис. 1.6).



Рисунок 1.6 – Укладання сітки в асфальт

Сталеві сітки розкочуються, без хвиль і складок, паралельно осі дорожнього полотна. При необхідності з'єднання кількох рулонів сітки, треба враховувати перекриття рулонів як вздовж так і впоперек. У поздовжньому напрямку враховують 6см-16см, а між суміжними рулонами 15см -30см. При цьому, для того, щоб останній рулон сітки не зрушувався укладачем, кінець одного рулону завжди повинен накрити початок наступного. Після укладання сітки виконується укочування пневматичним катком. При цьому розгладження сітки починають із середини рулону. Після цього сітку прикріплюють до основи покриття. Спочатку кріплять сітку дюбелями, за умови основного кріплення емульсійно-мінеральною сумішшю. Після завершення робіт покриття емульсійно-мінеральної суміші, заборонено рух транспорту до досягнення необхідної міцності дорожнього покриття.

У всьому світі, для підвищення терміну служби асфальтобетонного покриття використовують армування геосітками. Геосітки - це геосинтетичний матеріал, який використовують в армуванні асфальтобетону та ґрунту, зміцненні укосів та штучних дорожніх споруд. Використовують геосітки зі скловолкна, поліестеру, базальтових волокон і ряд інших.(Рис. 1.7)



Рисунок 1.7 – Геосітки

З якого матеріалу використовувати геосітки вибирають, виходячи з майбутніх експлуатаційних навантажень. Враховують міцність, нейтральність до агресивного середовища та довговічність матеріалу геосітки.(Таб. 1.2)

Таблиця 1.2 – Порівняльні характеристики основних матеріалів геосіток

№	Найменування Характеристики	Матеріал		
		поліпропілен	полієфір	поліамід
1	водостійкість	відмінна	відмінна	При зволоженні спостерігається зниження міцності до 30%
2	біо-стійкість	відмінна	відмінна	відмінна
3	Стійкість до лугів і кислот	відмінна	Знижена міцність в лужному середовищі з $pH \geq 9$	Зниження при pH середовища менше 5,5
4	Стійкість до УФ випромінювання	Хороша не тривале стійкість (1-3 роки)	відмінна	погана
5	Механічні властивості	Низька тривала міцність	відмінна	відмінна

Температура гарячих асфальтобетонних сумішей під час укладання досягає 180 °С . Поліестерне волокно має температуру плавлення 255 °С , у всьому світі сітки з нього з успіхом застосовується для армування асфальтобетону.

Розмір осередку сітки залежить від типу асфальтобетону. Чим більше щебеню в суміші, тим потрібна більша комірка сітки. Розмір осередку повинен бути в 1,5-2 рази більшим за найбільший розмір зерен мінеральних матеріалів. На вибір сітки впливає марка бетону за міцністю на розрив. Асфальтобетон з меншою маркою вимагає меншої міцності сітки.

Відмінною перевагою геосіток можна назвати їх невисоку вартість і можливість використання їх при температурах до 350 градусів.

Використовуються геосітки з бітумним просоченням, в основному з полієфіру. Монтуються між інертними шарами і між прошарками

асфальтобетону, для армування подушки підстави і захисту прошарку асфальтобетону від усадочних деформацій і тріщин.

Полімерна геосітка (поліефірна) (Рис 1.8) виготовляється з таких полімерів:

- поліефір;
- поліестер;
- поліпропілен;
- поліпропілен;
- поліамід;
- полівінілалкоголь.

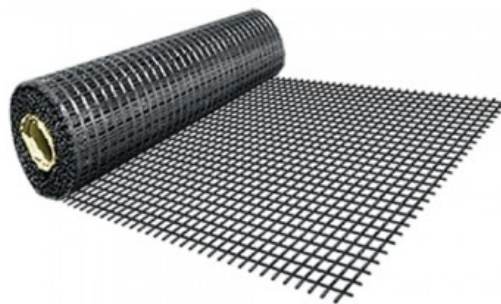


Рисунок 1.8 – Полімерна геосітка

Полімерна геосітка має комірчасту структуру з поліефірних ниток, просочену бітумним складом. Полімерна сітка відрізняється стійкістю до будь-яких видів деформацій, не гниє, має відмінну щільність. Застосовуються ця геосітка для асфальтобетонних та земляних робіт. Переважно використовується для армування шарів дорожнього покриття. У поєднанні із зернистим наповнювачем полімерна геосітка міцно та надійно утримує шар асфальтобетону від зміщення. При застосуванні полімерної геосітки у дорожньому будівництві:

зменшується товщина дорожнього одягу, збільшується термін служби дорожніх покриттів, підвищується якість покриттів, збільшується період між ремонтами.

Перед укладанням готують основу під геосітку, поверхня профільується, ущільнюється, вирівнюється. Рулони геосітки до місця укладання транспортують безпосередньо перед виконанням робіт. Відповідно до проектних рішень, укладають геосітку на 0,5 м більше ширини насипу з кожного боку. Розкладку ролонів роблять вручну за допомогою робітників. Укладають полотно з перекриттям згідно з проектом, але не менше 0,3 м. При великих вітрових навантаженнях при укладанні використовують анкери, вигляді П-подібних скоб. Потім візуально перевіряють якість укладеного матеріалу та стикування полотен. Після цього під дією денного світла роблять відсипання.

Ще одним видом геосеток, застосовуваним у дорожньому покритті є скловолоконна геосітка (рис 1.9). Шляхом переплетення скловолоконних ниток з алюмоборосилікатного без лужного скла і ровінг, виробляється скловолоконна геосітка.

Такі геосітки активно використовують як армуючі елементи у дорожніх покриттях.

Застосовуючи скловолоконні сітки скорочуються витрати на ремонт дорожнього полотна до 40% та збільшуються міжремонтні терміни дорожніх покриттів. Геосітки зі скловолокна мають відмінні унікальні фізико-механічні параметри: витримують значні навантаження, мають хорошу стійкість до агресивного середовища і в кілька разів покращують міцність армуючих поверхонь. Скловолоконні геосітки нетоксичні, не пажаронебезпечні, виготовлені з негорючого геосинтетичного матеріалу. Можуть застосовуватись при температурі до 350°C.

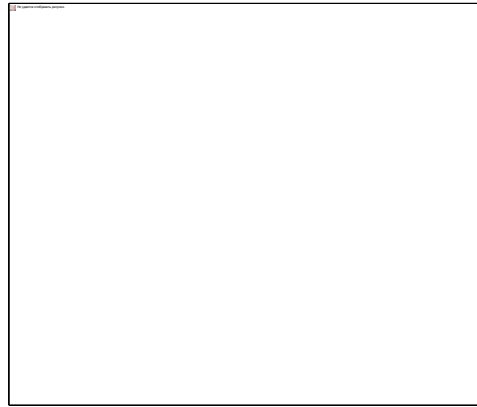


Рисунок 1.9 – Скловолоконна геосітка

Підготовка для укладання для сітки зі скловолокна така ж, як і для інших геосіток. Головною умовою є сухість та чистота основи. Перед укладанням скловолоконної геосітки, за допомогою щіток, поливальних машин, стиснутого повітря, очищають від бруду та пилу основу для покриття. На очищену та вирівняну основу, за допомогою автогудронатора, розподіляють підґрунтовку. Яку наносять з 70% бітуму. Нормування нанесення бітумної емульсії 0,8-1,2 кг на квадратний метр. Укладають таку геосітку вручну або механізовано з натягом. Необхідно враховувати, щоб при монтажі кожен попередній рулон повинен перекривати на 20-25 см початок наступного. Для фіксації використовують спеціальні цвяхи з шайбами. Укладання асфальтобетонної суміші з товщиною верхнього шару 4 см, у звичайній техніці, за допомогою асфальтоукладача, проводиться відразу на скловолоконну геосітку. Після закінчення укладання за допомогою легкого або середнього двовальцевого коток покриття ущільнюють (укочують).

Базальтова геосітка - виготовляється з натурального базальту, з базальтових ровінгів (Рис. 1.10). Нескручені між собою нитки нескінченної довжини вільно накладаються один на одного і прошиваються тамбурними стібками за допомогою в'язальних машин, поліефірною, базальтовою, капроною.[12] Базальтові геосітки мають більшу гнучкість і пружність та не



велику вагу. Також мають високу механічну міцність та стійкість до великих перепадів температур та стійкість до хімічних речовин. Цей матеріал стійкий до деформацій та не схильний до розтягування. В основному використовується для армування асфальтобетону. Без втрат міцності сприяє зменшенню шару асфальту на 20%.

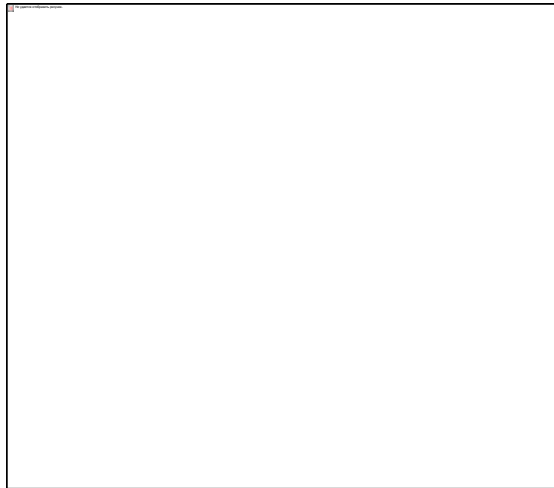


Рисунок 1.10 – Базальтова геосітка

Переваги використання базальтової геосітки в будівництві дорожнього полотна привносить такі поліпшення:

- підвищує якість дорожнього покриття;
- забезпечує можливість збільшення міжремонтних інтервалів;
- зменшує процеси колії та тріщиноутворення;
- запобігає можливості розвитку деформацій полотна під впливом перепадів високих і низьких температур;
- продовжує термін служби об'єкта;
- не допускає розвитку відбитого тріщиноутворення;
- робить більш високим модуль жорсткості дорожніх покриттів;
- укладання сітки відбувається за будь-якої температури.

Головною перевагою базальтової геосітки є екологічність, почність та економічність.

Після підготовки та очищення основи, по ширині рулону, на дорожнє покриття наноситься бітум і відразу розстилають геосітку, не чекаючи затвердіння бітуму. Наступним етапом роблять укладання базальтової геосітки. Зверху, після закріплення сітки, укладається асфальтобетонне покриття. При роботі з базальтовою сіткою потрібно враховувати, щоб температура повітря була не нижче +5°C. без снігу та дощу.

### **1.3 Армування асфальтобетонних покриттів геотекстилем та георешітками**

Паралельно з геосіткою в дорожньому будівництві використовуються такі геосинтетичні матеріали як геотекстиль (Рис 1.11) і георешітка (Рис 1.12), що також укладаються між ґрунтом та гравієм. Матеріали не дають щебеню проникати у ґрунтовий шар, тим самим зміцнюючи дорогу та скорочуючи витрату будівельного матеріалу. Також геотекстиль продовжує термін служби об'єкта завдяки гідроізоляції, дренажній функції. Він не дозволяє воді розмивати основу дорожнього полотна, перешкоджає руйнуванню асфальту – швидкій появі тріщин, вибоїн.



Рисунок 1.11 – Геотекстиль



Рисунок 1.12 – Георешітка

На даний час при ремонті та прокладанні магістралей у складних геологічних умовах - на слабких і глинистих ґрунтах та ділянках схильних до розмивання активно використовуються георешітки. Об'ємне полімерне полотно із стільниковою формою наповнюється гравієм, піщаною сумішшю, щебенем у суміші з бетоном. Така основа дорожнього покриття надійно захищає його від дефектів: руйнування, виникнення провалів та інших (Рис.1.13).

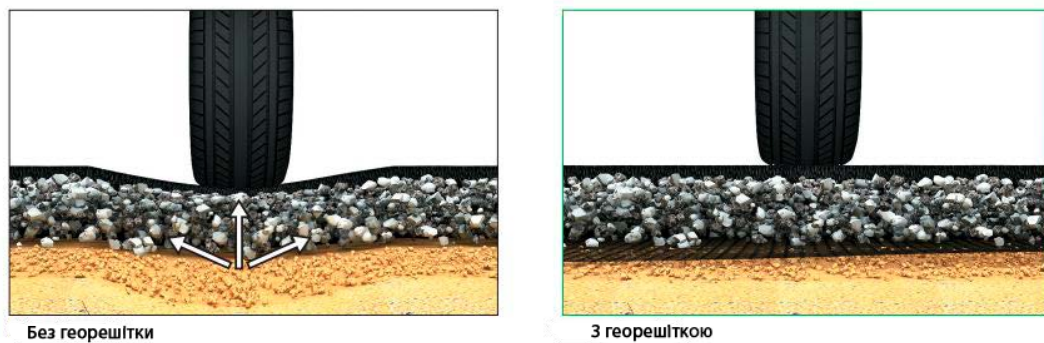


Рисунок 1.13 – Приклад використання георешітки

На відміну від геосітки георешітка має наскрізні осередки, які мають правильну нерухому йорму. За товщиною та розміром осередку георешітки більше геосіток. Георешітка не просочується поліметом та бітумом. В

основному георешітки застосовують для удосконалення дорожніх покриттів, виготовлених із зернистих матеріалів, і рідко застосовується для асфальтування. Георешітка здатна витримувати великі навантаження, завдяки об'ємній структурі. Що дає можливість її у зміцненні дорожнього полотна для проїзду транспорту з великою вагою. При встановленні георешітки завдяки зниженню обсягу сипучих матеріалів товщина дорожнього одягу зменшується на 30-50%. Осередки георешітки надійно утримують пісок, ґрунт, гравій, бетонні суміші. Свого роду створюється упркгая "подушка", яка допомагає рівномірно розподілити навантаження на полотно дороги. Внаслідок чого знижується ризик появи різних дефектів: колії, провалів тощо.

Геотекстиль все частіше використовують для зміцнення укосів, пагорбів та збільшення терміну служби автомобільних одягів. Зміцнити автомобільну магістраль та збільшити термін її служби цілком можливо.

На допомогу цьому і прийдуть геосинтетичні матеріали, завдяки своїм функціям:

- армування та зміцнення доріг, насипів та укосів;
- захист від ерозії;
- дренажування та посилення відтоку вологи;
- гідроізоляція.

Перед процесом укладання геотекстилю поверхню вирівнюють, очищають, тріщини та ями заповнюють бітумною емульсією. На підготовлену ділянку дороги встановлюють опалубку. Після цього по всій ширині укладають рулони геотекстилю. Краї геотекстилю, при цьому, виходять межі насипу. Далі на геотекстиль відсипають пісок не менше 30 см і біля країв формують валик шириною та висотою 50см. Закочують пісок до необхідного рівня, вільні краї загортають та закріплюють нагелями. Перед укладанням асфальтобетону задають ухил полотну дороги, у напрямку збору води. (зливової каналізації). Від

планованої інтенсивності експлуатації залежить товщина асфальтобетонного покриття: при невеликих навантаженнях шар дрібнозернистого асфальту в 4-5 см, при більших навантаженнях потрібно установка нижнього шару дороги з дрібнозернистого асфальту, а верхнього шару з дрібнозернистого. З урахуванням усіх норм укладання дорожнього покриття з використанням геотекстилю, асфальтобетонне покриття слугуватиме не менше ніж 7-10 років, без ушкоджень (Рис. 1.14)

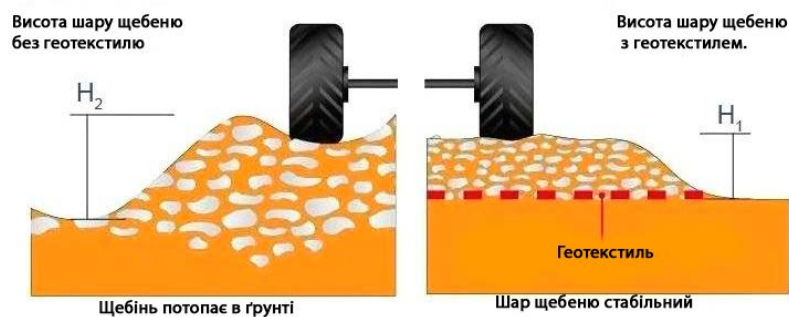


Рисунок 1.14 – Дорожнє покриття з використанням геотекстилю

#### 1.4 Армування асфальтобетонних покриттів із використанням прошарків

На сьогодні в світі, на автомобільних дорогах домінують нежорсткі дорожні покриття з асфальтобетонними шарами. Такі дорожні одяги часто, досить швидко руйнуються. Через великі транспортні навантаження, такі дороги доводиться часто ремонтувати. Тріщини- досить поширені руйнування асфальтобетонних шарів. Руйнування залежать від сили та характеру навантаження. [7]

В останні роки, щоб запобігти передчасному руйнуванню та для підвищення довговічності таких шарів, почали використовувати армуючі прошарки у вигляді синтетичних матеріалів. Але застосування прошарків чіткою не врегульовано теоретичною базою, яка б дозволяла розраховувати асфальтобетонні шари дорожнього одягу виходячи з особливостей використання армуючих синтетичних прошарків. За останні декілька років вивченню тріщиноутворенню асфальтобетонних шарів присвячено багато часу та праці науковців. В наш час, практично відсутні теоретичні розробки, які б дозволили створити єдину методику розрахунку армованих синтетичними матеріалами асфальтобетонних шарів.

Ґрунти та дорожньо-будівельні матеріали проявляють в'язко-пружні властивості при навантаженні. Ці властивості необхідно враховувати при визначенні напружено - деформованого стану армованих асфальтобетонних шарів дорожнього одягу від дії транспортних навантажень. Також варто враховувати в'язко-пружні властивості при оцінці граничного стану армованих асфальтобетонних шарів.

В якості прошарків застосовуються такі матеріали:

- геотекстиль;
- скловолокно;
- різні полімерні і металічні сітки;
- металічні штирі.

Геотекстиль виконує армуючу дію та підвищує дренажні властивості, тим самим уповільнює процес тріщиноутворення в дорожніх покриттях.

В результаті тривалого вивчення зроблені такі висновки:

- геотекстиль дає можливість обмежити і зменшити тріщиноутворення на дорожньому асфальтобетонному покритті;
- необхідно використовувати малостискаємі геотекстильні матеріали,

– не збільшуючі деформації покриття під навантаженням і не дуже жорсткі, вони повинні мати хорошу сумісність з бітумом і бути термостійкими в діапазоні температур укладки асфальтобетонних сумішей;

– застосування геотекстильних прошарків в конструктивних шарах дорожнього одягу, або між ними та умови їх спільної роботи мають велике практичне значення для дорожнього будівництва;

– геотекстиль, що застосовується для армування дорожніх конструкцій, на даний час став самостійним будівельним матеріалом, який в багатьох випадках не може бути замінений традиційним матеріалом;

– армування конструктивних шарів дорожнього одягу геотекстильними матеріалами дозволяє підвищити їх міцність, попередити розвиток відбитих тріщин в асфальтобетонних шарах покриття, зменшити матеріалоємкість дорожньої конструкції;

– дані систематичних обстежень за армованими спорудами свідчать про їх надійність, довговічність та високі технікоексплуатаційні показники;

– при шаруванні дорожніх конструкцій підвищується культура виробництва, шляхом зменшення виробничого циклу, технологічність операцій та їх якісні показники.

Існує декілька класифікацій геотекстильних матеріалів (Рис.1.15).[1]

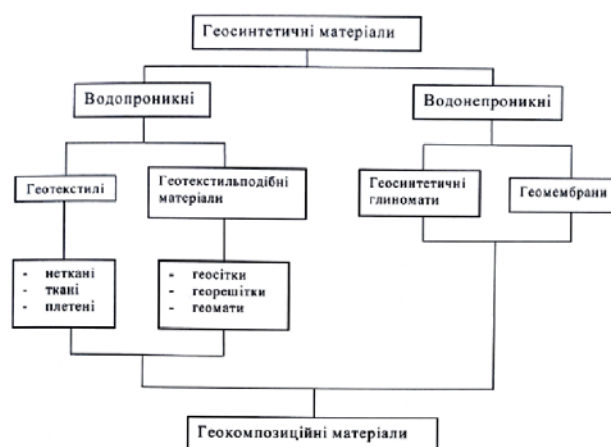


Рисунок 1.15 – Класифікацій геотекстильних матеріалів

При будівництві, так як і при ремонті доріг дуже актуально застосування геосинтетичних матеріалів для армування асфальтобетонних покриттів. Геосітки з поліефіру, поліетилену, скловолокна можуть бути використані в якості армуючого прошарку. Вперше використали метод армування дорожніх покриттів прошарками у США у 70-х роках. Для прошарків використовували пропитаний бітумом нетканий поліпропіленовий матеріал. Результати дослідження показали, що прошарки з геотекстилю підвищують дренажні властивості та виконують армуючу дію. Пізніше в Австралії, Канаді, Італії, Бельгії, інтенсивно почали використовувати геосинтетичні матеріали для армування асфальтобетонних покриттів із використанням прошарків.

Наприклад, в Німеччині для запобігання тріщиноутворенню при ремонті чи будівництві застосовують геотекстиль, з поліпропіленових волокон. В Словенії та в Турції за допомоги армування геотекстильними прошарками зменшують товщину асфальтобетонного шару та збільшують термін служби дорожнього покриття. Розмір армування встановлюється залежно стану дорожнього покриття. Армування прошарками не повинна перевищувати 12 см.

Це було доведено внаслідок експерименту на дорозі, якою проїхали 258 - вантажівок з інтенсивністю руху 724 авт./год. Додатково ця дорога була підсилена шаром геотекстилю із асфальтобетонну товщиною 4 см. На одній смузі був укладений шар нетканий матеріал "нетекс", а на другій, для порівняння, тканий матеріал "бітумекс". Спостереження за досліджуваним покриттям, протягом трьох років довело, що при використанні армуючих прошарків тріщин не з'явилося.

В Канаді проводили експерименти на дорожніх покриттях площею 2,4 x 2м за нормальної температури повітря та модулі пружності асфальтобетону а 2000 МПа. За умовою експерименту, армували шар асфальтобетону товщиною 10-25 см. Армування в асфальтобетонному шарі розташовували на відстані 2,5 см від зони взаємодії армованого шару з основою дорожнього покриття. На дорожнє покриття, через круглий штамп діаметром 30 см, передавалося циклічне



навантаження з максимальною амплітудою 40 кН. (США Патент №4699542) При порівнянні еталонної ділянки без армування з експериментальним встановили, що якщо максимальне залишкове переміщення штампу дорівнює 30 мм, то настає руйнування. А також зростає напруга в підстилаючому ґрунті. На 20% збільшився прогин поверхні дорожнього покриття та на 30% зросли горизонтальні деформації в нижній частині асфальтобетонного шару покриття.

В ході експерименту встановили, що виміряна в нижній частині армованого асфальтобетонного шару покриття, пружна деформація розтягу, менше на 30% із лишком в порівнянні з деформацією шару, який не армувався. При цьому експериментально встановлено, що для армованих ділянок дорожнього покриття, сумарна кількість повторень навантаження до граничної деформації 30 мм, що в 2 рази більше в порівнянні з неармованими (250 000 проти 150 000). Під навантаженими ділянками з армованим шаром, вертикальні напруги в ґрунті на 30-40% менше, ніж з шаром дорожнього покриття, що не піддавали армуванню. Результати експерименту показали, що асфальтобетонний шар товщиною 15-20 см може бути замінений на армований асфальтобетонний шар, товщиною на 5 см менше, без втрати довговічності.

### **1.5 Дисперсне армування асфальтобетонних покриттів**

Можливість у разі зменшити витрати на будівництво сучасних доріг-це використання дисперсного армування асфальтобетону . Одним з шляхів збільшення термінів служби покриттів є дисперсне армування асфальтобетонних сумішей, що застосовуються для влаштування покриттів. Досить давно виникла ідея про те, щоб застосувати мікроармування під час виробництва дорожніх покриттів. Під процесом армування асфальтобетону розуміється додавання різних волокон в суміш для підвищення міцності та довговічності. Після

розподілу, волокна діють, як дисперсна арматура, дозволяють впоратися з проблемами пов'язаними з колієутворенням та різноманітними деформаціями.

На сьогодні стало досить поширеною процедурою використання сталеві та поліпропіленові фібри в асфальтобетоні.[11] Це дозволяє покращити технічні та експлуатаційні характеристики покриттів дороги, а також підвищити її міцність та довговічність. Такий спосіб армування дозволяє збільшити опір до ударів та утворення тріщин, покращити міцність на вигин на зсув. Таким чином, асфальтобетонні суміші з домішкою фібри активно використовуються для покриття аеродромів та автомобільних магістралей.[8]

Завдяки процесу армування сталевію фіброю можливо вирішувати низку проблем, пов'язаних із підвищенням експлуатаційних характеристик дорожніх покриттів. Є декілька способів укріплення дорожнього полотна:

– по-перше, у випадку, коли сталеві фібра вводяться в суміш, в результаті чого отримують якісну сталевіфібробетонну підкладку під асфальтне покриття. Такий технологічний процес дозволяє значно збільшивши термін експлуатації та покращити фізико-механічні властивості покриття доріг. Або ж робиться вторинне посилення верхніх шарів дорожнього покриття;

– по-друге, також вигідно використовувати полімерні волокна у виробництві дорожніх покриттів, як і сталеві. Завдяки тому, асфальтобетонне покриття не вимагає додаткового армування та стає міцнішим. При виготовленні, в даних сумішах, використовуються полімерні волокна 4 мм, або 5 мм в діаметрі та довжиною 20 мм. Відрізки полімерних волокон вводять у суміш і перемішують. При укладанні армованої асфальтнобетонної суміші утворюється рівне дорожнє покриття. Армування полімерними волокнами – значно знижає витрати на будівництво.

Для кращого дисперсного армування в асфальтобетонну суміш вводять гарячі полімерні волокна, відразу після їх розплаву та формування. Армування асфальтобетонних сумішей складається з кількох етапів. У змішувач, з розігрітою асфальтовою масою ретельно перемішуючи, додають, сталеві або

полімерні волокна. В кінці, разом із цементом та щебенем, в суміш асфальтобетону вводять фіброволокно (Рис1.16) Для того щоб рівномірно розподілити поліпропіленові волокна, необхідно в змішувач з готовою асфальтобетонною сумішшю вводити волокна протягом 5-10 секунд. В результаті виходить асфальтобетон високої якості. Міцність дороги з вмістом полімерної або сталеві фібри на довгі роки дає відмінну міцність покриттів та високі експлуатаційні показники. Ідеальної якості дорожнього покриття дозволяє досягти використання фібри в дисперсному армуванні асфальтобетону.



Фіброволокно 6 мм.

Фіброволокно 12 мм.

Рисунок 1.16 – Фібра для дисперсного армування асфальтобетону

Існують різноманітні добавки з синтетичних волокон. Наприклад добавка виробництва США. Forta ® FI (Рис 1.17). Ця запатентована суміш синтетичних волокон дозволяє отримати новий тип асфальтобетону. Вона винайдена для використання в асфальтобетонних сумішах для запобігання зміщення, колесутворення, тріщиноутворення, та інших проблем, пов'язаних зі стійкістю асфальтобетону під впливом експлуатаційних навантажень.[15]

Виготовлена патентована суміш із двох синтетичних волокон, які працюючи спільно, покращують показники асфальтобетону:

- із крученого у зв'язки поліпропілену;
- з ароматичного поліаміду арамід (мононіти).



Рисунок 1.17 – Армуюча добавка Forta® FI

Forta® FI складається з унікальних скручених у пучки поліпропіленових волокон (Рис. 1.18)

	
<p><b>Поліпропілен:</b> хімічно інертний не піддається корозії не має абсорбції</p>	<p><b>Арамід:</b> висока міцність на розтягування не піддається корозії стійкий до високих температур</p>

Рисунок 1.18 – Склад Forta® FI

Щільність арамідних волокон у п'ять разів менша ніж у сталі, однак ці волокна не поступаються їй міцністю. Ці волокна відрізняються більшим модулем пружності та міцністю до розриву. Арамідні волокна мають високі температури склування близько 370 °С, практично не горять і не плавляться. Температура початку карбонізації арамідних волокон близько 425 °С.

Дисперсно-армуюча добавка Forta® FI вноситься при подачі гарячих інертних матеріалів, безпосередньо в змішувач асфальтобетонної установки.

Армуюча добавка Forta® FI застосовується для всіх видів та типів асфальтобетонних сумішей та може застосовуватися на будь-яких об'єктах:

- на дорогах будь-якої категорії;
- на стоянках великовантажних автомобілів;
- на вулицях населених пунктів;
- на перехрестях;
- в аеропортах.

Інноваційна армуюча добавка дозволяє продовжити термін служби дорожніх покриттів на 50% за рахунок зменшення колії, термічного, відображаючого та втомного до розтріскування, а також дозволяє зменшити товщину асфальтобетонного шару без втрати стійкості.

Додавання до асфальтобетонної суміші 0,05 % армуючої добавки Forta® FI дозволяє знизити глибину колії в 15 рази. Глибина колії асфальтобетону, що містить Forta® FI при 10000 проходах колеса, при температурі 60 ° C, в асфальтобетоні із застосуванням армуючої добавки Forta® FI вдвічі менше, ніж у контрольної (3,3 мм та 6,62 мм) ( Рис. 1.20 - 1.21). Розрахунковий період 10 років. Для того щоб колієутворення не перевищило 1см, за середньої інтенсивності руху економія на товщині асфальтобетонного шару становить 3,8 ( Рис. 1.19)

(Влаштовано у 2012 році)

(Стан на 2017 рік)



(з Forta® FI)

(без Forta® FI)

Рисунок 1.19 – Порівняння дорожнього покриття з Forta® FI та без.

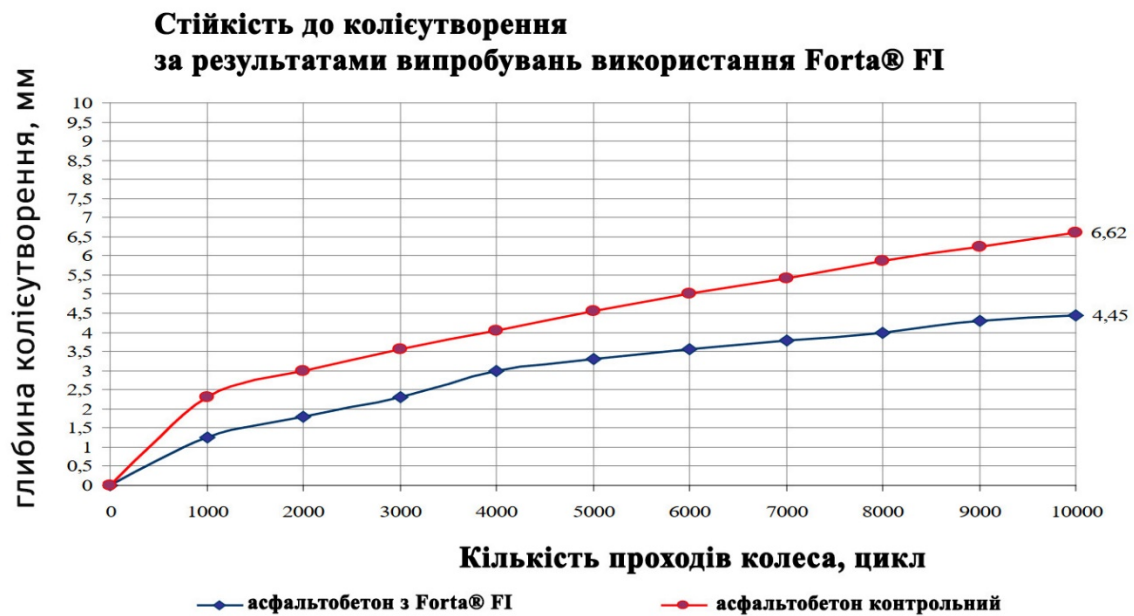


Рисунок 1.20 – Стійкість до колієутворення

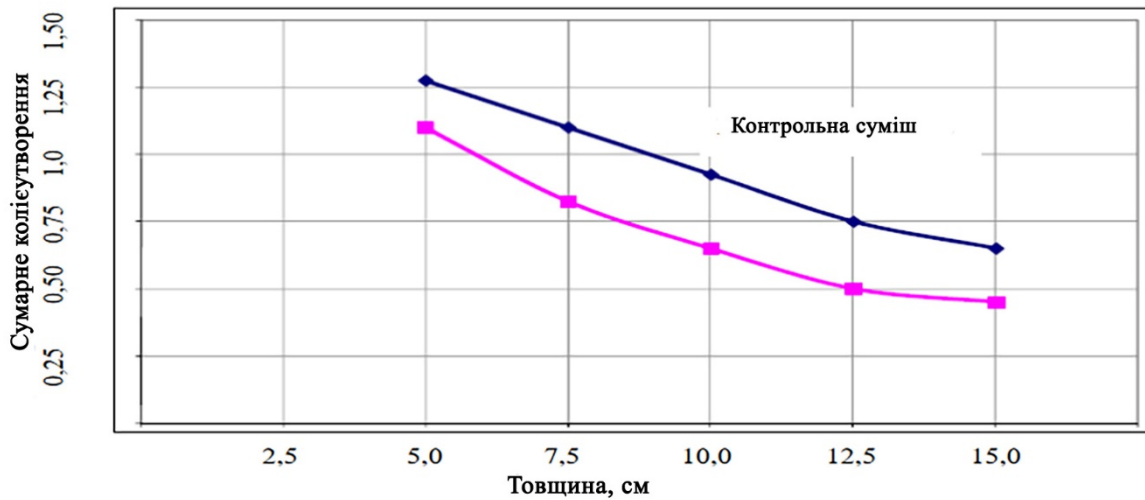


Рисунок 1.21 – Колієутворення

## 1.6 Застосування добавок органічних модифікаторів для покращення властивостей асфальтобетонів

Для підвищення якості доріг необхідно виробляти якісну та ефективну асфальтобетонну суміш, а для цього необхідно використовувати новітні технології з застосуванням різних ресурсів.

Суміш асфальтобетонна складається з оптимально підібраних: мінеральних матеріалів:

- щебеню (або гравію), піску (природного або подрібненого) з тонкодисперсним мінеральним порошком (або без нього);
- органічного в'язучого матеріалу: бітуму (раніше також використовувався дьоготь, але був заборонений до використання в межах міста а пізніше і зовсім виключений з виробництва).

У Європейській практиці, в теперішній час, за необхідності, при будівництві та ремонті дорожніх покриттів використовуються композиційні матеріали на основі бітуму та модифікаторів. У промислово розвинених країнах обсяги застосування модифікованих бітумів постійно зростають на сьогодні – це 10 % усіх дорожніх бітумів. Головною причиною є висока вартість полімерів. Це, на жаль, стримує темпи зростання випуску модифікованих бітумів. Модифіковані бітуми в разі дорожчі, ніж немодифіковані бітуми. Наші автомобільні дороги відрізняються низькою стійкістю і високою зношеністю. Виходячи із сьогоднішніх реалій, відповідно до сучасних навантажень, з огляду на інтенсивність руху, дорожні покриття більшості доріг, або вичерпали свій ресурс, або потребують відновлення.

Одним із шляхів підвищення експлуатаційних властивостей дорожнього асфальтобетону є модифікація бітумів і асфальтобетонних сумішей різними гумовмісними, полімерними, адгезійними та ін. добавками.

Останнім часом у світі збільшилися вимоги до допустимих шкідливих викидів до навколишнього середовища, впливом на людей та економією палива при виробництві асфальтобетону.

З настанням холодів при укладанні гарячого асфальтобетону на холодну поверхню суміш дуже швидко остигає, тому ущільнити її належним чином не вдається. Тому все частіше останнім часом стали застосовувати теплі асфальтобетонні суміші, які можуть ущільнюватися за більш низьких температур і за властивостями відповідають вимогам для гарячих асфальтобетонних сумішей. Завдяки цьому збільшився термін будівельного сезону без втрати якості асфальтобетону. Ми отримуємо значний запас часу на укладання та ущільнення суміші до необхідної щільності, використовуючи теплі асфальтобетонні суміші, які випущені при стандартній робочій температурі (наприклад 145–155°C для бітума нафтового дорожнього (БНД 60/90)). Нові теплі асфальтобетонні суміші значно відрізняються від сумішей, які використовували раніше. Зараз використовують модифікатори, добавки чи спінювання бітуму.



Випускати асфальтобетонну суміш з зниженою температурою дозволяє додавання модифікатора до бітуму.

Для отримання теплих асфальтобетонних сумішей є кілька можливих варіантів:

- технології спінювання бітуму (спінюючі добавки (цеоліти) або системи механічного спінювання);
- органічні пластифікуючі добавки, що містять віск та/або парафін;
- хімічні добавки (поверхнево-активні речовини (ПАР));
- комбіновані технології, що включають одночасне використання декількох з перерахованих вище методів.

Найбільш економічно ефективними по праву вважаються технології що спінюють де, як добавка до бітуму виступає звичайна вода. Незважаючи на це, технології пов'язані з дуже високими первинними витратами на устаткування, та обмежені нижнім порогом температурного режиму робіт, обумовленого температурою конденсації водяної пари. Необхідно враховувати, що при введенні води в бітум, існують ризики зворотного переходу пари у воду, навіть за умови її переходу в пароподібний стан. Що може викликати попадання залишкової вологи в кінцевий асфальтобетон, що покладений. Що надалі, без сумніву, призведе до руйнування дорожнього покриття. Добавки умовно поділяються за принципом дії на: розріджувачі та модифікатори (Рис 1.22)

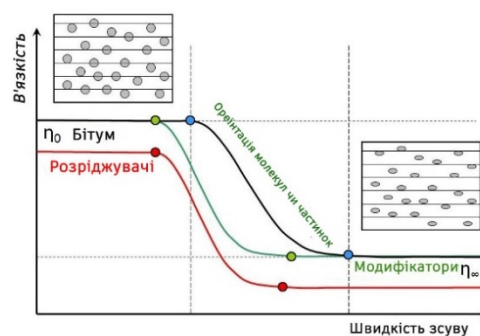


Рисунок 1.22 – Крива в'язкості в'язучих для теплих асфальтобетонів

Початкову в'язкість бітуму знижують розріджувальні добавки. А також збільшують швидкість орієнтації молекул, що пов'язано зі збільшенням дисперсного середовища обсягом в'язучого. В той час як модифікуючі добавки повинні несуттєво впливати на початкову в'язкість бітуму. Модифікуючі добавки повинні допомагати збільшенню швидкості орієнтації молекул поверхнево-активних речовин (ПАР) і в'язучого при меншому зсувному навантаженні, що при більш низьких температурах забезпечує найкраще ущільнення асфальтобетону в покритті.

До останнього часу підвищення зсувостійкості дорожніх асфальтобетонних покриттів досягалося за рахунок застосування середньо- та багатощобеневих асфальтобетонів.

Модифікатори використовують для:

- підвищення стійкості до зсуву шарів покриття, що дозволяє задіяти більшу кількість шарів;
- зменшення луцення;
- запобігання можливого розтріскування за низьких температур;
- для досягнення тривалого періоду служби.

Переваги бітумних модифікаторів:

- значне зниження залишкових деформацій та підвищення опору утворенню тріщин;
- модифікатори бітуму для дорожнього будівництва забезпечують асфальтобетон високими характеристиками міцності;
- суттєва економія часу на укладанні;
- швидкий процес плавлення та затвердіння;
- забезпечує підвищення терміну життєздатності дорожнього бітуму;
- підвищує показники стійкості до зсуву.

Модифікатори бітуму для дорожнього будівництва значно розширюють можливості застосування матеріалів для ямкового ремонту та будівництва

дорожніх покриттів. Додавання модифікаторів особливо необхідне навесні та восени в період атмосферних опадів, а також при зниженій температурі.

На даний час властивості бітумів поліпшують за допомогою модифікації різними полімерами. Покращити якість бітумів можливо, наприклад, за допомогою модифікації їх епоксидними модифікаторами на основі відновлюваної сировини. З огляду на те, що промисловість України не випускає модифікатори бітумів, особливу увагу треба приділити епоксид ріпакової олії (ЕРО) (Табл.1.3).

Таблиця 1.3 – Фізико-механічні характеристики модифікованого бітуму ЕРО

Показник	БНД 90/130	БНД 90/130 + 3 % мас. ЕРО
Температура розм'якшення за "кільцем і кулею", К	318	322
Пенетрація за 298 К, $m \times 10^{-4}$ (0,1 мм)	95	85
Дуктильність за 298 К, $m \times 10^{-2}$ (см)	133	132
Зчеплення зі склом, адгезія, %	95	92

Додавання ЕРО до складу бітуму надає йому такі якості:

- тепловитривалість;
- морозовитривалість;
- еластичність;
- підвищення опірності навантаженням;
- довговічність;

Модифікований ЕРО бітум покращує зчеплення із гранітом, когезію, температуру розм'якшення, дуктильність, має вищу міцність та водостійкість. Асфальтобетон, модифікований ЕРО більш довговічний.

Згідно дослідження властивостей дрібнозернистих асфальтобетонів, які були одержані на основі модифікованих епоксидом ріпакової олії бітумів, визначено фізико-механічні показники зразків асфальтобетону з вмістом бітуму 6,2 %мас. (Таб. 1.4). Для порівняння, використовували бітум нафтовий дорожній марки БНД 90/130, модифікований ЕРО (епоксидом ріпакової олії) протягом 5 год, при температурі 463 К. Дослідження показали, що при веденні 3% ЕРО модифікатора в бітум, за температури 293 К підвищується міцність асфальтобетону в 1,5рази. та за температури 323 К в 2 рази в порівнянні з асфальтобетоном, який не був модифікований.

Таблиця 1.4 – Фізико-механічні характеристики дрібнозернистого асфальтобетону

Показники	Для асфальтобетону, на основі:		
	БНД 90/130, згідно ДСТУ	БНД 90/130	БНД 90/130 модифікованого ЕРО
Вміст бітуму, %	-	6,2	6,2
Водонасичення, % за об'ємом	Не більше ніж 2,5	0,49	0,51
Середня густина, г/см <sup>3</sup>	-	2,40	2,40
Границя міцності МПа, за температури: 20 °С 50 °С	Не менше за 2,9	5,2	8,1
	Не менше за 1,4	1,8	3,8
Коефіцієнт водостійкості	Не менше за 0,91	0,91	0,97

Технологія модифікації бітумів добавкою ЕРО- проста. Виконується модифікація за допомогою установки для модифікації бітуму, як у разі використання модифікаторів, таких, як Elvaloi, KratonD тощо.

Процес модифікації відбувається наступним чином:

- бітум нагрівають до температури 180–190 °С;
- поступово перемішуючи вводять 2–5 % модифікатора ЕРО;
- після введення ЕРО, бітум інтенсивно вимішують ще 5 годин.

Згідно проведених досліджень, одержані результати показали, ефективність добавки ЕРО та її позитивний вплив на підвищення довговічності шарів покриття дорожніх одягів. Одержані результати досліджень свідчать, що при додаванні ЕРО в бітум в кількості 3-5% мас., температура розм'якшення підвищується на 3-5 К, а адгезія підвищується на 1-2 %. Аналізуючи зміни модифікованих та не модифікованих бітумів, а саме фізико-механічні показники приходимо к висновку, що ЕРО ефективний модифікатор для нафтових дорожніх бітумів.

Розглянемо використання новітніх модифікаторів на прикладі оптимізованого низьков'язкового поліетиленового воску Європейського зразка з високою термостабільністю, який призначений для модифікації бітуму (Viscobit® (Вискобит)). Використовується як стандартних, так і в асфальтобетонних литих сумішах. Viscobit має специфічну молекулярну структуру, вона забезпечує ідеальний взаємозв'язок між модифікатором та бітумом. Viscobit не погіршує властивості бітуму при низьких температурах на відміну від інших добавок, що модифікують в'язкість. При використанні модифікатора збільшується діапазон пластичності бітуму, особливо за низьких температур. Модифікатор Viscobit не розшаровується при тривалому зберіганні і легко розподіляється в бітумі при 120°С. Цей модифікатор добре сумісний із бітумом. Дрібні гранули не мають обмежень за часом зберігання та прості у користуванні. Модифікатор Viscobit відповідає всім вимогам органічної добавки.

Viscobit не належить до класу небезпечних речовин. Використання цього модифікатора дає наступні переваги:

- знижує споживання електроенергії;
- протягом виробництва зменшує старіння бітуму;
- покращує опір до деформації асфальтобетонного покриття;
- підвищує безпеку праці;
- зменшує екологічний вплив;
- знижує знос обладнання;

Viscobit добавляється в бітум для отримання низькотемпературного асфальта. Додавання цього модифікатора допомагає підвищити твердість бітуму, залишаючи показники проникності голки у межах встановлених вимог.

Однак основною перешкодою до широкого застосування цього та інших модифікаторів є їх велика вартість.

Альтернативою використанню дорогих модифікаторів може стати модифікація асфальтобетона комплексними полімерами із різних відходів, що є екологічним та особливо актуальним на даний час

## **2. ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ПРОЦЕСИ СТРУКТУРОУТВОРЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ**

### **2.1 Дослідження процесів структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів**

Для підвищення міцності та довговічності дорожніх покриттів необхідно забезпечити стійкість асфальтобетону до руйнувань, тріщиноутворення, лущення, утворенню різних деформацій. Особливо треба враховувати стійкість асфальтобетону в осінній, зимовий, весняний період та врахувати його опірність до зсувних навантажень у літній період. Відомим способом підвищення стійкості до зовнішніх навантажень є введення до складу асфальтобетону дискретних елементів ( мінеральних базальтових , металевих, целюлозних, скловолоконних, синтетичних волокон). Що в свою чергу дозволяє отримати змішаний дисперсно-армований матеріал. Основні технічні характеристики різних видів волокон (Таб. 2.1)

При дисперсному армуванні асфальтобетонних сумішей синтетичними волокнами в асфальтобетоні створюється просторова решітка дисперсної арматури. При дисперсному армуванні за рахунок більш вдосконаленої просторової решітки дисперсної арматури, в асфальтобетоні покращується розподіл напруги від рухомого навантаження. Завдяки чому підвищується довговічність асфальтобетонного покриття. Оптимально підібраний склад асфальтобетонної суміші є одним з основних визначальних факторів, який дозволяє повисити фізико-механічні показники асфальтобетону.[10]

Таблиця 2.1 – Характеристики різних видів волокон

Волокно	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Модуль пружності, МПа	Міцністьнатяг, МПа	Подовження при розриві, %
Поліпропіленове	0,9	3500-8000	400-700	10-25
Поліамідне	0,9	1900-2000	720-750	24-25
Поліетиленове	0,95	1400-4200	600-720	10-12
Акрилове	1,1	2100-2150	210-420	25-45
Нейлонове	1,1	4200-4500	770-840	16-20
Віскозне надміцне	1,2	5600-5800	660-700	14-16
Поліефірне	1,4	8400-8600	730-780	11-13
Бавовняне	1,5	4900-5100	420-700	3-10
Карбонове	1,63	280000-380000	1200-4000	2,0-2,2
Вуглецеве	2,00	200000-250000	2000-3500	1,0-1,6
Скляне	2,60	7000-8000	1800-3850	1,5-3,5
Асбестове	2,60	68000-70000	910-3100	0,6-0,7
Базальтове	2,6-2,70	7000-11000	1600-3200	1,4-3,6
Сталеве	7,8	190000-210000	600-3150	3-4

У дослідженні процесів структуроутворення асфальтобетону дуже важливо знати, як розташовуються дисперсні волокна арматури в адсорбційно-сольватних оболонках бітуму. Щоб дізнатися про це, треба провести порівняння товщини цих шарів з діаметром волокон дисперсної арматури.

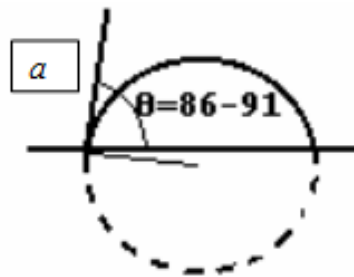
На процес структуроутворення асфальтобетонів впливає дуже важливий фактор - адгезія в'язкого до компонентів асфальтобетонної суміші. Не завжди відбувається необхідне зчеплення бітуму з поверхнею дисперсної арматури при введенні в асфальтобетонну суміш хімічних волокон. Для досягнення гарної



адгезії волокна, що використовуються для дисперсного армування, обробляють ПАР (поверхнево-активними речовинами). Після такої обробки технологія виготовлення асфальтобетонних сумішей дуже ускладнюється. Способом досягнення гарної адгезії арматури і нафтового бітуму може бути спосіб формування волокон дисперсної арматури безпосередньо в складі асфальтобетонної суміші. У процесі приготування асфальтобетонної суміші, в неї, використовуючи фільтри, вводять розплавлений волокноутворюючий полімер. Таким чином, формування просторової армуючої решітки і формування армуючих волокон відбувається безпосередньо в змішувачі. За рахунок такої технології дисперсного армування збільшується довжина дисперсної арматури без комкоутворення. У процесі перемішування частина волокон рватиметься, але вони при цьому матимуть більшу довжину, ніж у разі використання готових різаних хімічних волокон. Таким чином використання методу введення волокноутворювального полімеру у вигляді розчину, або розплаву в змішувальну основу при виготовленні асфальтобетонної суміші, забезпечує поліпшену адгезію нафтового бітуму і сприяє отриманню вдосконаленої структури армуючої решітки в асфальтобетонній суміші.

Було проведено дослідження. Вивчалася величина адгезії нафтового бітуму до поверхонь різних полімерів при різних станах: у твердому стані, у стані розплаву та розчину. (Рис. 2.1) відображає схему визначення величини крайового кута.

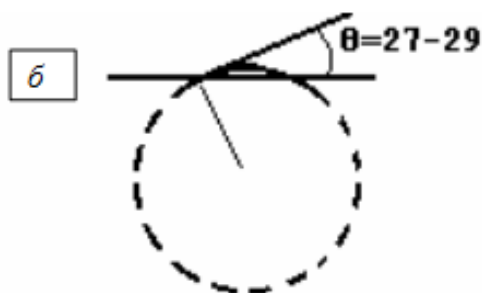
Змочування нафтовим бітумом марки БНД 90/130 поверхні ізотактичного поліпропілену, при твердому стані. Ця величина показує недостатньо гарне змочування нафтовим бітумом поверхні поліпропілену, який знаходиться у твердому стані. Величини крайового кута змочування нафтовим бітумом марки БНД 90/130 знаходиться у межах  $90^\circ$ . Дослідження показало, що величина адгезії бітуму до такої поверхні недостатньо гарна.



а – поліпропілен у твердому стані.

Рисунок 2.1 – Схема визначення величини крайового кута змочування нафтовим бітумом поверхнестей волокнуотворювальних полімерів

(Рис.2.2) Відображає схему визначення величини крайового кута змочування нафтовим бітумом марки БНД 90/130 поверхні ізотактичного поліпропілену, при розплаві. Величина має температуру 27–29°. В цьому випадку крайовий кут змочування говорить про те, що змочування нафтовим бітумом поверхні розплаву поліпропілену значно краще, ніж у попередньому випадку. Отже, адгезія бітуму до поверхні розплаву пропилену значно вище, ніж до поверхні твердого поліпропілену.

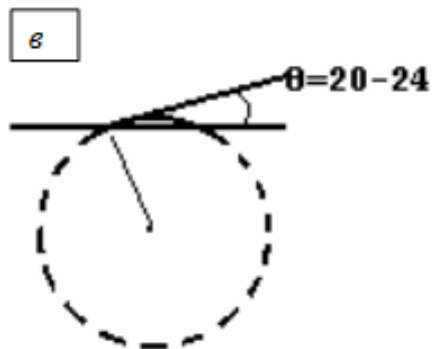


б – поліпропілен у стані розплаву.

Рисунок 2.2 – Схема визначення величини крайового кута змочування нафтовим бітумом поверхнестей волокнуотворювальних полімерів

(Рис. 2.3) Відображає схему величини крайового кута змочування в стані розчину. Знаходиться ця величина в межах 20–24°. В цьому випадку крайовий

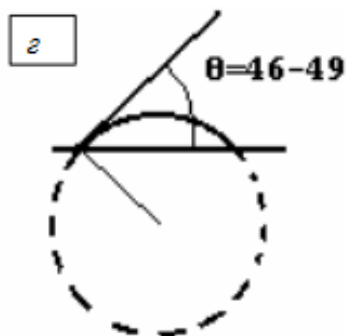
кут доводить те, що змочування нафтовим бітумом поверхні розчину полікарбонату також значно краще, ніж до поверхні твердого полімеру.



в – полікарбонат у розчиненому стані.

Рисунок 2.3 – Схема визначення величини крайового кута змочування нафтовим бітумом поверхнестей волокнуутворювальних полімерів

(Рис.2.4)Ця схема показує як при  $46-49^\circ$  в стані розплаву, визначається величина крайового кута змочування нафтовим бітумом поверхні наповненого полікарбонату. У цьому випадку адгезія нафтового бітуму до поверхні заповненого полікарбонату знов вище, ніж до поверхні твердого полімеру.



г- наповнений полікарбонат у розчиненому стані

Рисунок 2.4 – Схема визначення величини крайового кута змочування нафтовим бітумом поверхнестей волокнуутворювальних полімерів

При порівнянні адгезії приходимо до висновку, що наповнення полікарбонату знижує величину адгезії. Швидше за все це відбувається через особливості наповнювача з невідомими характеристиками.

Виходячи з усього перерахованого вище можна зробити висновок, що дисперсне армування асфальтобетонних сумішей шляхом введення розплаву або розчину полімеру, за винятком вищеперелічених переваг, призводить до переваг структуроутворення: забезпечується зростання кількості частинок, пов'язаних одним її відрізком, внаслідок збільшення довжини відрізка дисперсної арматури, покращується адгезія між плівкою бітуму та дисперсною арматурою. У результаті, характеристики міцності хімічних волокон дуже високі, тому будуть збільшуватися і характеристики міцності одержуваного композиту. В дисперсну арматуру можуть бути перероблені будь-які полімерні відходи з термопласту. Отримати поліпшену структуру решітки армування в асфальтобетоні можна за рахунок введення полімерного волокна у вигляді розплаву або розчину безпосередньо в змішувальну установку у процесі приготування асфальтобетонної суміші.

## **2.2 Розташування дисперсної арматури в адсорбційно-сольватних оболонках бітуму**

Структуру дисперсно-армованих асфальтобетонних сумішей також додатково складають відрізки дисперсної арматури. Відрізки знаходяться в адсорбційно-сольватних оболонках бітуму і розташовуються між зернами мінерального матеріалу. Частинки волокна дисперсної арматури, проходячи через структуровані шари бітума затискаються в них, чим забезпечують додатковий зв'язок між даними частинками. Зв'язок у дисперсно-армованих матеріалах між частинкою-ми забезпечується в основному за рахунок дисперсної

арматури та за рахунок структурованих шарів бітуму. У суміші асфальтобетону близько 80-90% загальної поверхні мінеральних матеріалів складає поверхня зерен із розміром менше 0,071мм. При розрахунку кількості частинок різних фракцій встановлено, що в тих же межах знаходиться і кількість частинок, менше 0,071 мм. З цього випливає, що між частинками розміром менше 0,071 мм відбувається 80-90% всіх контактів.

За умови, що довжина волокна дисперсної арматури 20 мм, частка розміром 0,071 мм за рахунок наявності дисперсної арматури, буде пов'язана із 282 частинками. Виходячи з того, що вздовж волокна розташовані два , або більше рядів частинок, одним відрізком волокна будуть з'єднані як мінімум 564 частинки. Так як кожен відрізок армуючого волокна здатний контактувати з двома-трьома іншими відрізками волокон, загальна кількість частинок пов'язаних цими волокнами з часткою, може досягати 1700. В результаті, у разі дисперсного армування, коефіцієнт зв'язків буде в межах 1500, тоді як в асфальтобетонних сумішах, які були зроблені за традиційною технологією, він дорівнює шести.

Суттєво покращити характеристики дисперсно-армованих матеріалів дозволяє саме збільшення кількості зв'язків між частинками. Досліджуючи процеси структуроутворення асфальтобетонів важливо враховувати, як розташовуються волокна дисперсної арматури в адсорбційно-сольватних оболонках бітуму.

Волокна дисперсної арматури розполагаються в орієнтованих слоях. Щоб зрозуміти, як це відбувається потрібно порівняти товщини цих шарів та діаметр волокон дисперсної арматури. При визначенні товщини орієнтованих шарів бітуму застосовувалися опосередковані методи досліджень. Одним із способів визначення дійсної товщини бітумної плівки, шляхом прямих вимірів, визначив у своїх дослідженнях І.В. Корольов.

За допомогою окулярної мірної сітки мікроскопа МІН-8 (Табл.2.2). були проведені прямі виміри товщини бітумної плівки на поверхні мінеральних матеріалів.

Використовуючи (Табл. 2.2) порівняно діаметр волокон дисперсної арматури з товщиною бітумної плівки на зернах різного розміру. Виходячи з даних таблиць (Табл. 2.2 – Табл. 2.3) можна встановити, що діаметри волокон окремих видів дисперсної арматури перевищують товщину орієнтованого шару бітуму на поверхні мінерального матеріалу. З цього випливає, що між частинками мінерального матеріалу можливі різні способи розташування волокон дисперсної арматури. Товщина бітумної плівки перевищує діаметр волокон, як в асфальтовому розчині, так і в в'язучому асфальтовому, за умови використання для армування мінеральних волокон класу мікрОВОлокно ультратонке і супертонке. Таким чином дисперсна арматура розташовується в адсорбційних шарах бітуму. Встановлено, що в адсорбційних шарах на поверхні мінерального порошку вже не вміщуються товстіші волокна. У зв'язку з тим, що в області приготування та укладання асфальтобетонних сумішей, мінеральні волокна не розм'якшуються під впливом температур, то волокна і не деформуються, і не змінюються, та розсувають частинки мінерального порошку. Якщо використовувати дисперсну арматуру з мінеральних волокон діаметром 24 мкм і менше, то вона розклинює зерна мінерального асфальтового розчину. При використанні дисперсної арматури діаметром більше 80 мкм зерна щебеню розсуваються так само.

Дослідження доводять, що за умови, коли діаметр волокон дисперсної арматури перевищує товщину шару бітуму на поверхні цих мінеральних частинок, при використанні дисперсної арматури, можливе розсування (розклинювання) зерен щебеню та мінеральних частинок асфальтового в'язучого, асфальтового розчину.

Таблиця 2.2 – Толщина бітумної плівки на зернах известняка

Розмір зерен вапняку, мм	Товщина бітумної плівки, мкм
Менш 0,14 (Асфальтове в'язуче)	Менше 6
0,14-3,0 (Асфальтовий розчин)	6-24
3–10 (пісок та щебінь)	46-80

В даному випадку приходимо до висновку, що частинки мінерального матеріалу взаємодіють між собою через об'ємний шар бітуму, а не через орієнтований шар бітуму. Все це призводить, при негативних температурах до зниження міцності бітумомінеральних сумішей. У цьому є частка позитивної складової: за наявності надлишку об'ємного бітуму зменшується швидкість старіння асфальтобетонна на дорогах. Все це дуже важливо враховувати при проектуванні складу суміші.

Таблиця 2.3 – Діаметри волокон в залежності від виду матеріалу та способу формування

Вид волокна та спосіб формування	Діаметр волокна, мкм
Хімічні волокна, при формуванні:	
- із розчину	40-100
- із сплаву	250-1000
Мінеральні волокна:	
- мікрОВОлокно	0,5
- ультратонка	05-1
- супертонке	1-3
- тонке	3-11
- потовщене	11-20
- грубе	20
- відходи мінеральних волокон	20-150

Дисперсна арматура, при використанні діаметром 80 мкм і менше, розташовується в орієнтованому шарі бітуму на зернах щебеню без деформування. Однак, і в асфальтовому розчині і асфальтовому в'язучому волокна з термопластів деформуються і змінюються.

Полімер, з якого виконані хімічні волокна, при ущільненні суміші катками, під впливом температур в процесі приготування та укладання асфальтобетонної суміші, стає більш пластичним, легше деформується та зминається. У результаті, встановлено позитивний вплив на показники фізико-механічні властивості асфальтобетонів при затисканні волокон дисперсної арматури мінеральними частинками.

Виходячи зі всього вищевикладеного можна зробити висновок, що залежно від діаметра волокон, дисперсна арматура може розташовуватися в адсорбційному шарі, не впливаючи на положення частинок мінерального



матеріалу. Також, дисперсна арматура може виходити за межі адсорбційно-сольватної оболонки, розклинюючи частинки мінерального матеріалу. У той же час при використанні дисперсної арматури з мінеральних волокон діаметром 24 мкм і більше потрібно враховувати розклинювання мінеральних частинок. А також при проектуванні треба брати до уваги і коригувати зерновий склад суміші асфальтобетону.

В результаті дослідження доведено позитивний вплив на фізико-механічні властивості асфальтобетонів. В дисперсній арматурі з термопластичних полімерів завдяки тому, що волокна деформуються та змінюються, як наслідок волокна не висмикуються з адсорбційного шару бітуму.

### **2.3 Моделювання стохастичного процесу структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів з використанням теорії фракталів**

Фрактал – це складна самоподібна структура де частини, подібні до цілого. Розмір фрактальної розмірності впливає властивості структури.

Для того щоб визначити залежність просторового розміру  $P$  фрактальної структури від числа елементів, що її утворюють,  $N$  використовують співвідношенні:

$$P \sim N^{1/D},$$

$D$  – фрактальна розмірність;

$N$  – число елементів, що утворюють фрактальну структуру;

$P$  – просторовий розмір фрактальної структури;

Виходячи з факту, що при формуванні структур, при дисперсному армуванні із випадково розташованих елементів виявлено виникнення фракталів, можна дійти висновку, що армуючі елементи зв'язуються в кластери, що володіють фрактальною геометрією.  $P_{max}$  - розміри максимального кластера

залежать від  $n$  - об'ємної концентрації елементів. Критична концентрація елементів  $n_c$  при  $n \rightarrow n_c$  розмір максимального кластера прагне нескінченності.

$$P_{max} \sim (n_c - n); \quad n < n_c;$$

$P_{max}$  – розмір максимального кластеру;

$n_c$  – критична об'ємна концентрація елементів дисперсної арматури;

$n$  – об'ємна концентрація елементів дисперсної арматури.

Окремі фрактальні кластери не пов'язані між собою в єдину структуру, якщо концентрація армуючих елементів менше критичної

$$n < n_c$$

З цього слідує, що дисперсно-армована укріплена основа дорожнього одягу нерівномісна. Там, де утворилися міцні кластери, основа одягу має більш велику міцність. Знижуються транспортно-експлуатаційні показники всієї дороги при руйнуванні сусідніх неміцних ділянок покриття. Ефекту при цьому не буде досягнуто. У широких межах змінюються розміри кластерів міцності. Від кластера з одного елемента до максимального кластера  $P_{max}$

Визначаємо залежність числа кластерів від розміру  $R$  такими формулами:

$$N_p \sim P^{-\tau}; \quad P < P_{max},$$

$\tau$  - показник, що залежить від фрактальної розмірності  $D$ .

Формується єдиний кластер, що охоплює простір армування при концентрації дисперсної арматури  $n$ , що наближається до критичної  $n_c$

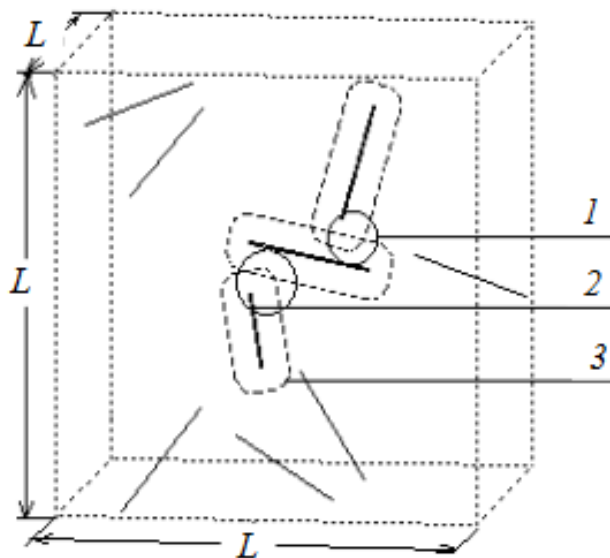
У разі зростання концентрації армуючих елементів зменшується середній розмір осередків. Приєднуючи до себе маленькі кластери великий кластер заповнює простір, що армується. З аналізу фрактальних властивостей дисперсно-армуючих структур можна зробити висновок, що найбільш оптимальним і ефективним є використання армуючих добавок з концентрацією, що трохи перевищує критичну концентрацію. Завдяки цьому навантаження на шар основи розподілиться на більший об'єм шару.

Робимо висновок, що використання теорії фракталів показує, що введення армуючих волокон призводить до формування кластерів.

Модель стохастичного процесу структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів можливо пояснити за допомогою комп'ютерного моделювання із застосуванням елементів фізики фракталів. Цей метод показує більш точно та наглядно логічність досліджуваного процесу. Дозволяє зрозуміти всю суть процесу.

Процес структуроутворення досліджується за допомогою моделі, яка описує армування асфальтобетонів у тривимірному просторі ,як формування об'ємної структури з одновимірних сегментів.

На (Рис.2.5) бачимо мінеральний матеріал у вигляді сфери. Область моделювання зображена у вигляді куба.  $L$ -довжина ребра.



$1$  – мінеральний матеріал;  $2$  – волокно;  $3$  – область взаємодії;  $L$  - довжина ребра куба

Рисунок 2.5 – Схема області моделювання

Заповнюється об'єм куба відрізками заданої довжини-  $l$  .Відповідно до рівномірного закону розподілу, по області моделювання хаотично вибирається

розташування відрізків. Спрямованість кожного відрізка визначається у сферичній системі координат кутами-  $\theta$  и  $\varphi$ , як показано на (Рис. 2.6).

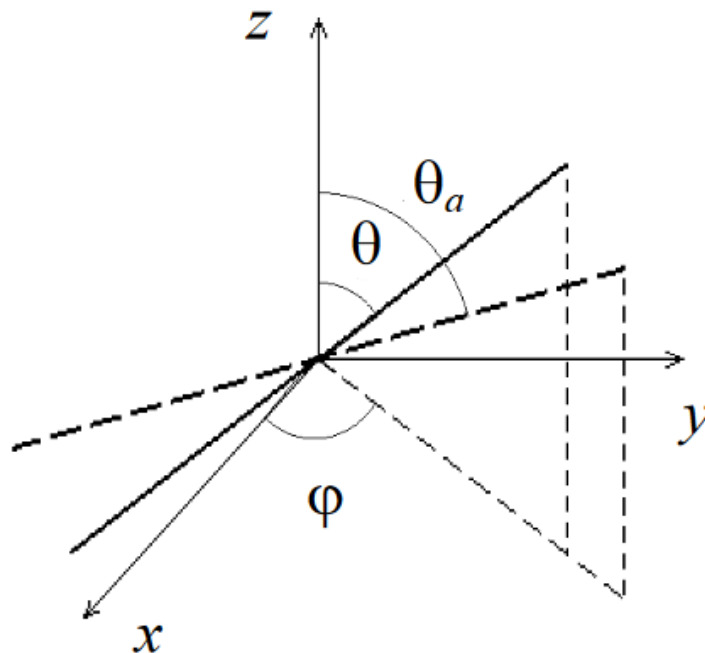


Рисунок 2.6 – Орієнтація відрізків дисперсної арматури

Випадковим чином вибираються кути -  $\theta$  и  $\varphi$ . Всі напрямки мають бути рівноймовірними. При реальному використанні законів ймовірностей показує неоднорідність мінеральної частини основи дорожнього одягу, та відображає стохастичність реального процесу його структуроутворення. Також ми бачимо можливість опису різних властивостей(анізотропії) орієнтації волокон, які можливо пов'язані з ущільненням матеріалу основи дорожнього одягу. При вивченні розподілу відрізків по куту  $\theta$  можна побачити, що вони деформуються так, що складається переважна орієнтація відрізків горизонтальної площині. Згідно формулі (Форм. 2.1), кут  $\theta$ , який був обраний випадково, замінюється кутом  $\theta_a$ .

$$\theta_{\alpha} = \arccos \left[ \left( 1 - \frac{\alpha}{100} \right) \cos \theta \right],$$

Формула 2.1 – Формула розподілу відрізків

Виражений у відсотках коефіцієнт анізотропії  $-\alpha$ . Відрізки, які розташовані близько один до одного об'єднуються в кластери. З формуванням перколяційного кластера, з'єднуючого протилежні грані об'єму, що моделюється, пов'язують поліпшення реологічних параметрів та підвищення характеристик міцності.

Відрізки в кластери об'єднуються в таким способом. Параметр - відстань взаємодії  $r_i$  приписується кожному відрізку. Два відрізки належать одному кластеру і вважаються пов'язаними, якщо вони віддалені один від одного на відстань, яка не перевищує сум їх відстані взаємодії. Рівними радіусам фракцій мінерального матеріала  $r_k$  обираються відстані взаємодії. Сумарна площа відповідної поверхні фракції пропорційна імовірності вибору тієї чи іншої відстані взаємодії  $P(r_k)$ . Описаний порядок розподілу відстаней взаємодії дозволяє врахувати підвищення ймовірності взаємодії волокон із зразками фракції зі збільшенням площі даної фракції. За умови додавання нового відрізка в даний обсяг здійснюється аналіз зв'язку цього відрізка з сусідніми відрізками.

Після отримання результатів порівняння виконується один з трьох отриманих варіантів:

- з'являється новий кластер, що формується з одного відрізка, якщо новий відрізок не пов'язаний з жодним відрізком оточення;
- коли в одному кластері виявлено зв'язок нового відрізка з одним, або декількома відрізками, даний кластер збільшується і кількість відрізків у кластері зростає на одиницю;
- визначено зв'язок нового відрізка з кількома кластерами.

При об'єднанні кластерів виникає новий кластер, у якому міститься новий відрізок та пов'язані з ним кластери.

Залежно від мети експерименту, область моделювання заповнюється відрізками або до формування перколяційного кластера або до досягнення запланованої середньої концентрації відрізків  $n$  у сфері моделювання.

За допомогою іншого варіанту визначається гранична концентрація відрізків  $n_c$

В результаті експерименту модель містить такі параметри:

- довжина відрізків –  $l$ ;
- набір відстаней взаємодії відрізків  $r_k$  разом із визначеним розподілом ймовірності вибору цих відстаней  $P(r_k)$ ;
- $n$  - концентрація відрізків, та  $\alpha$  - коефіцієнт анізотропії.

Концентрація відрізків може визначатися виходячи з умов формування перколяційного кластера, а може задаватися спочатку.

## **2.4 Технологія використання сланцевих фусів та золи - винесення ТЕС в як мінеральний порошок для приготування асфальтобетонних сумішей**

Для підвищення адгезії бітуму та поліпшення властивостей золи-винесення, для модифікації поверхні мінеральних матеріалів можуть використовуватися всі різновиди сланцевих фусів.

На сьогоднішній день, через великі темпи видобутку нафти і газу їх запаси стрімко зменшуються. Виснаження запасів газу та нафти змушує людей звернути увагу на інші джерела вуглеводів. Такими джерелами можуть бути, наприклад, горючі сланці. Запаси, яких у світі досить великі. За різними світовими оцінками у цих джерелах знаходиться понад 630 мільярдів тонн сланцевої смоли, так званої штучної нафти.

Горючі сланці- це гірська порода осадового походження, що складається з мінеральної та органічної ущільненої суміші. Переробляють горючі сланці способом сухої перегонки за допомогою печей внутрішнього та зовнішнього обігріву. Технологічний процес для отримання сланцевої смоли та газу супроводжує утворення відходів виробництва – сланцевих фусів.

Сланцеві фуси – пастоподібна суміш сланцевої смоли, води (до 10 %) та мінеральних примісів (до 80 %). Поміщені в спеціальні сховища, сланцеві фуси, згодом розшаровуються і їх можна розділити на три види (Табл.2.4)

Таблиця 2.4– Види сланцевих фусів

легкі фуси	середні фуси	важкі фуси
<ul style="list-style-type: none"> <li>• вміст мінеральних домішок 5-20%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вміст мінеральних домішок 35-60%</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вміст мінеральних домішок може досягати 85%</li> </ul>

Характеристики сланцевої смоли, що міститься у фусах можна побачити в (Табл. 2.4) Типові склади легких, середніх і важких фусів (Табл. 2.5)

Хімічний склад мінеральних частинок розміром більше 0,071 мм, що містяться у фусах (Табл. 2.6)

Таблиця 2.5 – Характеристики сланцевої смоли, що міститься у фусах

Найменування показників	Середня проба
Середня щільність, кг/м <sup>3</sup>	980-1020
Молекулярна маса	280
Фракційний склад:	
до 200 °С, % обсягу	3
до 300 °С, % обсягу	25
Елементарний склад:	
С	83
С+Н	6,3
Н	1,0
Груповий склад, % маси:	
вуглеводні	20
феноли та кислоти нейтральні	25
кисневі сполуки	35
сірчисті сполуки	5
асфальтени	15
Температура кипіння (початку), °С	130



Таблиця 2.6 –Типові склади сланцевих фусів різних видів

Название показателей	Легкі фуси	Середні фуси	Важкі фуси
Содержание примесей, в % массы:			
частиц размером 0,071-1,0 мм	5	10	13
частиц размером менее 0,071 мм			
твердых органических веществ в минеральных примесях	5	17	40
	10	18	17
Зміст смоли, % маси	75	50	20
Вміст води, % маси	5	7	10

Таблиця 2.7 – Хімічний склад мінеральних частинок розміром більше 0,071 мм, що містяться у фусах

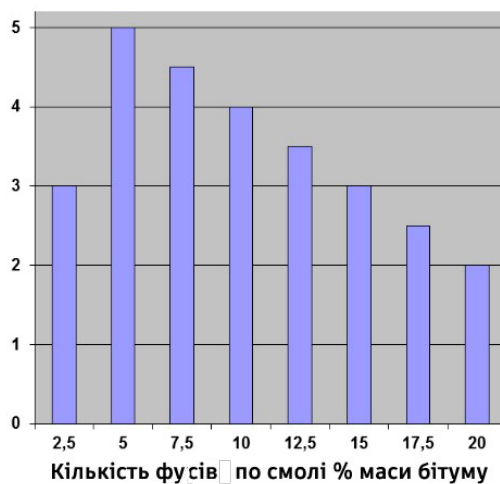
Найменування	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	N <sub>2</sub> O + K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Втрати при прожарюванні
Зміст, % маси	33,0	4,2	8,4	29,8	4,5	8,9	4,0	7,2

На даний час середні і важкі фуси надходять у фусоховища, а легкі фуси частково спалюють у газогенераторних установках.

Якщо проаналізувати (Табл.2.5), можна побачити, що у складі сланцевих смол, нейтральні кисневі сполуки - феноли та карбонові кислоти, переважають. Підвищену реакційну здатність смол, визначають наявність нейтральних кисневих сполук, що складаються з простих ефірів, кетонів, фенолів і кислот - похідними бензольного ряду. Таким чином, можна припустити, що для

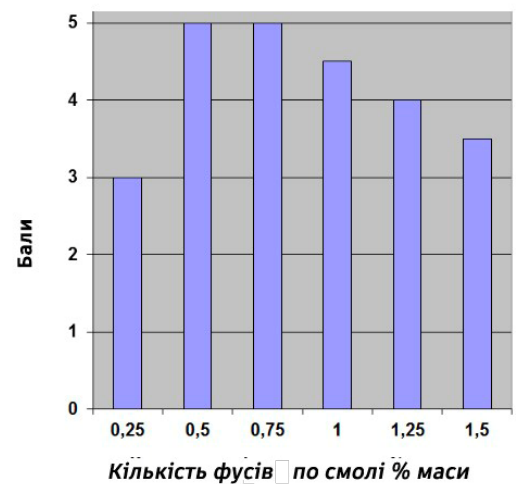
підвищення адгезії в'язкого бітуму до поверхні мінеральних матеріалів в асфальтобетонних сумішах треба застосовувати сланцеві фуси. [11]

Для перевірки припущення про застосування всіх видів фусів, для модифікації поверхні мінеральних матеріалів, проводилися дослідження показника зчеплення в'язучого з поверхністю мінерального матеріалу. Окремо зробили дослідження при введенні фусів у бітум і окремо в мінеральний матеріал. У дослідженнях використовували щебінь із гранітних порід, як мінеральний матеріал. Враховували кількість фусів, що вводяться по сланцевій смолі, що міститься в їх складі (% маси по смолі). У процесі введення в бітум кількості фусів становило 5-20% від маси бітуму. У мінеральний матеріал фусів ввели 0,5-1,4% від маси мінерального матеріалу. На двох (Рис.2.7 - Рис.2.8) видно, при активації бітума і модифікації поверхні мінеральної речовини, сланцевими фусами, зчеплення мінеральної речовини і в'язучого покращується. При цьому при введенні сланцевих фусів у мінеральний матеріал, результат значно перевищує, ніж при введенні фусів у бітум.



**Залежність зчеплення бітуму з поверхню граніту від кількості фусів, введених у бітум**

Рисунок 2.7 – Кількість фусів



**Залежність зчеплення бітуму з поверхню граніту від кількості фусів, введених у мінеральний матеріал**

Рисунок 2.8 – Кількість фусів

Через свою підвищену хімічної активності сланцева смола має більш виражену адгезійну здатність, ніж нафтовий бітум. Адгезія значно більше, якщо вводити фуси безпосередньо в мінеральний матеріал, а не в бітум. На (Рис.2.8) видно, що кількість фусів по смолі не повинна бути більше 5-10%. Інакше відбудеться розведення в'язкого нафтового бітму сланцевою смолою. Це порушить водостійкість бітумної плівки.

На (Табл. 2.6 - Табл. 2.7) показано, що мінеральні домішки які містяться у фусах, за хімічним та зерновим складом відповідають усім умовам, до порошкоподібних відходів, які використовують у складі асфальтобетонних сумішей. Середні та важкі сланцеві фуси можуть використовуватись, як мінеральний порошок. Недостатню мінеральну частину можна доповнити порошком відходів виробництва – золи-винесення. Потрібно враховувати, що властивості золи-винесення в чистому вигляді мають деякі недоліки: підвищена бітумоемність, підвищена пористість, великий вміст полуторних оксидів ( $Al_2O_3$ (оксид алюмінію),  $Fe_2O_3$  (оксид заліза), які є каталізаторами старіння асфальтового в'язучого.

Нижче на (Рис. 2.9, Рис 2.10) можна побачити дані результатів дослідження.

Впливи сланцевих добавок фусів на властивості золи-винесення гідровіддалення.



Рисунок 2.9 – Дослідження фусів

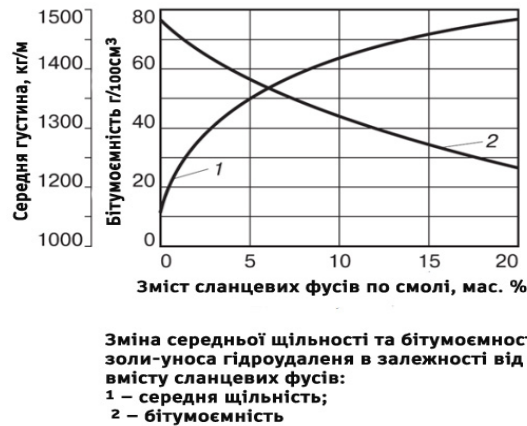


Рисунок 2.10 – Дослідження фусів

Перед початком випробування зола просушується до постійного стану в сушильній шафі. Потім зола нагрівається до 130 °С. Наступним етапом зола обробляється сланцевими фусами.

В даному дослідженні використовувалися фуси середньої зольності 33% за масою, в яких міститься низька кількість мінеральних частинок. Витрата фусів у дослідженні враховується за сланцевою смолою. Якщо подивитися на (Рис.2.9,Рис.2.10) , то можливо побачити , що справжня щільність золи-винесення зменшується при збільшенні вмісту фусів. В результаті, справжня щільність асфальтобетону зменшується.[19]

Виходячи з отриманих результатів слідує, що при однаковій кількості асфальтобетонної суміші можливо влаштувати покриття на більшій площі. Що призводить до економії асфальтобетонної суміші. На (Рис. 2.9) видно, що зменшення пористості золи-винесення гідровидалення відбувається зі збільшенням вмісту сланцевих фусов. Золи-винесення , яка не містить фусів має пористість вище 45%. При веденні 15% фусів по смолі відбувається падіння пористості на 20%.

Як наслідок пористість золи зменшується внаслідок кольтатації (процес природного проникнення) пор сланцевої смолою частинок золи-винесення. Як

наслідок зростає щільність золи та зменшується її бітумоемність (Рис. 2.10) При зменшенні бітумоемності золи-винесення виключається можливість витрати надміру нафтового бітуму. При використанні його, як мінеральний порошок для приготування асфальтобетонної суміші.[11]

Результати дослідження, властивостей асфальтобетонів із сумішей, з використанням сланцевих фусів, показують, що всі показники відповідають нормам та стандартам.

При проведенні дослідження методом інфрачервоної спектроскопії, встановлено, що карбонові кислоти і феноли, які містяться в сланцевій смолі, взаємодіють з полуторними оксидами, що містяться в золі.  $Al_2O_3$ (оксид алюмінію),  $Fe_2O_3$  (оксид заліза) - каталізатори старіння нафтового бітуму. Полуторні оксиди нейтралізуються, як каталізатори старіння бітуму. Концентрація ароматичних сполук в адсорбційних шарах бітуму зменшується. Шари бітуму стають більш еластичними за мінусових температур. Тріщиноутворення дорожнього одягу знижується. Термін служби асфальтобетону збільшується.

У результаті, можливо зробити висновок, що сланцеві фуси можуть використовуватися в складі асфальтабетону. Для модифікування поверхні мінеральних матеріалів, у тому числі золи-винесення гідровидалення - легкі сланцеві фуси. Для заміни кондиційного мінерального порошку-середні та важкі фуси. Адгезія нафтового бітуму до поверхні мінеральних матеріалів - поліпшується, пористість золи-винесення та її бітумоемність-знижуються. У зв'язку з цим перевитрата нафтового бітуму виключається.

### **3 ТЕХНОЛОГІЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З ДИСПЕРСНОГО АРМУВАННЯ ТА ДВОХСТАДІЙНОГО ПРИГОТУВАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

#### **3.1 Вимоги до матеріалів, які використовуються для приготування асфальтобетонних сумішей**

При приготуванні асфальтобетонних сумішей слід враховувати ДСТУ Б В.2.7-119:2011[22], ДСТУ Б В.2.7-127:2015[23], ДСТУ Б В.2.7-75-98[24]

Всі матеріали, що використовуються для приготування асфальтобетонних сумішей повинні відповідати вимогам Державного Стандарту. Асфальтобетонні суміші діляться на щебеневі, гравійні та піщані.

Для приготування асфальтобетону потрібен щебінь та гравій. Щебінь використовують міцні, морозостійкі, осадові, метаморфічні, гірські вивержені порода. Так само використовують повільноохолодженні міцні шлаки. Міцність при стисканні гірських порід має бути не менша за 100...120 МПа, а осадових карбонатних порід та металургійних шлаків має бути не менше 80...100 МПа. Для приготування дрібнозернистих асфальтобетонних сумішей призначений щебінь з розміром зерен дрібніший за 20 мм, а щебінь з розміром дрібніший за 40 мм - для крупнозернистих. До міцності вапняків, доломітів та шлаків вимоги нижче, у зв'язку з гарним прилипанням бітуму до цих матеріалів. Для щебня из горных пород. Для щебеню з гірських порід показник міцності при зносі трохи більше 25- 35%. Щебінь для суміші асфальтобетону беруть чистий, глинисті та пилюваті частинки не повинні підвищувати 2 %. Правильно обраним вважається щебінь з формою зерен наближеною до тетраїдної та кубоподібної, з шорсткою поверхнею.

Ліщадні та голчасті зерна повинні бути обмежені для сумішей марки I: типу А1, А - 15 % Б1, Б - 20 %, В - 30 % за масою; для сумішей марки II: типу А1, А - 17 %, Б - 25 %, В - 35 % за масою. ДСТУ Б В.2.7-119:2011[22] щебінь для асфальтобетону повинен бути, без руйнування, витримувати не менше 50 циклів поперемінного заморожування та відтавання, а для нижнього шару покриття щебеню повинен витримувати не менше 25 таких циклів.

Для приготування асфальтобетонної суміші потрібно брати щебеню таких фракцій: від 5 (3) мм до 10 мм, від 10 мм до 15 мм, від 10 мм до 20 мм, від 15 мм до 20 мм, від 20 мм до 40 мм. Для марки асфальтобетона I використовують митий щебеню із змістом пилюватих та глинистих часток не більше 1 % за масою щебеню.( визначених методом відмучування).

Суміші піщано-гравійні за зерновим складом мають відповідати вимогам. Щебіню - що отримують дробленням гірських порід ДСТУ Б В.2.7-75-98 [24], щебіню із гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів ДСТУ Б В.2.7-34-200 [25], щебіню із металургійних шлаків ДСТУ 9043:2020 [26].

Для гравію та піску ДСТУ Б В.2.7-34-2001[25]. Марка щебеню за дробильністю та інші показники його властивостей у залежності від марки, типу і виду асфальтобетонної суміші і асфальтобетону повинні відповідати вимогам (Табл.3.1.) Для використання в асфальтобетонних сумішах використовують дрібний заповнювач- пісок. Використовують щільні природні або штучні дроблені піски, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-32-95[28] та (або) ДСТУ Б В.2.7-76-98[29], ДСТУ Б В.2.7-210:2010[30] (крім вимог до вмісту фракцій менше ніж 0,071 мм) Допускається для виробництва пісок кварцево-залізистий(суміші марки II) ДСТУ Б В.2.7-33-2001[31]. Згідно ДСТУ Б В.2.7-119:2011[22] при виготовленні асфальтобетонної суміші допускається в суміші марки II використовувати зерна дрібніше 0,071 мм, які містять у відсівах дроблення вивержених гірських порід в кількості не більше ніж 50 % від необхідного для виробництва. Решту фракції доповнюють зернами мінерального

порошку згідно ДСТУ Б В.2.7-121:2014[32]. Показники властивостей дроблених пісків указані в (Табл. 3.1)

Таблиця 3.1 – Показники властивостей щебню

Назва показників	Норми для суміші та асфальтобетону марок, груп, класів, типів											
	Марка I для груп						Марка II для груп					
	Щільний для класів					Пориста і високопориста гаряча типу	Щільний для класів					Пористий і високопористий гарячий типу
	Гаряча типу		Холодна типу				Гаряча типу		Холодна типу			
A1, AБ1, Б	В	Б	В	А-Б	A1, AБ1, Б	В	Б	В	А-Б			
1. Марка щебеню за дробильністю при стисканні у циліндрі, не нижче:												
- із вивержених і метаморфічних гірських порід	1200	1200	1000	1000	800	800	1000	1000	800	800	600	600
- із осадових гірських порід	1200	1000	800	800	600	600	1000	800	600	800	600	400
- із металургійних шлаків, не нижче	1200	1000	800	1000	800	800	1000	800	600	800	600	600
2. Марка щебеню за зносом у поличному барабані, не нижче:												
- із вивержених і метаморфічних гірських порід	СТ-I	СТ-I	СТ-II	СТ-II	СТ-III	Не нормують	СТ-II	СТ-II	СТ-III	СТ-III	СТ-IV	Не нормують
- із осадових гірських порід	СТ-I	СТ-II	СТ-III	СТ-III	СТ-IV		СТ-II	СТ-III	СТ-IV	СТ-III	СТ-IV	
- із металургійних шлаків	СТ-I	СТ-I	СТ-II	СТ-II	СТ-II		СТ-I	СТ-II	СТ-III	СТ-III	СТ-IV	
3. Марка за морозостійкістю для всіх видів щебеню, не нижче:												
а) у районах А-1, А-2, А-3, А-6 та у Кримських горах	F50	F50	F50	F50	F50	F25	F50	F50	F25	F25	F25	F15
б) у районах А-4, А-5, А-7	F25	F25	F25	F25	F25	F25	F25	F25	F15	F15	F15	F15



Таблиця 3.2 – Показники властивостей дроблених пісків

Назва показників	Норми для суміші марок			
	I		II	
	Гарячої і холодної сумішей типів А1, А, Б1, Б, В, Г, А-Б	Суміші для пористого і високопористого асфальтобетону	Гарячої і холодної сумішей типів А1, А, Б1, Б, В, Г, А-Б, Д	Суміші для пористого і високопористого асфальтобетону
Марка вихідної гірської породи за дробильністю, не нижче	1000	600	800	400
Марка вихідного гравію за дробильністю, не нижче	800	600	600	400
Вміст глинистих домішок, % за масою, не більше	0,5	0,5	1,0	1,0
<p><b>Примітка 1.</b> Для асфальтобетону із суміші типу Г марок I необхідно використовувати дроблені піски і відсівні продуктів дроблення тільки з вивержених гірських порід.</p> <p><b>Примітка 2.</b> Вміст глинистих домішок у піску слід визначати методом набрякання згідно з ДСТУ Б В.2.7-210.</p>				

Мінерального порошок, який використовують для виробництва суміші потрібен відповідати ДСТУ Б В.2.7-121:2001[32] Для використання дозволяється мінеральний порошок марки II молоті основні металургійні шлаки і (або) цемент низької активності (марки не вище 300) згідно з ДСТУ Б В.2.7-46:2010 [33] за відповідності вимогам ДСТУ Б В.2.7-121:2014[32]. Для асфальтобетонних сумішей беруть активовані та неактивовані мінеральні порошки. В якості мінерального порошку, допускається використання в гарячих сумішах для щільного асфальтобетону II - III марок тонкоподрібнених основних металургійних шлаків, а також саморозпадних металургійних шлаків, до яких можуть бути віднесені відходи виробництва заводів з виплавки ферохромів. Інші

порошкові відходи промисловості, як, пил золи-винесення цементних заводів, золи-золи-винесення ТЕЦ та ін. які допускаються для використання в гарячих сумішах для щільного асфальтобетону III марки та I-II марок для пористих та високопористих асфальтобетонів.[19]

Бітуми – органічні в'язучі речовини, які складаються з високомолекулярних вуглеводнів: нафтового, метанового та ароматичного, у тому числі кисневих, сірчистих та азотистих похідних.

Для приготування асфальтобетонних сумішей беруть нафтові дорожні та нафтові дорожні в'язкі рідкі бітуми. Для гарячих асфальтобетонних сумішей I та II марок використовують бітум дорожній (БНД)-бітум нафтовий дорожний. Для сумішей III і IV марки, що використовуються для гарячих асфальтобетонних сумішей, і для влаштування основ і нижніх шарів покриттів поряд з бітумами марок БНД допускається використання марок БН відповідної в'язкості.

Оптимальний склад бетону підбирають залежно від властивостей обраних матеріалів, кліматичних умов та характеру автомобільного руху. На стадії проектування та розробки покриття вибирають асфальтобетон безпосередньо для кожного шару дорожніх одягів. На дорогах всіх категорій, у верхніх шарах покриття використовують лише щільний асфальтобетон.

Що стосується нижніх шарів покриттів, то на дорогах I - II категорій використовують пористий асфальтобетон, а на дорогах III - IV категорій - з високопористого асфальтобетону. Залежно від категорії дороги та кліматичних умов району будівництва обирають вид та тип асфальтобетону.

Вимоги до модифікуючих добавок для асфальтобетонної суміші повинні відповідати вимогам виробника добавок та чинним стандартам.

Потрібно використовувати адгезійні добавки - катіонні поверхнево-активні речовини (ПАР) або інше, що підвищує зчеплюваність бітумного в'язучого з поверхнею мінеральних матеріалів. У випадку незадовільного зчеплення бітумного в'язучого з поверхнею мінеральних матеріалів бітуми,

модифікують адгезійними добавками, які повинні відповідати вимогам та стандартам.

### **3.2 Особливості проектування складу асфальтобетонних сумішей**

Вченими в усьому світі розроблено багато методів проектування складу асфальтобетону. Методи поділяються на експериментальні та розрахунково-експериментальні.

Кожен з цих методів має свої особливості, переваги та недоліки. Внаслідок експериментальних методів визначають найбільш якісний склад асфальтобетону. Такі методи передбачають серію випробувань зразків складів. В основу расчотно-експериментальних методів покладено закономірності, які висловлені як кількісні залежності між компонентами. Такі методи дозволяють робити теоритичні розрахунки, дозволяють оптимально керувати структурою, складом, властивостями та вартістю асфальтобетону. Ці методи дають можливість змінювати структуру та властивості асфальтобетону у потрібному напрямку. Тому вони використовуються частіше.

Проектування складу асфальтобетону-це раціональне співвідношення між матеріалами з яких він створений. За умови проектування створюються певні технологічні завдання та задаються експлуатаційні властивості. При влаштуванні одношарових покриттів та верхнього шару двобудівельних проектується щільний шар, а для нижнього шару проектується пористий. Перевагу віддають крупнозернистому та рідше середньозернистому асфальтобетону, який відрізняється шорсткою поверхнею.

Склад асфальтобетону повинен відповідати вимогам економічності та надавати змогу застосування місцевих та доступних будівельних матеріалів.

Якщо асфальтобетонна суміш не відповідає вимогам стандарту за будь-якими показниками, склад суміші змінюють.

Найвідомішими методами проектування складу асфальтобетону є:

- метод професора Сахарова- по асфальтовій в'язучій речовині;
- метод професора Риб'єва- згідно з заданими умовами експлуатації;
- метод професора Дюр'є. згідно з модулем насичення- по питомій поверхні та модулю насиченості суміші в'язучою речовиною;
- метод професора Іванова згідно з граничними кривими щільних сумішей.
- метод за показниками міцності лабораторних зразків, що випробовуються на приладах Хвіма, Сміта та ін;
- за обсягом повітряних пір та мінімальною кількістю бітумного в'язучого у зразках, ущільнених за Проктором (метод Хаббарда-Філда).

При всьому різноманітті методів, існують основні принципи проектування асфальтобетонної суміші. Орієнтовані вони отримання якісної суміші асфальтобетону.

У завданні на проектування зазвичай вказують:

- для яких цілей та конструктивних шарів буде використаний асфальтобетон. (дорожне чи аеродромне будівництво, верхнього чи нижнього шару тощо);
- марка асфальтобетонної суміші та його тип (А. Б. В. Г і Д), та щільність;
- вид асфальтобетону – гарячий, теплий чи холодний;
- крупність – дрібний, середній, великий;
- характеристика вихідних матеріалів.

Розрахунок складу асфальтобетонної суміші ведуть по граничним кривим щільних сумішей. Виконують розрахунок у такому порядку:

- по гранулометрії мінеральних матеріалів, таких, як щебінь, пісок, висівки, мінеральний порошок, визначається зерновий склад. Усі матеріали повинні відповідати Державним Стандартам;

– розраховується співвідношення між складовими мінеральними компонентами, визначається гранулометрія у суміші цих компонентів.

Отриманий зерновий склад порівнюють із нормативним зерновим складом та ДСТУ Б В.2.7-119:2011 (Табл.3.3)[22]

Розрахунок мінеральних матеріалів вважають правильним, якщо підібраний склад, для цього типу суміші, буде в межах, зазначених у таблицях. Інакше співвідношення між матеріалами слід змінити та перерахувати за фракціями. Якщо зерновий склад не вдається підібрати, слід вихідні заповнювачі взяти з іншим зерновим складом.

Зазвичай готують кілька складів: один за рекомендацією згідно з державним стандартом (Табл. 3.3, Табл. 3.4), інші склади, повинні відрізнятися від стандарту у більшу і меншу сторону на 0-15%.

Далі зразки асфальтобетону, виготовлені за методикою, випробовують. Вибирають склад, який показав найкращі результати. З цього складу готують контрольні зразки, та випробовують їх. Фізико-механічні властивості повинні відповідати ДСТУ Б В.2.7-306:2015 (Табл. 3.5, Табл.3.6, Табл.3.7. Табл 3.8)[27]

Таблиця 3.4 – Зерновий склад холодної суміші

Назва і тип суміші	Вміст за масою, % мінеральних зерен, менших даного розміру, мм									
	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
Холодна дрібнозерниста: тип Б	100-95	100-85	100-70	65-50	50-33	39-21	29-14	22-10	16-9	12-8
тип В	100-95	100-88	100-80	80-65	60-50	49-39	38-29	31-22	22-16	17-12
Холодна піщана тип Г			100	100-95	82-66	69-46	54-26	43-18	30-14	20-12
тип Д			100	100-95	93-74	86-53	75-37	55-27	33-17	16-10
<b>Примітка.</b> При приймально-здавальних випробуваннях дозволяється визначати зерновий склад суміші за контрольними розмірами зерен у відповідності з нормативними значеннями, що виділені жирним шрифтом										

Таблиця 3.3 – Зернові склади мінеральної гарячої сумі

Група асфальтобетону	Різновид 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	0,315	0,14	0,071
Щільний	Непереривчастий	A1	кр	<b>100-95</b>	87-75	<b>80-65</b>	73-55	65-45	<b>55-35</b>	42-24	30-17	<b>22-12</b>	16-9	12-6	<b>10-4</b>
		A	Др		100	<b>100-95</b>	92-83	81-67	<b>55-45</b>	42-27	33-18	<b>26-12</b>	20-9	14-6	<b>11-5</b>
						<b>100</b>	100-95	78-67	<b>55-45</b>	41-28	34-20	<b>27-12</b>	20-9	14-6	<b>11-5</b>
		B	кр	<b>100-95</b>	-	<b>86-78</b>	80-70	74-62	<b>65-50</b>	52-38	39-28	<b>29-20</b>	22-14	16-9	<b>12-6</b>
		B1	Др		100	<b>100-95</b>	93-84	82-69	<b>65-55</b>	53-41	42-31	<b>33-23</b>	25-16	18-11	<b>14-8</b>
						<b>100</b>	100-95	85-75	<b>65-55</b>	53-42	43-32	<b>33-23</b>	25-16	18-11	<b>14-8</b>
		B	Др		100	<b>100-95</b>	100-88	90-80	<b>75-65</b>	64-51	52-37	<b>40-25</b>	27-16	20-11	<b>16-9</b>
						<b>100</b>	100-95	90-82	<b>75-65</b>	64-51	52-37	<b>40-25</b>	29-16	20-11	<b>16-9</b>
			100	100-90	<b>75-65</b>	64-51	52-37	<b>40-25</b>	29-16	20-11	<b>16-9</b>				
	Г	Пш					100	<b>100-95</b>	83-68	67-45	<b>50-28</b>	35-18	24-11	<b>16-8</b>	
	Д	Пш					100	<b>100-95</b>	93-74	86-53	<b>75-37</b>	55-27	33-17	<b>16-10</b>	
	Переривчастий	A1	кр	<b>100-95</b>	-	<b>80-65</b>	70-55	62-45	<b>50-35</b>	50-28	50-22	<b>50-18</b>	28-14	15-8	<b>10-4</b>
		A	Др		100	<b>100-95</b>	88-80	73-65	<b>55-45</b>	55-35	55-25	<b>55-20</b>	29-12	17-8	<b>11-5</b>
		B1	кр	<b>100-95</b>	-	<b>86-78</b>	80-70	74-62	<b>65-50</b>	65-40	65-34	<b>65-27</b>	40-20	23-14	<b>12-6</b>
B		Др			<b>100-95</b>	100-85	100-70	<b>65-55</b>	65-40	65-34	<b>65-27</b>	40-20	23-14	<b>12-6</b>	
Пористий	Непереривчастий	A-Б	кр	<b>100-95</b>	99-97	<b>97-70</b>	94-57	76-45	<b>65-27</b>	50-18	38-10	<b>28-7</b>	22-4	15-3	<b>8-2</b>
		A-Б	др			<b>100-70</b>	95-57	76-45	<b>65-27</b>	50-18	38-10	<b>28-7</b>	22-4	15-3	<b>8-2</b>
	Переривчастий	A-Б	кр	<b>100-95</b>	99-96	<b>96-65</b>	92-54	88-42	<b>65-30</b>	65-25	65-18	<b>65-12</b>	40-8	22-5	<b>8-2</b>
		A-Б	др			<b>100-65</b>	100-54	88-42	<b>65-30</b>	65-25	65-18	<b>65-12</b>	40-8	22-5	<b>8-2</b>
Високопористий	Непереривчастий	A-Б	кр	<b>100-95</b>	99-97	<b>97-70</b>	94-57	76-45	<b>65-27</b>	50-18	38-10	<b>28-7</b>	22-4	15-3	<b>8-2</b>
		A-Б	др			<b>100-70</b>	95-57	76-45	<b>65-27</b>	50-18	38-10	<b>28-7</b>	22-4	15-3	<b>8-2</b>
		A-Б	Пш					100	<b>100-95</b>	100-68	100-45	<b>88-28</b>	73-18	45-10	<b>10-4</b>
	Переривчастий	A-Б	кр	<b>100-95</b>	99-96	<b>96-65</b>	92-54	88-42	<b>65-30</b>	65-25	65-18	<b>65-12</b>	40-8	22-5	<b>8-2</b>
		A-Б	др			<b>100-65</b>	100-54	88-42	<b>65-30</b>	65-25	65-18	<b>65-12</b>	40-8	22-5	<b>8-2</b>

**Примітка.** При прийнятно-здавальних випробуваннях дозволяється визначати зерновий склад суміші за контрольними розмірами зерен, що виділені жирним шрифтом.

Таблиця 3.5 – Фізико-механічні властивості АБ марок I та II кліматичних районів

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги для АБ марок в залежності від районів							
		I	II	I	II	I	II	I	II
		Шифр							
		A-1; A-2		A-3; A-4		A-5; A-6		A-7	
1	Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для АБ із АБС типу:								
	— А1, А і Б1, Б	15-19	15-19	15-18	15-18	15-19	15-19	15-18	15-18
	— В і Г	18-22	18-22	17-20	17-20	18-22	18-22	17-20	17-20
	— Д	-	18-22	-	17-20	-	18-22	-	17-20
2	Залишкова пористість, % за об'ємом	2-5	2-5	2-4	2-4	2-5	2-5	2-5	2-5
3	Водонасичення, % за об'ємом, для АБ із АБС типу:								
	— А1, А, не більше	1,5-3,5	1,5-3,5	1,0-3,5	1,0-3,5	1,5-4,0	1,5-4,0	1,5-4,0	1,5-4,0
	— Б1, Б, В і Г, не більше	1,5-3,0	1,5-3,0	1,0-3,0	1,0-3,0	1,5-3,5	1,5-3,5	1,5-3,5	1,5-3,5
	— Д, не більше	-	1,5-3,0	-	1,0-3,0	-	1,5-3,5	-	1,5-3,5
4	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 0 °С для АБ із АБС всіх типів, не більше	12,0	13,0	12,0	13,0	12,0	13,0	11,0	12,0
5	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 °С для АБ із АБС всіх типів, не менше	2,7	2,5	2,7	2,5	2,8	2,6	2,8	2,6
6	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 °С для АБ із АБС типу:								
	— А1, А, не менше	1,2	1,1	1,2	1,1	1,3	1,3	1,3	1,3
	— Б1, Б і В, не менше	1,3	1,2	1,3	1,2	1,4	1,3	1,4	1,3
	— Г, не менше	1,4	1,3	1,4	1,3	1,6	1,5	1,6	1,5
— Д, не менше	-	1,2	-	1,2	-	1,3	-	1,3	
7	Коефіцієнт довготривалої водостійкості, не менше	0,90/0,87	0,89/0,85	0,90/0,86	0,87/0,83	0,88/0,84	0,86/0,82	0,86/0,82	0,84/0,80
8	Коефіцієнт морозостійкості, не менше	0,80	0,75	0,73	0,68	0,68	0,63	0,65	0,60
<b>Примітка.</b> Вимоги до коефіцієнта довготривалої водостійкості у чисельнику наведено для шару покриття та зв'язуючого шару, у знаменнику — для шару основи.									

Таблиця 3.6 – Фізико-механічні властивості АБ марок І та ІІ

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги для АБ марок в залежності від районів							
		I	II	I	II	I	II	I	II
		Карпатський (Передкарпаття, Гірські Карпати)		Закарпатський		Кримські гори		Південний берег Криму	
1	Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для АБ із АБС типу:								
	— А1, А і Б1, Б	15-19	15-19	15-19	15-19	15-18	15-18	15-18	15-18
	— В і Г	18-22	18-22	18-22	18-22	17-20	17-20	17-20	17-20
	— Д	-	18-22	-	18-22	-	17-20	-	17-20
2	Залишкова пористість, % за об'ємом	2-4	2-4	2-5	2-5	2-4	2-4	3-5	3-5
3	Водонасичення, % за об'ємом, для АБ із АБС типу:								
	— А1, А	1,0-3,0	1,0-3,5	1,5-4,0	1,5-4,0	1,0-3,5	1,0-3,5	1,5-4,5	1,5-4,5
	— Б1, Б, В і Г	1,0-2,5	1,0-3,0	1,5-3,5	1,5-3,5	1,0-3,0	1,0-3,0	1,5-4,0	1,5-4,0
	— Д	-	1,0-3,0	-	1,5-3,5	-	1,0-3,0	-	1,5-3,5
4	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 0 °С для АБ із АБС всіх типів, не більше	12	13	12	13	12	13	11	12
5	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 °С для АБ із АБС всіх типів, не менше	2,9	2,7	2,8	2,6	2,7	2,5	3	2,8
6	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 °С для АБ із АБС типу:								
	— А1, А, не менше	1,3	1,2	1,3	1,3	1,2	1,1	1,4	1,4
	— Б1, Б і В, не менше	1,4	1,3	1,4	1,3	1,3	1,2	1,5	1,4
	— Г, не менше	1,6	1,5	1,5	1,3	1,6	1,5	1,8	1,6
— Д, не менше	-	1,3	-	1,3	-	1,2	-	1,2	
7	Коефіцієнт довготривалої водостійкості, не менше	0,91/0,89	0,90/0,87	0,90/0,85	0,87/0,83	0,90/0,85	0,87/0,83	0,87/0,83	0,80/0,75
8	Коефіцієнт морозостійкості, не менше	0,83	0,80	0,73	0,68	0,73	0,68	0,68	0,60

**Примітка.** Вимоги до коефіцієнта довготривалої водостійкості у чисельнику наведено для шару покриття та зв'язуючого шару, у знаменнику — для шару основи.



Таблиця 3.7– Фізико-механічні властивості

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги для асфальтобетону марок	
		I	II
1	Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для АБ:		
	— пористого щебеневого і піщаного, не більше	23	23
	— високопористого щебеневого, не більше	24	24
	— високопористого піщаного, не більше	-	28
2	Залишкова пористість, % за об'ємом, для АБ:		
	— пористого, не більше	10	10
	— високопористого, не більше	15	15
3	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 °С:		
	— пористого, не менше	1,8	1,5
	— високопористого, не менше	1,4	1,2
4	Коефіцієнт довготривалої водостійкості, не менше	0,85	0,75

Таблиця 3.8 – Фізико-механічні властивості

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги для асфальтобетону типу				
		АС32 О, АС22 О	АС22 З, АС16 З	АС16 П, АС11 П	АС8 П	АС5 П
1	Залишкова пористість, % за об'ємом	від 4 до 10	від 3,5 до 6,5	від 2,5 до 4,5	від 1,5 до 3,5	від 1 до 2,5
2	Кількість пор, заповнених бітумним в'язучим, %	-	55, не менше	83, не більше	86, не більше	-
3	Водонасичення, % за об'ємом	від 2,5 до 9,0	від 2,5 до 4,5	від 1,0 до 4,5	від 1,0 до 3,5	від 0,5 до 2,5
4	Відношення тонкі фракції/бітум	від 0,6 до 2,0				
5	Руйнівне навантаження за Маршалом, кН	Для накопичення даних				
6	Деформація за Маршалом, 0,25 мм	Для накопичення даних				
7	Коефіцієнт водостійкості	Для накопичення даних				

Один з поширеніших методів - підбір складів мінеральної частини асфальтобетонних сумішей по граничним кривим зернових складів. По методу Іванова. З піску, щебню та мінерального порошку підбирають склад таким чином, коли крива зернового складу розташується в зоні, обмеженій граничними кривими, і стає по можливості плавною. Фракційний склад мінеральної суміші розраховується за залежністю від вмісту вибраних компонентів та їх зернових складів згідно залежності (Форм.3.1)

$$Y_i = \frac{\sum_{j=1}^n \alpha_j x_{ij}}{100}$$

Формула 3.1 – Розрахунок фракційного складу суміші

1.  $Y_i$  - вміст  $i$ -ї фракції у суміші, %;
2.  $j$  – номер компоненти;
3.  $n$  - кількість компонентів у суміші;
4.  $\alpha_j$  – зміст  $j$ -ї компоненти, %;
5.  $x_{ij}$  - зміст  $i$ -ї фракції в  $j$ -й компоненті, %.

В основі цього метода покладено залежність міцності та інших властивостей асфальтобетону від густини мінеральної частини при наявному оптимальному вмісту бітуму. При підборі складу суміші треба враховувати зерна, що містяться в мінеральному матеріалі, менше 0,071мм. Ці зерна нагріваючись у сушильному барабані потрапляють у систему пиловловлення. У свою чергу пилові частинки або видаляються із суміші або дозовано відправляються в змішувальну установку до мінеральних порошоків. Кількість бітуму в суміші беруть спочатку виходячи з рекомендацій та розрахунків. За допомогою лабораторної мішалки готують кілька зразків суміші, а потім

відповідно до стандартів визначають середню та істинну щільність асфальтобетону та мінеральної частини. Якщо залишкова пористість не збіглася з нормою, то обчислюють новий вміст бітуму (% за масою) за залежністю (Форм. 3.2)

$$B = \frac{(V_{пор}^н - V_{пор}^0) \rho^0}{\rho_{ж}^н},$$

Формула 3.2 – Розрахунок вмісту бітуму

Розрахувавши кількість бітуму знову готують суміш і за зразками визначають залишкову пористість асфальтобетону. Якщо пористість відповідає необхідній, її беруть за основу. В іншому випадку процедуру підбору проводять заново.

Ще один метод проектування асфальтобетонної суміші було розроблено у 1940-1950 роках професором В.Маршаллом. Для прийнятних матеріалів визначають зерновий склад, адсорбцію бітуму, виражену у відсотках маси кам'яного матеріалу, справжню щільність.[20]

Керуючись кривою щільних сумішей та контрольними точками, що задає допустимий відсоток матеріалу, складають суміш мінеральних матеріалів.

Відповідно до цього методу, вибирають марку бітуму, виходячи з географічної зони району будівництва та призначення покриття.

Визначають щільність бітуму, проводять вимірювання його в'язкості за різних температур.

Будують графік в'язкість-температура. встановлюють температуру змішування при якій в'язкість бітуму становить  $170 \pm 20$  сантистоксів ( $0,17 \pm 0,02$  Па·сек). Приклад наведено (Рис. 3.1). Визначення температур змішування та ущільнення зразків залежно від в'язкості бітуму

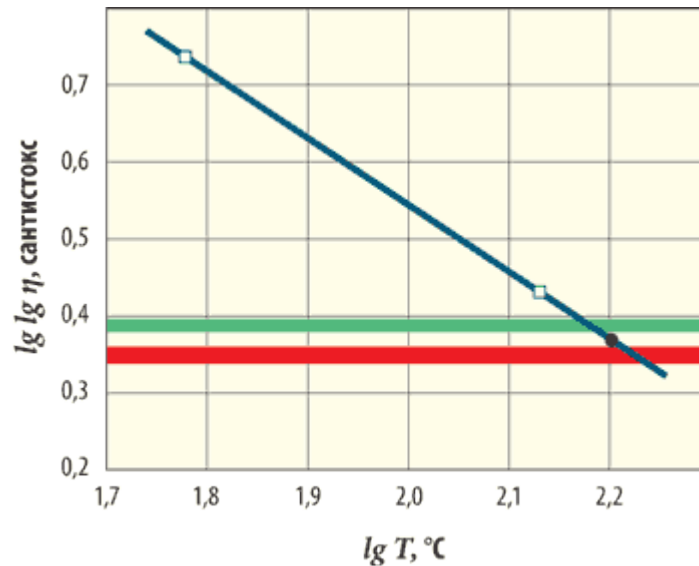


Рисунок 3.1 – Графік в'язкість-температура

Стандартні розміри зразка висотою 64мм та діаметром 102 мм. Діаметр зразка повинен перевищувати максимальний діаметр зерен не менше ніж у 4 рази. Тому такі зразки виготовляють для сумішей із зернами не більше 25 мм. Для крупнозернистих сумішей із максимальним розміром зерен 37,5 мм використовують діаметр 152 мм з висотою 114 мм. Готують 15-18 ущільнених зразків, в яких містяться 5-6 різних бітумів, зі змінним кроком 0,5 %. На основі досвіду набувають середнього значення. Для визначення густини двофазної системи - кам'яний матеріал + бітум, додатково готують три зразки суміші в пухкому стані. Суміш готують за відповідної температури.

Приділяють увагу витримуванню суміші для адсорбції частини бітуму кам'яним матеріалом. Суміш доводять до температури ущільнення без повторного розігріву. Отриманий зразок ущільнюють на механічному компакторі, що вільно падає ударами, з висоти 457 мм сталевого, циліндричного вантажу з плоскою підошвою діаметром 98 мм і масою 4,54 кг. Виходячи з категорії руху та положення шару, число ударів приймається 35, 50 або 75. ці значення параметрів відносяться до зразків діаметром 102 мм. На ущільнених зразках визначають середню щільність асфальтобетону, а на пухких визначають

щільність. Для кожного зразка обчислюють пористість мінерального кістяка, повітряну пористість і відсоток обсягу, заповненим бітумом, міжзернових пор. Отримані зразки випробовують на приладі Маршалла (Рис. 3.2)

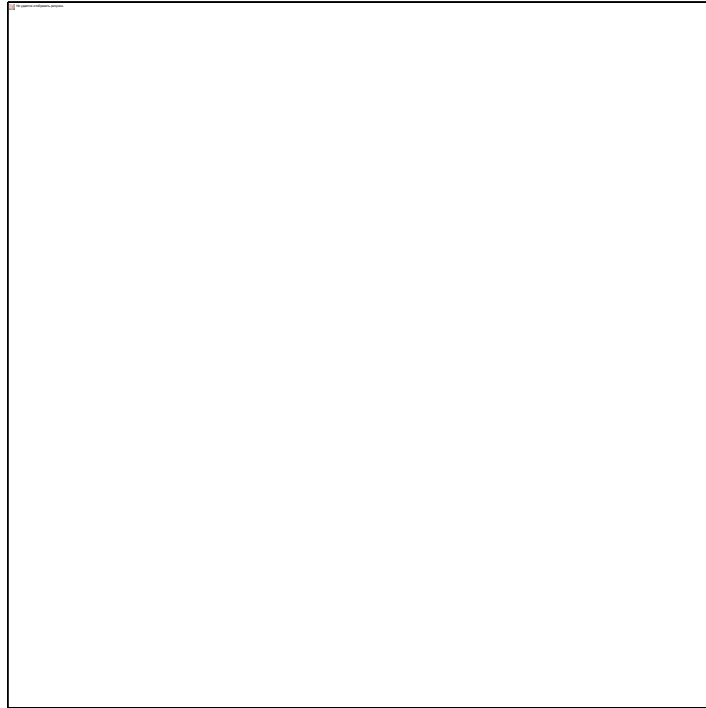


Рисунок 3.2 – Випробування на приладі Маршалла

Між затискачами, що мають радіус кривизни, рівний радіусу основи циліндричного зразка, поміщають зразок, з температурою 60 °С. Зразок навантажують зі швидкістю деформування 50 мм/хв до того, як досягнуте максимальне навантаження починає зменшуватися. Стійкістю Маршаллу називають максимальне значення навантаження. Одночасно вимірюється вертикальне переміщення верхнього затискача щодо нижнього. Вимірювання роблять до досягнення максимального навантаження (Плинність за Маршаллом або показник пластичності). Виражають цей показник у сотих частках дюйма. Типові вимоги до сумішей наведені в (Табл. 3.9). Отримані значення показників коригують, якщо висота зразка відрізняється від стандартної. Іноді додатково використовують показник жорсткості, що дорівнює відношенню стійкості до

плинності. При літній температурі, що стоїть жорсткість, то вищий опір утворенню колії. Випробування на плинність та стійкість повинно займати не більше 60 сек. з моменту вилучення зразка з водяної лазні. У водяній лазні зразок зберігався при 60 °С, до досягнення максимального навантаження, для того щоб його температура не знижувалася.

Таблиця 3.9 – Типові вимоги до сумішей

Показник	Сумарна кількість проїздів розрахункових осей за термін служби покриття		
	менше ніж 10 тис.	10 тис. - 1 млн	понад 1 млн
Число ударів при ущільненні	35	50	75
Стійкість по Маршаллу, Ньютони (фунти)	3336(750)	5338(1200)	8006 (1800)
Плинність Маршаллу, 0,25 мм (0.01 дюйма)	Від 8 до 18	Від 8 до 16	Від 8 до 14
Повітряна пористість асфальтобетону, %	3-5	3-5	3-5
Пористість мінерального кістяка, %	Мінімальне значення 17, 15, 14, 13, 12 і 11 для сумішей із зернами дрібніше 4,75, 9,5, 12,5, 19, 25 та 37,5 мм		

Для аналізу результатів випробувань будують 6 графіків (Рис. 3.3).

При перевірці перевіряють правильність даних:

– на (Рис. 3.3)-літера А, щільність суміші має максисум при деякому вмісті бітуму, не завжди, але зазвичай, відповідне цьому кількості бітуму більше, ніж його зміст, у якому максимальна стійкість по Маршаллу (Рис. 3.3) - літера Б;

– стійкість по Маршаллу (Рис. 3.3)-літера Б, максимум при деякому вмісті бітуму, іноді крива має слабкий максимум і виходить пологою;

– плинність Маршаллу зростає зі збільшенням вмісту бітуму в суміші (рис. В). Зі збільшенням вмісту бітуму в суміші (Рис.3.3)-літера Г частка міжзернових пор, заповнених бітумом, завжди збільшується;

– при деякому вмісті бітуму (Рис. 3.3)-літера Е, аналогічному оптимальній вологості ґрунту, пористість мінерального кістяка повинна мати мінімум, але іноді цей мінімум виражений слабо.

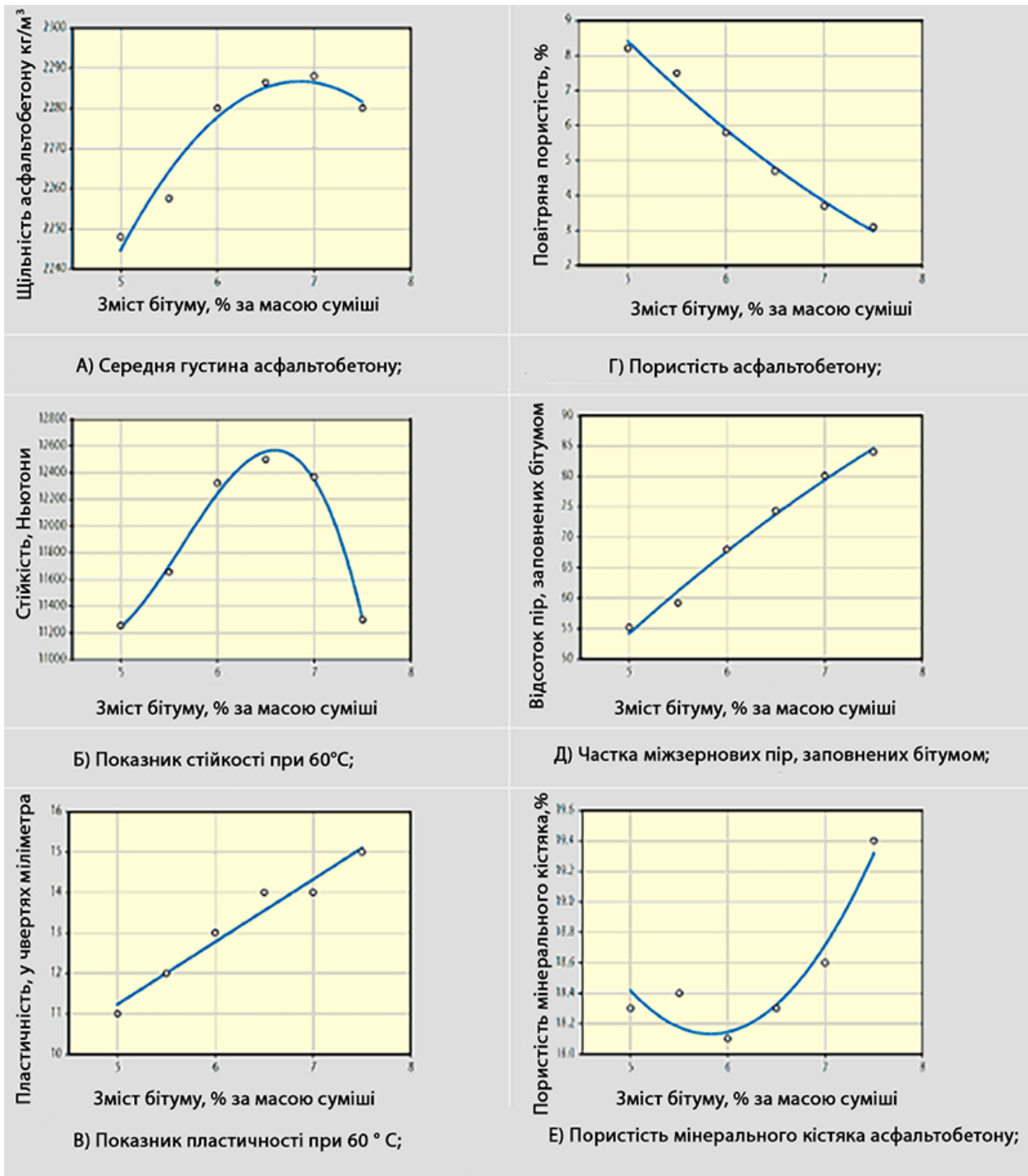


Рисунок 3.3 – Приклад даних, отриманих під час виготовлення та випробування асфальтобетонних зразків за методом Маршалла.

Для трьох зразків кожна точка на цих графіках отримана як середнє значення.

Для оптимального змісту бітуму розглядають дані плинності та стійкості. Для важкого руху потрібно забезпечити плинність від 8 до 14 та стійкість не менше 8006 Н. При змісті бітуму не більше від 5 до 7 % (рис.3.3 Б і В) ці умови задовільні, а за стійкістю – з великим запасом. При цьому початковий діапазон оптимуму пошуку звужився з 5-7,5% до 5-7%. Повітряна пористість 3-5%. і заповнення міжзернових пор зазвичай є стандартними вимогами. У цьому прикладі, зазначеному відсотку заповнення пір відповідає кількість бітуму в межах 6,2–7 % (рис. 3.3 Д). У результаті діапазон пошуку вмісту бітуму звужився з 5-7% до 6,2-7%. Виходячи з того, що 6,9% бітуму (рис.3.3 Г), відповідає середнє значення нормативного діапазону повітряної пористості , яке дорівнює 4%, тому оптимальним можна вважати вмістом бітуму якраз 6,9%. Можливі інші варіанти.

Максимум стійкості суміші виходить за 6,8 % (рис.3.3 Б), а максимум середньої щільності асфальтобетону виходить за 6,6 %. При цьому при 6,9% бітуму (рис.3.3 Г) значення повітряної пористості 4%. Визначивши із трьох значень середнє, знаходимо 6,8 %. Оскільки інші вимоги для цієї кількості бітуму реалізуються, оптимальним вважається вміст бітуму 6,8 %. Метод Маршалла має перевагу перед іншими методами - увагу, що приділяється показникам об'ємного вмісту компонентів суміші (повітряної пористості) та пористості мінерального кістяка. Перевага також в портативності устаткування, що застосовується.



### **3.3 Технологія виготовлення дисперсно армованих асфальтобетонних сумішей**

Останнім часом все більшого поширення набуває дисперсне армування асфальтобетонів. Новий час диктує правила впровадження нових технологій у будівельну індустрію.

Дослідження проведені вченими у всьому світі доводять, що дисперсне армування дозволяє підвищити міцність на розтягування та тріщиностійкість дорожнього одягу, що сприяє їх довговічності.

Сьогодні різновид волокон штучного походження досить великий. Для дисперсного армування застосовуються як рідкісні волокна (нітрит кремнію, сапфір бору, карбід, вольфрам), так і широковідомі (сталеві, базальтові, скляні, полімерні ) волокна.

Для армуючих елементів в асфальтобетонних сумішах можуть бути використані і природні волокна-деревні, очеретяні, азбестові, джутові і т.д. При виборі матеріалу для армування слід зважати на міцність, хімічну стійкість, адгезію матеріалу. Велике значення має і вартість матеріалів і обсяги виготовлення армуючих волокон.

Базальтова фібра, відмінно підходить як матеріал для дисперсного армування. [12] Вона повинна рівномірно розсипатися, поділяючись на окремі нитки . Фібра з базальту не горюча та не токсична. Базальтове волокно може мати товщину від 05 до 20 мікрон(Табл. 3.10) .Для армування зазвичай використовують фібру від 2 мм до 12 мм. Орієнтовно кількість фібри визначається на етапі підбору складу асфальтобетонної суміші. Зазвичай фібру використовують від 0,3 % до 0,6 % від маси заповнювача. Оптимальний зміст базальтової фібри визначається випробуванням ДСТУ Б В.2.7-319 [21]

Таблиця 3.10 – Параметр базальтового волокна

Параметр	Значення
Середній діаметр волокна, мкм	8-10
Середня довжина волокна, мкм	100-500
Насипна щільність, не більше, т/м <sup>3</sup>	0,45
Вологість, не більше, %	2
Органічна частина за масою, не більше, %	2
Колір	жовто-коричневий
Наномодифікатор	астролени, водорозчинні, аддукти вуглецевих нанокластерів

Існує низка методів приготування армованих сумішей. Перший метод – це коли волокна вводяться у період приготування розчинної суміші. А другий метод- коли волокна вводять безпосередньо період укладання (формування) розчинної суміші(Рис 3.4).

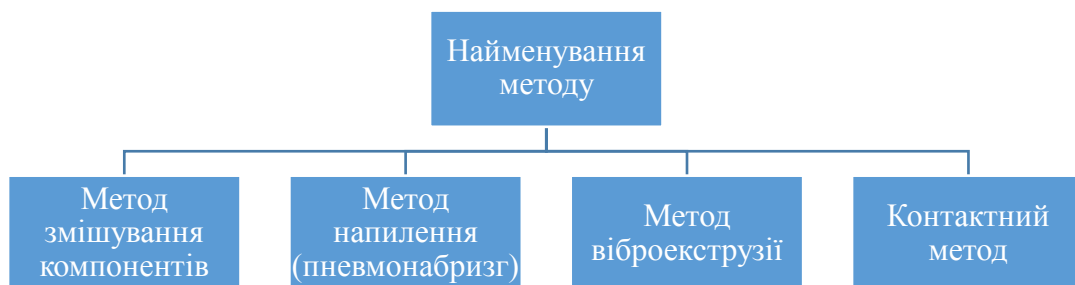


Рисунок 3.4 – Методи приготування фіброармованої суміші

Метод змішування передбачає введення армуючих волокон на стадії приготування суміші. Спочатку в змішувачі готується фіброармуюча композиція, а потім її укладання в конструкцію. При технології коли фібра

вводиться безпосередньо на стадії укладання, або формуванні суміші, при цьому приготування композиції здійснюють безпосередньо в процесі формування конструкції це - контактний метод, метод віброекструзії, метод напилення. Незалежно від методу дуже важливо рівномірно розподілити по суміші армуючі волокна.

При методі змішування компоненти суміші просто перемішуються, армуючі волокна, при приготуванні суміші вводять безпосередньо в змішувач.

Метод змішування має ряд переваг:

- можливість використання процесу методу сухих будівельних сумішей;
- здатність отримання фіброармованої суміші прямо на будівельному майданчику;
- можливість перевозити готову армуючу суміш у змішувачі, та можливість укладання готової суміші безпосередньо із змішувача;
- не залежить від кваліфікації робітника. Якість армування залежить від технічних характеристик змішувача та розчинонасоса, залежить також від складу суміші та режиму його змішування.

При використанні волокон, не схильних до злежуваності і комкування в ході розмішування підходить - метод змішування компонентів.

Метод (пневмонабризг) напилення компонентів полягає в тому, що на заготовлену поверхню, за допомогою розчинонасоса за допомогою стисненого повітря, волокна фіброматеріалу розпушуються і змішуються з цементно-піщаною сумішшю, а потім армуючі волокна та розчинна суміш наносяться.

Використання цього методу більшою мірою залежить від кваліфікації робітника через нестабільність роботи комплекту машин та залежність якості армування.

Метод віброекструзії - це такий метод при якому, спочатку готова розчинна суміш надходить на стрічковий транспортер, потім залежно від відсотка армування, рівномірним шаром, в розчинну суміш з вібробункера подаються армуючі волокна. Наступним етапом розчинна суміш з армуючими

волокнами надходить у калібратор, там за допомогою притискного валика виконується втоплювання волокон. Потім по транспортеру готова суміш подається в місце укладання. Цей метод вважається трудомістким в умовах застосування на будмайданчику, через те, що робота з транспортером неможлива в умовах закритих приміщень та у стиснених умовах. Так само цей метод не дає можливості отримати об'ємний розподіл армуючих волокон.

При виробництві плоских великогабаритних виробів із фіброармованого матеріалу застосовується метод контактного формування. Армуючі волокна, у цьому випадку, шарово укладають на площину підготовленої форми. При цьому розчинній сумішшю просочують кожен шар. При цьому способі армування можливо застосувувати нитки чи волокна великої довжини. Простота технології та можливість орієнтування армуючих компонентів у напрямку зусиль, що розтягують, які з'являтимуться в створюваній конструкції, можна назвати плюсами цього методу. Якість виробів повністю залежать від майстерності та навичок робітника. Як і метод занурення армуючих волокон, цей метод контактного формування більше підходить для виробництва будівельних конструкцій у заводських умовах, та малоефективний при влаштуванні монолітних покриттів на будмайданчику. З зазначеного вище можна дійти висновку, що оптимальним і технологічним методом вважається метод змішування компонентів.

Використовуючи цей метод можна стверджувати, що він гарантує розподіл армуючих волокон у суміші та змішується у звичайних розчинозмішувальних установках та дає можливість виробляти фіброармовану суміш незалежно від конфігурації розмірів конструкції.

### 3.4 Приготування асфальтобетонних сумішей за двостадійною технологією введення органічного в'язучого

Якщо розглядати традиційну технологію приготування асфальтобетонних сумішей, то при змішуванні частинок щебеню та піску з мінеральним порошком, поверхня щебеню та піску запилюється. В результаті подачі бітуму на запилену поверхню частинок щебеню різко погіршується змочування бітумом поверхні цих частинок. Знижується водостійкість асфальтобетону та зменшуються його адгезійні зв'язки. У свою чергу, це знижує міцність склеювання бітумом мінеральних частинок.

Тому ефективніше приготування асфальтобетонних сумішей за двостадійною технологією. Коли при першій стадії готують суміш з бітуму і мінерального порошку- ( готують асфальтове в'язуче), а при другій стадії асфальтове в'язуче змішують з піском і щебенем. Наприклад, двостадійна технологія ефективно вирішує завдання отримання високоякісних гумоасфальтобетонів, коли замість мінерального порошку використовується гумова крихта. Що дозволяє суттєво підвищити довговічність дорожнього одягу. При цьому за рахунок ресурсозбереження та економії матеріалів забезпечується значний економічний ефект.

Двостадійна технологія передбачає послідовну обробку мінеральних матеріалів двома типами в'язучих:

- перша стадія передбачає обробку в'язкими, які мають високу адгезію до поверхні мінеральних матеріалів;
- друга стадія передбачає обробку нафтовим бітумом, що забезпечує хорошу когезію.

Двостадійна технологія передбачає, що в процесі виробництва асфальтобетонних сумішей проводяться операції з введення мінеральних матеріалів з подальшим їх перемішуванням, заздалегідь підготовленої та

розрахованої кількості дисперсної арматури з волокнистих сорбентів, які містять певну кількість зібраних нафтопродуктів. Далі за технологією передбачено перемішування мінеральних матеріалів з армуючими волокнами та послідовне введення нафтового бітуму, після чого відбувається остаточне перемішування.

Реалізація двостадійної технології саме в такій послідовності зумовлена тим, що перша стадія передбачає використання органічних в'язучих, що містять у своєму складі високоактивні компоненти. Вступаючи в хімічну взаємодію з поверхнею мінерального матеріалу, ці компоненти забезпечують наявність хемосорбційних зв'язків і утворюють водонерозчинні сполуки на поверхні мінерального матеріалу. Окрім цього, активні компоненти в процесі вибіркової фільтрації проникають в пори та капіляри всередині мінерального матеріалу, вступаючи з ними у взаємодію. Відбувається проникнення (кольматація) пор та капілярів мінерального матеріалу компонентами в'язучого, що використовується на першій стадії двостадійної технології.

Друга стадія обумовлена обробкою отриманої органомінеральної суміші нафтовим бітумом. При цьому процесі вибіркової фільтрації компонентів нафтового бітуму в пори та капіляри мінерального матеріалу не відбуватиметься через те, що ці пори та капіляри вже заповнені компонентами органічного в'язучого на першій стадії. Тобто, адсорбційні шари нафтового бітуму на поверхні мінеральних матеріалів не будуть збіднюватись низькомолекулярними фракціями. Це позитивно позначиться на їх еластичності при негативних температурах. Внаслідок цього підвищиться довговічність і тріщиностійкість асфальтобетонних сумішей.

Така двостадійна технологічна послідовність обробки мінеральних матеріалів дозволяє отримати на поверхні мінеральних матеріалів накладення (суперпозицію) двох шарів структурованих органічних в'язучих. Внаслідок чого шар нафтового бітуму, що володіє вищою водостійкістю, захищатиме шар смоли від впливу вологи. У свою чергу шар смоли створить високу адгезію та значно знизить вибірку фільтрацію низькомолекулярних компонентів нафтового

бітуму, що призведе до зниження інтенсивності старіння асфальтобетонного покриття.

Розглянемо двостадійну технологію WAM-Foam.[14] Ця технологія була розроблена спільно норвезькою компанією Kolo-Veidekke та англійською компанією Shell International Petroleum Company Ltd. Перша стадія передбачає введення менш м'якого бітуму, який за температури 110–120 °С перемішують з кам'яним матеріалом. При другій стадії більш в'язкий бітум у спіненому стані змішують з кам'яним матеріалом попередньо обробленим. Утворюється піна внаслідок швидкого випаровування холодної води, яку вводять у нагрітий в'язкий бітум при введенні його суміш. Іноді рекомендують на першій стадії вводити добавку для поліпшення зчеплення бітуму з кам'яним матеріалом.

Слід визнати, що саме двостадійна технологія дає змогу ефективно вирішувати завдання отримання високоякісної асфальтобетонної суміші. Що, в свою чергу, дозволяє суттєво підвищити довговічність дорожніх покриттів. Забезпечуючи при цьому значний економічний ефект, за рахунок економії матеріалів, енергетичних та фінансових витрат на проведення ремонтних робіт у процесі експлуатації.

## ВИСНОВКИ

В результаті виконаних досліджень вирішено комплекс питань, пов'язаних із різними технологічними рішеннями підвищення міцності та тріщиностійкості асфальтобетонних покриттів. З огляду на реальні умови навантажень на дорожній одяг проведено оцінку експлуатаційних властивостей асфальтобетону.

Зробили аналіз процесів структуроутворення дисперсно-армованих асфальтобетонів. Дослідили питання, щодо вдосконалення асфальтобетонних сумішей за допомогою використання дискретного армування. Виходячи з досліджень з'ясували доцільність армування асфальтобетону волокнами поліпропіленової фибри для підвищення характеристик міцності.

Розглянули та проаналізували використання геосинтетичних матеріалів у дорожньому будівництві. З'ясували благотворний вплив на дорожній одяг використання комплексних конструкцій з різних видів геоматеріалів.

В процесі вивчення довідалися, що міцність дорожнього покриття однозначно залежить від фізико-механічних властивостей різних видів асфальтобетону. Були проаналізовані різні технології та методи виробництва асфальтобетонних сумішей. Вивчили та проаналізували новітні технології при розробці та використанні асфальтобетонних сумішей. Розглянули різні методи проектування складу асфальтобетонних сумішей з огляду на світовий досвід. В результаті досліджень довели економічно вигідну складову у застосуванні сланцевих фусів для модифікування поверхонь мінеральних матеріалів.

З'ясували вплив двостадійної технології введення органічних в'язучих на зменшення тріщиноутворення та довговічність дорожніх покриттів.



## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Першаков В.М. Белятинський А.О Стефашина Н.М Використання геосинтетичних армуючих прошарків в дорожньому будівництві: навч. посіб. Київ, Україна. 2020, 365 с.
2. Мозговий В. В., Онищенко А. М., Гаркуша М. В., Аксьонов С. Ю. Сучасні аспекти підвищення колієстійкості нежорсткого дорожнього одягу: *Автошляховик України*. Київ, 2012 - № 5 25-30 с.
3. Гаркуша М. В. Підвищення колієстійкості нежорстких дорожніх одягів за рахунок укріплення ґрунтів основи . *Дороги і мости* . Київ, 2017 № 17. 27-41 с.
4. Кострицький В.В., Коломієць А.Я., Артеменко Л.Ф., Гамеляк І.П. Дослідження експлуатаційних характеристик геограт призначених для армування асфальтобетонного покриття. *Вісник Нац.ун-ту "Львів. політехніка"*. Львів, 2007 № 600. 199-207 с.
5. Шевчук В.Р., Журба Г.В. Міжнародна конференція з геосинтетики: сучасні напрямки розвитку *Автошляховик України*. Київ, 2006. № 6. 38-40 с.
6. Гаркуша М.В., Мозговий В.В., Онищенко А. М. Удосконалення методу оцінки стійкості покриття нежорсткого дорожнього одягу до утворення колії. , *Дороги і мости*. Київ, 2019. № 19-20. 61-77 с.
7. Стефашина Н.Л. Використання геосинтетичних армуючих прошарків в дорожньому будівництві. *Проблеми розвитку міського середовища* . Київ, 2020. № 2(25). 130-148 с.
8. Пронченко А.В. , Мішутін А.В Підвищення довговічності та фізико-механічних властивостей транспортних бетонів шляхом дисперсного армування. *Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури*. Одеса, 2018. №72. 70-80 с.

9. Желтобрюх А. Д., Малій П. Р., Одегова Т. С. Тимощук О. Ю Використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму. *Дороги і мости*. Київ, 2019. № 19-20. 94-106 с.
10. А. О. Белятинський, К. В. Краюшкінаю. Фізико-хімічна механіка дорожньо-будівельних матеріалів: навч. посіб. Київ, 2016. 244 с.
11. Модернізація та сучасні технології транспортного будівництва. Всеукр. наук. практ. конф. Львів. 23 лист. 2016. м. Львів: ПФКТБ НУ Львівська політехніка, 2016. 211 с.
12. Онищенко А. М. Гаркуша М. В.1, Плазій Є. П.1, Федоренко О. В.2 Дослідження впливу ефективності застосування асфальтобетону, армованого базальтовою фіброю. *Дороги і мости*. Київ, 2021. №23. 117-129 с.
13. Я.І. Пиріг, В.О. Золотарьов, А.В. Галкін, М.А. Свилярьов, В.П. Корюк, Я.В. Ільїн. Асфальтополімербетони, виготовлені шляхом введення полімеру безпосередньо в суміш. *Вісник ХНАДУ*. Харків, 2015. № 68. 85–91 с.
14. Татаринський В. Б.1, Рибалко Р. І.1, Петренко Ю. А.2, Супонев В. М. Методологія управління проектом розвитку автоматизованих технологічних процесів виробництва теплих асфальтобетонних сумішей. *Вісник ХНАДУ*. Харків, 2021. № 74. 82–85 с.
15. Forta innovative construction URL: <https://www.forta.com.tr/assets/uploads/97d81fa3afe1208f3217bc0b2be85d0f.pdf> (дата звернення: 15.11.2022)
16. The asphalt industry from the 1800s to World War II [http://asphaltmagazine.com/asphalthistory\\_two/](http://asphaltmagazine.com/asphalthistory_two/) ( дата звернення: 10.10 2022)
17. Ковальчук П. С. Якість асфальтобетону - методи оцінки і відбір проб: Детально про будівництво URL: <http://stroyka-gid.com.ua/idei-dla-doma/10004-yakist-asfaltobetony.html> (дата звернення: 3.12.22)

18. Сила, якої не вистачає асфальтобетону або чим армувати асфальтобетону:  
НАДУ URL:  
<https://nadu.com.ua/sila-yakij-ne-vistacha%D1%94-asfaltobetonu-abo-chim-armuvati-asfaltobeton/> (дата звернення: 25.11.2022)
19. Ковальський В.П., Сідлак О.С. Використання золи виносу тес у будівельних матеріалах. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. Вінниця. 2016. № 16 (1) 35-40 с. URL:  
<http://stmkvb.vntu.edu.ua/index.php/stmkvb/article/view/327> (дата звернення: 7.12.2022)
20. Marshall method of asphalt-concrete mix design. *Civil Engineering* 2009 URL:  
[https://www.academia.edu/28749701/MARSHALL\\_METHOD\\_OF ASPHALT\\_CONCRETE\\_MIX\\_DESIGN](https://www.academia.edu/28749701/MARSHALL_METHOD_OF ASPHALT_CONCRETE_MIX_DESIGN) (дата звернення: 16.12.2022 р.)
21. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 64 с. (Інформація та документація). Вид. офіц. Київ, 2017. 23 с.
22. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2012. 31 с.
23. ДСТУ Б В.2.7-127:2015 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон щибенево-мастикові. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2016. 15 с.
24. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь і гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 1999. С 22.
25. ДСТУ Б В.2.7-34-2001 Будівельні матеріали. Щебінь для будівельних робіт із скельних гірських порід та відходів сухого магнітного збагачення залізистих кварцитів гірничо-збагачувальних комбінатів і шахт України. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2002. 22-30 с.
26. ДСТУ 9043:2020 Матеріали щибеневі зі шлаків металургійних для дорожнього будівництва. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2021. 15-28 с.

- 27.ДСТУ Б В.2.7-306:2015 Суміші бітумомінеральні дорожні. Методи випробувань. Вид. офіц. Київ, 2016. 7-24 с.
- 28.ДСТУ Б В.2.7-32-95 Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 1996. 15 с
- 29.ДСТУ Б В.2.7-76-98 Пісок для будівельних порід із відсівів подроблення скельних гірських порід гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 1999. 20 с.
- 30.ДСТУ Б В.2.7-210:2010 Будівельні матеріали. Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2011. 17 с.
- 31.ДСТУ Б В.2.7-33-2001 Пісок кварцево-залізистий і тонкодисперсна фракція для будівельних робіт з відходів гірничо-збагачувальних комбінатів України. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2022. 5 с.
- 32.ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2015. 17-18 с.
- 33.ДСТУ Б В.2.7- 46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови. Вид. офіц. Київ, 2011. 22-35 с.