

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістра

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження властивостей асфальтобетону, що містить регенероване
асфальтне покриття

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБ_{нм}-61
спеціальності 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

	<u>Сеньків К.А.</u> (підпис)	<u>Сеньків К.А.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>Коваль І.В.</u> (підпис)	<u>Коваль І.В.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>Мещерякова О.М.</u> (підпис)	<u>Мещерякова О.М.</u> (прізвище та ініціали)
Завідувач кафедри	<u>Ясній В.П.</u> (підпис)	<u>Ясній В.П.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>Качка О.І.</u> (підпис)	<u>Качка О.І.</u> (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ АСФАЛЬТУ: ІСТОРІЯ, КОМПОНЕНТИ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ.....	8
1.1 Історія використання асфальту та термінологія	8
1.2 Огляд основних компонентів асфальтобетонної суміші.....	10
1.2.1 Щебінь	10
1.2.2 Пісок	11
1.2.3 Мінеральний порошок	12
1.2.4 Органічні в'язучі матеріали.....	13
1.3 Аналіз проблеми накопичення та утилізації асфальтних відходів в Україні	17
1.4 Висновки за розділом 1.....	19
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	20
2.1 Вимоги нормативної документації для дослідження властивостей асфальтобетонних сумішей	20
2.2 Виготовлення сумішей з бітумним в'язучим у лабораторії.....	21
2.3 Вимоги до форм.....	23
2.4 Методика дослідження властивостей асфальтобетону	25
РОЗДІЛ 3 ЗБІР ТА ПІДГОТОВКА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АСФАЛЬТУ	27
3.1 Забір матеріалу	27
3.2 Визначення гранулометричного складу	29
3.2.1 Обладнання та засоби контролю	29
3.2.2 Проведення	30
3.3 Підбір складу асфальтобетонної суміші	36
3.4 Формування зразків.....	44
3.4.1 Виготовлення зразків	44

3.4.2 Зберігання зразків.....	47
3.5 Висновки за розділом 3.....	48
РОЗДІЛ 4 ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АСФАЛЬТОБЕТОНУ	49
4.1 Визначення середньої густини асфальтобетону	49
4.1.1 Засоби контролю і допоміжне обладнання.....	49
4.1.2 Проведення випробування	49
4.1.3 Обробка результатів випробування.....	50
4.2 Визначення водонасичення.....	52
4.2.1 Засоби контролю і допоміжне обладнання.....	52
4.2.2 Проведення випробування	52
4.2.3 Обробка результатів випробування.....	53
4.3 Визначення границі міцності при стиску	55
4.3.1 Засоби контролю та допоміжне обладнання	55
4.3.2 Проведення випробування	56
4.3.3 Обробка результатів випробування.....	58
4.4 Висновки до розділу 4	60
РОЗДІЛ 5 ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ....	62
РОЗДІЛ 6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	65
5.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці.....	65
5.2 Основні вимоги та правила техніки безпеки під час роботи в науково-випробувальній лабораторії	65
5.3 Вимоги з техніки безпеки та охорони праці на підприємствах що виготовляють та випробовують асфальтобетонні суміші.....	66
5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях	68
5.4.1 Пожежна безпека.....	68
5.4.2 Хімічна безпека	69
5.4.3 Механічна безпека.....	69
5.4.4 Природні катастрофи	69

5.4.5 Підготовка до надзвичайних ситуацій	70
5.4.6 Висновки за розділом 5.....	70
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	71
БІБЛІОГРАФІЯ.....	72

ВСТУП

Останнім часом все частіше розглядається необхідність переробки матеріалів з будівельного сектора. Одним із рішень, яке може сприяти вирішенню цієї проблеми, є пошук альтернативних матеріалів і вторинної сировини для будівництва, які задовільняють сучасні вимоги до якості та надійності, а також заощаджуватимуть існуючі незаймані природні ресурси та скоротять кількість матеріалів, що потрапляють на звалища, на чому наголошується у світлі зростаючої екологічної свідомості та важливості пом'якшити вплив на природу. Потенційним ресурсним матеріалом, який, здається, набуває все більшої популярності у будівництві доріг, є регенероване асфальтне покриття. Цей матеріал широко експериментувався, як потенційна заміна незайманого заповнювача, оскільки це сприяє ефективному використанню відходів і мінімізує вплив будівництва дороги на навколишнє середовище [1].

Актуальність теми кваліфікаційної роботи, з огляду на зростаючу проблему екології, обумовлена потребою в переробці старого, непридатного для їзди дорожнього покриття, яке у більшості при поточних та капітальних ремонтах вивозять на сміттєзвалище, тому значні обсяги відходів асфальтного покриття потребують екологічно безпечного способу утилізації, а регенерація стає таким способом. Зростання цін на традиційні матеріали для будівництва доріг робить регенерований асфальт економічно вигідною альтернативою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження проведено згідно тенденцій національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року [2], згідно тематики науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ імені Івана Пулюя та для забезпечення потреб будівництва екологічними енергоефективними матеріалами.

Метою роботи є встановлення експериментальним шляхом характеристик та властивостей асфальту, а також вплив регенерованого матеріалу на якість та ефективність дорожнього покриття.

Задачі роботи. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- зібрати та проаналізувати наукові роботи та дослідження, присвячені властивостям асфальту з регенованим асфальтним покриттям.
- визначити методи дослідження, які найбільш ефективно дозволять оцінити властивості асфальту з регенованим покриттям.
- підготувати зразки звичайного та регенованого асфальту для проведення лабораторних випробувань.
- провести випробування з визначення середньої густини, водонасичення та границі міцності асфальту з регенованим покриттям.
- аналізувати отримані результати та порівняти їх з характеристиками традиційних матеріалів для дорожнього будівництва.
- сформулювати висновки щодо ефективності та придатності регенованого асфальту для використання у дорожньому будівництві.
- визначити перспективи використання регенованого асфальту з погляду сталого розвитку та збереження природних ресурсів.

Об'єктом дослідження є зразки асфальтобетонної суміші, виготовлені без та з використанням регенованого асфальтного покриття.

Методами дослідження є аналіз попередніх досліджень та натурні експерименти з визначення фізичних та механічних властивостей асфальтобетонної суміші, проведенням лабораторних випробувань на середню густину, водонасичення та границю міцності при стисканні, апроксимація результатів експериментальних досліджень, їх порівняння та узагальнення.

Наукове й практичне значення отриманих результатів полягає в розширенні розуміння властивостей асфальтобетону, що містить регеноване асфальтне покриття, та їх впливу на якість та тривалість експлуатації дорожніх покриттів. Отримані дані можуть бути корисні для розробки ефективних технологій відновлення дорожньої інфраструктури, що відповідають сучасним екологічним стандартам і сприяють сталому розвитку. Результати дослідження можуть бути використані для покращення процесу проектування та будівництва

доріг, зменшення витрат та підвищення ефективності використання матеріалів. Також вони можуть послужити основою для подальших наукових досліджень у сфері дорожнього будівництва та розвитку нових технологій у цій галузі.

Апробація результатів магістерської роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» [3].

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику матеріалів Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» [3].

Ключові слова: регенероване асфальтобетонне покриття, властивості, збереження ресурсів, економія.

РОЗДІЛ 1

АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ АСФАЛЬТУ: ІСТОРІЯ, КОМПОНЕНТИ ТА ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ

1.1 Історія використання асфальту та термінологія

Асфальт – це не просто сіра маса, що вкриває наші дороги. Це матеріал з багатою історією, який протягом століть еволюціонував, щоб стати невід'ємною частиною сучасного життя. Перш за все, потрібно розібратися з основними термінами. Існує багато термінів, які історично використовувалися для опису асфальтів та бітумів, але плутанина все ще існує через відсутність розуміння природи походження або виробництва різних матеріалів .

Природний бітум - це тверда або в'язка форма нафти, яка утворюється внаслідок природного випаровування легких фракцій нафти. Він може бути як чистим, так і містити домішки мінеральних речовин.

Природний асфальт - це суміш природного бітуму, мінеральних речовин (піску, щебню, глини) та іноді інших компонентів. Він зазвичай твердіший і крихкіший, ніж природний бітум.

Оскільки абсолютно чистий бітум зустріти в природі майже не реально, то терміни природній бітум та природній асфальт є взаємозамінними [4].

Природній асфальт (бітум) – один з найдавніших інженерних матеріалів, відомих людству, який використовувався з часів зародження цивілізації. Асфальт, який використовувався ранніми цивілізаціями, виник природним шляхом і утворювався, коли сира нафта просочувалася через тріщини та виходила на поверхню землі і (після випаровування летких компонентів) з'являлася або у вигляді м'яких розчинів, або у вигляді твердих крихких жил гірських порід (останні іноді називалися асфальтовим вугіллям в більш сучасні часи) [5].

У давнину Мертве море було найбільшим джерелом асфальту, яке до кінця 19 століття було відоме як Асфальтове море. Колись шматки асфальту у великих кількостях спливали прямо з морського дна. Останній такий випадок був зафіксований в 60-х роках 20 століття, а маса брили становила більше 1 тонни [6].

Геродот стверджує, що бітум використовувався при будівництві будівель у Вавилоні. Геродот також описує будівництво міської стіни Вавилону з використанням гарячого бітуму (як цементу) і вставленням шару плетеного очерету на кожному 30-му ряду цегли. Це відповідає використанню бітуму як дорожньо-будівельного матеріалу у Вавилоні близько 625 р. до н.е., за правління царя Набопаласара. Збережений напис фіксує мощення вулиці Процесіон у Вавилоні, яка вела від палацу до північної стіни міста, асфальтом (тобто бітумом) і обпаленою цеглою [7].

Ассирійці, фінікійці та єгиптяни ще у 2600 році до н.е. широко використовували гідроізоляційні та сполучні властивості асфальту при будівництві будівель та кораблів. Стародавні єгиптяни також використовували асфальт у процесі муміфікації [5]. Існує задокументоване використання асфальту в лікувальних цілях – лікар Авіценна у своєму трактаті "Канон лікарської науки" при описі лікувальних властивостей мумію згадує також і асфальт [8]. Також природній бітум використовувався для покарання – в Кодексі Хаммурапі записано, що негідник міг бути покараний гарячим бітумом, вилитим на його голову.

Історія видобутку з нафти корисних речовин сягає давніх часів. Деякі джерела свідчать, що римський лікар Кассій Фелікс вперше застосував метод перегонки для обробки нафти [9]. У світі промисловості значну роль у впровадженні перших технологій нафтопереробки відіграли такі вчені і винахідники, як Федір Прядунов, брати Дубиніни та Микола Воскобойников [9]. Це дало поштовх для започаткування масштабних нафтових розробок. В Україні 1853 р. починають розробляти Бориславське нафтогазове родовище (Дрогобицький район Львівщини), перший нафтопереробний завод був побудований в 1859 році у місті Дрогобич, який незабаром згорів, а вже 1863 року на тому ж місці збудували новий. Тож саме 1863 рік вважається роком початку промислової переробки нафти в Україні.

Штучний асфальт – це композиція, яка складається з бітуму, отриманого з перегонки нафти, і різних мінеральних речовин. Це загальний термін, який використовується для позначення будь-якого асфальту, який не є природним. Він

може включати в себе асфальтобетон, а також інші типи асфальту, такі як литий асфальт, асфальтована бруківка та асфальтована емульсія.

Асфальтобетон – це штучний композитний будівельний матеріал, який виготовляється шляхом нагрівання та змішування бітуму з мінеральними речовинами (щебінь, пісок, мінеральний порошок) в певних пропорціях.

Для людей ХХІ ст. асфальтобетон став звичним матеріалом, який є ідеальним дорожнім покриттям для автомобілів. Однак так було не завжди. Буквально століття тому вулиці міста були вимощені бруківкою. Швидке зростання автомобільної промисловості та винахід двигуна внутрішнього згорання призвели до прогресу в технологіях дорожнього покриття. Виникла потреба в ефективному будівництві доріг. Таким виходом стало виробництво асфальтобетону.[5].

1.2 Огляд основних компонентів асфальтобетонної суміші

Довговічність асфальтобетонного покриття багато в чому залежить від якості вихідних матеріалів щебеню, відсіву, мінерального порошку та органічного в'язучого (бітуму). Тому важливо знати роль цих матеріалів у структурі асфальтобетону і вимоги до них.

1.2.1 Щебінь

Щебінь утворює основний каркас, завдяки якому асфальтобетон набуває стійкості. За походженням щебінь буває природний та отриманий із відходів промисловості. Природній щебінь отримують шляхом подрібнення твердих гірських порід. Ці породи за походженням поділяються на три великі групи - вивержені, осадові та метаморфічні [10].

Вивержені породи утворилися внаслідок застигання та кристалізації магми. До них належать граніти, базальти, діорити.

Осадові породи утворилися шляхом осадження речовин із водного середовища річок, морів та океанів. Ці речовини зцементовані природними

в'язкими. Міцність та щільність їх, як правило, нижча, ніж у вивержених порід. Осадовими є вапняки, пісковики та доломіти.

Метаморфічні породи утворилися внаслідок глибокої зміни вивержених та осадкових порід під дією високої температури та тиску. До них належать мармур, кварцити.

Фізико-механічні властивості щебеню (наприклад, міцність, морозостійкість) залежать від властивостей гірських порід та технології їх переробки.

Щебені класифікують за щільністю, походженням та видом, зерновим складом, міцністю, формою зерен, вмістом пилових та глинистих часток, морозостійкістю, стиранністю, радіаційними властивостями, порожнистістю та іншими параметрами [10].

Для приготування асфальтобетонних сумішей марку щебеню по міцності, подрібнюваності, зносу та морозостійкості вибирають залежно від марки, виду та типу асфальтобетону, призначення конструктивного шару (верхній або нижній шар покриття). За формою найкращим є щебінь із зернами кубічної форми, найгіршими – пласкі (лещаті) та голчасті зерна. Кубічні заповнювачі створюють найвище ущільнення, в той час як наявність голкоподібних форм призводить до утворення пустот і збільшення обсягів в'язучих компонентів і тим самим знижує міцність бетону.

Не можна змішувати щебінь різних гірських порід, оскільки вони мають різні коефіцієнти температурного розширення, що знижує працездатність асфальтобетонного покриття при негативній температурі.

Щебінь повинен містити не менше 80% дроблених зерен, поверхня яких сколена більш ніж на половину [11].

1.2.2 Пісок

Пісок знижує потребу у більш дорогих компонентах асфальтобетонної суміші: бітумі та мінеральному порошку.

Застосовують природні та подрібнені піски. До перших відносяться гірський, річковий та морський. Зерна гірського піску менш округлені, ніж зерна річкового або морського, і завдяки цьому підвищують якість асфальтобетону. Другим є пісок з відсівом дроблення – це неорганічний сипучий матеріал фракцією до 5 мм, одержуваний з відсіву дроблення гірських порід, є побічним продуктом дроблення щебеню. Зовні відсів нагадує крупний пісок. Виходить внаслідок просіювання та калібрування щебеню.

Залежно від розміру зерен пісок поділяють на великий, середній, дрібний і дуже дрібний. Для приготування асфальтобетонних сумішей в основному застосовують великий та середній піски. Пісок має бути чистим і складатися із зерен міцних гірських порід. Кількість пилоподібних та мулистих частинок, що визначаються відмулюванням, не повинна перевищувати 3% у природному та 5% у дробленому піску. Кількість глинистих часток не повинна перевищувати у пісках із відсівів дроблення гірських порід – 1% за масою, а для осадових гірських порід – 3% за масою [12]. Заповнює пори між зернами каркасу, підвищує його стійкість і утворює разом із щебенем мінеральний кістяк асфальтобетону.

1.2.3 Мінеральний порошок

Мінеральний наповнювач, незважаючи на його важливість на дорожньому полотні, часто класифікується як вторинний заповнювач і являє собою дрібнозернистий матеріал, який є продуктом подрібненого вапняків, доломітів та інших карбонатних порід або металургійних шлаків. Як мінеральний порошок застосовують також порошкоподібні відходи промисловості. Мінеральний порошок підвищує щільність асфальтобетону та міцність зчеплення бітуму із щебенем. Вапнякові та доломітові мінеральні порошки краще за інших обволікаються бітумом в зоні контакту та утворюють водонерозчинні хімічні сполуки, які певною мірою визначають міцність і теплостійкість асфальтобетону.

Важливі показники якості мінерального порошку - ступінь набухання його в суміші з бітумом у воді та тонкість помелу порошку. Згідно з [13] у мінеральному

порошку вміст частинок дрібніший за 0,071 мм має бути не менше 70%. Не допускаються частки розміром більше 1,25 мм.

Матеріали, які застосовуються для приготування мінерального порошку, не повинні містити більше 5% глинистих частинок. Мінеральний порошок має бути сухим і не грудкуватися. Асфальтобетони, приготовані на мінеральних порошках, що не відповідають цій вимозі, відрізняються слабкою корозійною стійкістю та низькою щільністю. Для підвищення міцності та корозійної стійкості асфальтобетону та зниження витрати бітуму застосовують активований мінеральний порошок. Його одержують шляхом подрібнення гірської породи у присутності активуючої суміші, що складається з поверхнево-активної речовини та бітуму у співвідношенні 1:1...3:1.

Кількість активуючої суміші становить 1,5...2,5% від маси мінерального порошку. У процесі розмелювання активуюча суміш рівномірно розподіляється тонким шаром на частинках мінерального порошку завдяки великому механічному впливу на матеріал, що подрібнюється. Висока активність поверхні мінерального матеріалу при його подрібненні сприяє поліпшенню прилипання бітуму та утворенню тонкої міцної плівки на поверхні порошку. Активований мінеральний порошок гідрофоб, тобто практично не змочується водою, що полегшує його транспортування та зберігання. Так як активовані порошки не скомкуються, то можна знижувати тонкість помелу.

1.2.4 Органічні в'язучі матеріали

Органічні в'язучі матеріали – це колоїдні в'язкі речовини, що складаються з суміші різних вуглеводнів та їх неметалічних похідних кисневих, сірчистих і азотистих.

Ці матеріали добре прилипають до поверхні мінеральних матеріалів (після відповідної підготовки), мають пластичність і еластичність, досить стійкі проти атмосферних факторів, практично нерозчинні у воді.

Завдяки цим властивостям матеріали дозволяють будувати суцільні (безшовні) покриття, що відрізняються високими експлуатаційними показниками, в тому числі здатністю пом'якшувати вібрацію і шум при проїзді транспортних засобів.

До основних органічних в'язучих матеріалів відносяться бітуми, виготовлені на їх основі бітумні емульсії.

Залежно від вихідної сировини їх поділяють на такі види:

- природні, що одержуються з асфальтових гірських порід (вапняків, пісковиків) або які зустрічаються в природі майже в чистому вигляді;
- нафтові, які є продуктом переробки нафти;
- сланцеві, одержувані під час переробки горючих сланців.

Для приготування асфальтобетонних сумішей застосовують нафтові бітуми. Бітуми склеюють зерна мінерального кістяка в єдиний моноліт, здатний протистояти впливу зовнішніх навантажень.

Виробництво бітуму з нафти - це багатоетапний процес, який можна розділити на наступні кроки [14] :

1. Перегонка нафти:

- Сиру нафту нагрівають до високої температури в перегінній колоні.
- Різні фракції нафти, такі як бензин, гас, дизельне паливо, випаровуються при різних температурах і збираються окремо.

- Важка залишкова фракція, яка не випаровується, називається мазутом.

2. Окислення мазуту:

- Мазут нагрівають і продувають повітрям протягом декількох годин.
- Цей процес окислення перетворює вуглеводні в мазуті на більш складні молекули, які надають бітуму його характерні властивості, такі як в'язкість, твердість і водонепроникність.

3. Вакуумна дистиляція:

- Окислений мазут далі дистилюють під вакуумом.
- Цей процес видаляє з бітуму легкі фракції, які можуть зробити його занадто м'яким або рідким.

- В результаті залишається вакуумний газойль, який є основою для виробництва бітуму.

4. Змішування та модифікація:

- Вакуумний газойль може бути змішаний з іншими компонентами, такими як полімери, мінеральні добавки або окислювачі, для покращення його характеристик та отримання бітуму з бажаними властивостями.

5. Охолодження та фасування:

- Готовий бітум охолоджують до температури зберігання та фасують у бочки, контейнери або цистерни.

Нафтові дорожні бітуми поділяють на в'язкі та рідкі.

В'язкі бітуми відносять до тієї чи іншої марки на підставі трьох основних показників: в'язкості, температури розм'якшення та розтяжності.

В'язкість бітумів дуже впливає на весь технологічний процес приготування, укладання та ущільнення асфальтобетонних сумішей. На в'язкість суттєво впливають співвідношення основних компонентів, структура матеріалу та температура.

В'язкість твердих і в'язких бітумів характеризується умовним показником – глибиною проникнення стандартної голки при дії на неї вантажу масою 100 г протягом 5 секунд при температурі 25 і при 0 (маса 200 г) протягом 60 секунд [15]. Пенетрацію вимірюють у градусах ($1=0,1\text{мм}$) на спеціальних приладах.

У разі використання бітуму великої в'язкості збільшуються міцність і жорсткість асфальтобетонних покриттів, що підвищує стійкість асфальтобетону за високої позитивної температури і одночасно знижує тріщиностійкість при негативній температурі.

Менш в'язкі бітуми навпаки збільшують стійкість асфальтобетонних покриттів при негативній температурі. Тому в північних країнах застосовують бітуми БНД 60/90 - БНД 130/200 а в південних районах - більш в'язкі бітуми БНД 40/60-БНД 60/90, В'язкість бітуму впливає на зручність укладення суміші.

Розтяжність (дуктильність) – це здатність бітумів витягуватися в тонкі нитки під дією прикладеної розтягуючої сили. Розтяжність характеризує одне з

найважливіших властивостей асфальтобетону його деформативну здатність за низьких температур. Недостатня деформативна здатність призводить до утворення тріщин у дорожніх покриттях. Тому найважливіше визначати розтяжність бітумів за температури 0 °.

Температура розм'якшення характеризує зміну в'язкості у разі підвищення температури.

Для отримання міцних і стійких асфальтобетонних сумішей велике значення має така властивість бітуму, як адгезія, тобто його здатність прилипати до поверхні мінеральних матеріалів. Адгезія залежить від низки причин: бітуми краще прилипають до чистої та сухої поверхні; до основних гірських порід (вапняку, доломіту, базальту) бітум прилипає краще, ніж до кислих порід (граніту, снініту, андезиту); надлишковий вміст бітуму не підвищує, а знижує міцність склеєних частинок між собою. У випадку незадовільного зчеплення з мінеральними матеріалами використовуються спеціальні адгезійні добавки, що підвищують зчеплювальність в'язучого з матеріалами [16].

Рідкі бітуми отримують переважно шляхом компаундування (змішування) в'язкого бітуму з розріджувачем. Внаслідок цього такі бітуми часто називають розрідженими. Їх властивості у великій мірі визначаються властивостями використовуваних розріджувачів. Однією з найважливіших властивостей таких бітумів є швидкість формування їх структури, яка впливає на швидкість формування асфальтобетонних покриттів.

Бітумні емульсії являють собою матеріал у якому бітум у вигляді дрібних частинок розподілений у воді, не змішуючись. Стійкість емульсії досягається введенням поверхнево-активних речовин емульгаторів, які створюють механічно міцну оболонку навколо частинок в'язучого, перешкоджаючи їх з'єднанню.

При змішуванні з мінеральним матеріалом бітумна емульсія розпадається внаслідок випаровування та поглинання води, частинки бітуму з'єднуються і на поверхні мінерального матеріалу утворюється тонка, міцна, водостійка плівка бітуму. Швидкість розпаду бітумних емульсій залежить від виду застосовуваного

емульгатора, крупності та властивостей мінерального матеріалу, температури повітря.

У дорожньому будівництві бітумні емульсії використовують для поверхневої обробки. Нижній шар дорожнього покриття з крупнозернистої асфальтобетонної суміші необхідно обробити бітумною емульсією не пізніше ніж за 6 годин до початку укладання верхнього шару з дрібнозернистої асфальтобетонної суміші [17].

1.3 Аналіз проблеми накопичення та утилізації асфальтних відходів в Україні

За інформацією проєктних організацій та корпорації «Укравтодор», Україна має потенціал для переробки приблизно 300 тис. тонн асфальтобетону щороку. Це означає, що дорожньо-будівельна галузь могла б заощадити майже 15 тис. тонн бітуму та 285 тис. тонн кам'яного матеріалу [18].

В Україні переробляється певна частина асфальту за допомогою машини для ямкового ремонту доріг. Рециклер асфальту - це спеціальна дорожньо-будівельна машина, призначена для вторинної переробки (рециклінгу) асфальтових матеріалів під час ремонту дорожнього полотна. Він використовується для швидкого ямкового ремонту, зняте дорожнє покриття переробляється безпосередньо на місці ремонту [19]. Проте є певні недоліки такого ремонту. Серед важливих хочу виділити дві основні проблеми:

- Не всі типи асфальту можна переробити. Зазвичай рециклінгу піддаються лише асфальтобетонні суміші з високим вмістом бітуму.
- Перероблений асфальт має нижчі характеристики, такі як міцність, гнучкість та стійкість до старіння, порівняно з первинним асфальтом.

Із застосуванням регенованого асфальту ми вирішуємо ці дві проблеми. Нам не важливо щоб було багато бітуму у старій суміші, ми добавляємо новий бітум по розрахунку. Також асфальт не матиме нижчі характеристики, бо добавляється омолоджувач бітуму.

Хочу відмітити, що наразі не існує офіційної статистики щодо обсягів переробленого асфальту в Україні. Також немає статистики про те скільки відсотків чи тон викидається на сміттєзвалища.

Існує декілька причин цієї відсутності даних:

- Відсутність чіткої системи збору та обліку: В Україні не існує централізованої системи збору та обліку даних про обсяги переробленого асфальту.
- Незаконне скидання: Деякі підрядники та незаконно скидають старий асфальт на сміттєзвалища або в необжиті місця, щоб уникнути витрат на його переробку або повторне використання.
- Відсутність стимулів: В Україні не існує достатньої кількості стимулів для переробки або повторного використання асфальтного покриття. Це робить викидання на сміттєзвалища більш економічно вигідним варіантом для багатьох.

Незважаючи на відсутність точних даних, ми можемо судити з новин, що значна частина старого асфальтного покриття в Україні викидається на сміттєзвалища [20, 21].

Це не лише неефективно з точки зору використання ресурсів, але й може мати негативний вплив на довкілля.

Існують декілька кроків, які можна зробити для вирішення цієї проблеми:

- Впровадження чіткої системи збору та обліку: Це допоможе краще зрозуміти масштаби проблеми та розробити ефективні рішення.
- Застосування штрафів за незаконне скидання: Це може допомогти стримати незаконне скидання асфальту та змусити підрядників та власників доріг відповідально утилізувати відходи.
- Впровадження стимулів для переробки та повторного використання: Це може зробити переробку та повторне використання асфальтного покриття більш економічно вигідними варіантами.

Вирішення цієї проблеми потребуватиме співпраці з боку уряду, підприємств та громадськості. Повторне використання асфальтобетону не тільки сприяє збереженню будівельних ресурсів, але також призводить до економії витрат на

транспортування та сприяє покращенню навколишнього середовища завдяки відповідальному поводженню з бітумними матеріалами.

1.4 Висновки за розділом 1

На основі огляду літератури та результатів досліджень, проведених іншими авторами, можна зробити такі висновки:

- кожна складова асфальту є важливим елементом, від наповнення та якості матеріалів залежить якість кінцевої суміші;
- існує потреба у заміні первинних матеріалів, з метою збереження природних ресурсів;
- проблеми з утилізацією відходів асфальтобетону, може вирішити виробництво регенерованого асфальту;
- існує потреба у дослідженні регенерованого асфальтного покриття.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Вимоги нормативної документації для дослідження властивостей асфальтобетонних сумішей

Існує чітка система норм та стандартів, що регламентує оцінку будівельних матеріалів. Якість матеріалу визначається на основі комплексу числових показників його технічних характеристик, які отримуються в ході тестування зразків [22]. Для більшості матеріалів розроблені стандарти, що визначають обов'язкові методи випробувань. Перед використанням будь-якого будівельного матеріалу його необхідно ретельно випробувати в лабораторних умовах. В сфері асфальтобетону, як і в будь-якій іншій галузі будівельних матеріалів, існують чіткі норми та стандарти, що регламентують його оцінку та контроль якості. Асфальтобетон це неоднорідний матеріал, тому результати тестування постійно відрізняються. Саме тому на заводі обов'язково відбирають проби з кожного виготовленого асфальту.

Основні етапи випробувань асфальтобетону [23]:

Відбір проб: Відповідно до встановлених норм, з партії асфальтобетонної суміші відбираються зразки для тестувань або ж у лабораторних умовах готується асфальтобетонна суміш згідно з досліджуваною рецептурою. Це включає дозування та змішування інгредієнтів, таких як щебінь, пісок, мінеральний порошок та бітум.

1. Формування зразків: З приготовленої суміші формуються зразки певної геометрії, які використовуються для подальших випробувань.

2. Ущільнення зразків: Зразки ущільнюються в лабораторних установках за заданими режимами тиску та температури, що імітують умови укладання асфальтобетону на дорозі.

3. Кондиціонування зразків: Перед випробуваннями зразки витримуються протягом певного часу за певної температури та вологості для досягнення стійкого стану.

4. Лабораторні дослідження: Відібрані зразки піддаються комплексу випробувань, аналогічних до тих, що проводяться для асфальтобетону, отриманого з асфальтобетонного заводу.

5. Оцінка результатів: Отримані дані порівнюються з нормативними показниками та з даними, отриманими для інших досліджуваних рецептур.

6. Аналіз та висновки: На основі результатів досліджень робляться висновки про вплив досліджуваних факторів (складу суміші, режиму ущільнення тощо) на характеристики асфальтобетону. Це дає можливість оптимізувати рецептуру та технологію приготування асфальтобетонної суміші, щоб отримати матеріал з кращими властивостями.

2.2 Виготовлення сумішей з бітумним в'язучим у лабораторії

У лабораторії, згідно з [23] при виготовленні гарячих сумішей, мінеральні компоненти, такі як щебінь, пісок і мінеральний порошок, попередньо піддаються сушінню до досягнення постійної маси за температури 105°C. Маса вважається сталою, коли різниця між двома послідовними зважуваннями з інтервалом в одну годину не перевищує 0,1% від маси вихідного матеріалу. В'язкі бітуми дегідратуються помірним нагріванням до температури (після зникнення піноутворення), що перевищує температуру розм'якшення на 90°C. Рідкі бітуми, якщо потрібно, дегідратуються, нагріваючи їх до температури, яка залежить від марки в'язучого (не більше 20 °C для середньогустіючих і не більше 60 °C для повільногустіючих).

Мінеральні складові, як тільки вони остигнуть до кімнатної температури, вимірюють у відповідних кількостях і вносять до металевої ємності. Потім їх нагрівають у сушильній шафі, регулярно перемішуючи, до температури вказаної у таблиці 2.1. До розігрітих кам'яних матеріалів додають необхідну кількість мінерального порошку, який має кімнатну температуру. Після ретельного змішування усіх мінеральних компонентів протягом 3 хв додають необхідну кількість в'язучого з похибкою не більше 1%, попередньо розігрітого у сушильній

шафі до температури вказаної у таблиці 2.1. Суміш перемішують вручну, після чого витримують у сушильній шафі протягом 30 хв за температури нагріву суміші згідно з вимогами таблиці 2.1. Після цього суміш перемішують до повного і рівномірного з'єднання всіх компонентів, це визначають візуально.

Час змішування компонентів повинен бути:

- при ручному змішуванні - 5 хв для сумішей з дорожнім бітумом та 7 хв для сумішей з модифікованим в'язким;
- при механічному змішуванні - 4 хв для сумішей з дорожнім бітумом та 5 хв для сумішей з модифікованим в'язким.

Таблиця 2.1 – Температура нагріву складових, виготовлення та ущільнення сумішей [23]

Вид суміші	Марка в'язучого	Температура нагріву, °С			
		Мінерального матеріалу	В'язучого	Суміші	Суміші при її ущільненні
Асфальтобетонна	БНД 40/60	175-185	145-165	150-155	140-155
	БНД 60/90	170-180	140-155	145-150	135-145
	БНД 90/130	165-175	135-145	135-145	130-140
	БНД 130/200	155-165	125-135	130-140	125-135
	МГО 130/200, БПГЗ 130/200	125-145	90-110	100-120	90-110
	МГ 130/200, БПГР 130/200	125-145	90-110	100-120	90-110
	СГ 130/200, БСГР 130/200	115-140	80-105	90-115	80-105
	МГО 70/130, БПГЗ 70/130	115-125	80-90	90-100	80-90
	МГ 70/130, БПГР 70/130	115-125	80-90	90-100	80-90
	СГ 70/130, БСГР 70/130	110-125	75-90	85-100	75-90

2.3 Вимоги до форм

Фізико-механічні властивості суміші визначають на зразках, отриманих шляхом ущільнення суміші в сталевій опалубці. Циліндричні форми для виготовлення зразків це порожнисті сталеві циліндри з постійною (рис. 2.1) або змінною (рис.2.2) товщиною стінок. Розмір форм визначається на основі найбільшого розміру зерна мінеральних частинок у суміші (табл. 2.2).

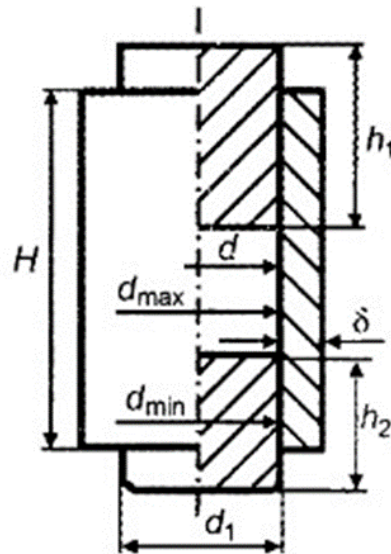


Рисунок 2.1 – Форма одиночна звичайна з постійною товщиною стінки [23]

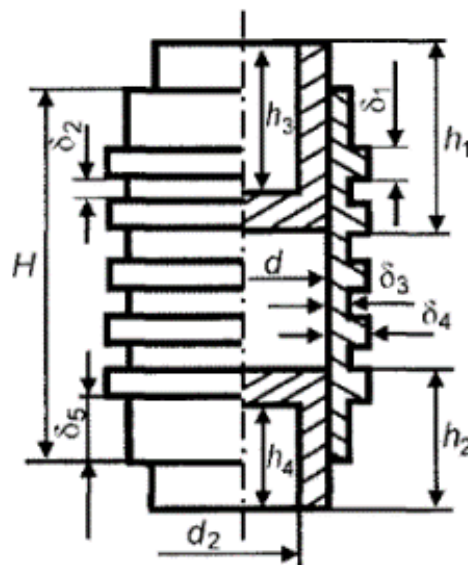


Рисунок 2.2 – Форма одиночна полегшена зі змінною товщиною стінки [23]

Таблиця 2.2 – Розміри форм для циліндричних зразків [23]

Розмір форми		Форми для сумішей з найбільшою крупністю мінеральних зерен, мм			
		звичайна		полегшена	
		5 мм; 10 мм; 15 мм; 20 мм	40 мм	5 мм; 10 мм; 15 мм; 20 мм	40 мм
Внутрішній діаметр форми, мм	d	71,4 ± 0,1	101,0 ± 0,2	71,4 ± 0,1	101,0 ± 0,2
Діаметр вкладиша, мм	d ₁	71,2 ± 0,1	100,6 ± 0,2	71,2 ± 0,1	100,6 ± 0,2
Внутрішній діаметр виїмки вкладиша, мм	d ₂	-	-	47,4 ± 2	77,0 ± 2
Висота форми, мм	H	160 ± 2	180 ± 2	160 ± 2	180 ± 2
Висота верхнього вкладиша, мм	h ₁	100 ± 2	110 ± 2	100 ± 2	110 ± 2
Висота нижнього вкладиша, мм	h ₂	60 ± 2	70 ± 2	60 ± 2	70 ± 2
Глибина виїмки верхнього вкладиша, мм	h ₃	-	-	80 ± 2	90 ± 2
Глибина виїмки нижнього вкладиша, мм	h ₄	-	-	40 ± 2	50 ± 2
Товщина стінки форми, мм	δ	12 ± 0,5	12 ± 0,5	-	-
Ширина ребра, мм	h ₁	-	-	5 ± 0,1	5 ± 0,1
Відстань між ребрами, мм	h ₂	-	-	5 ± 0,1	5 ± 0,1
Товщина стінки форми без ребра, мм	h ₃	-	-	6 ± 0,3	6 ± 0,4
Товщина стінки форми з ребром, мм	h ₄	-	-	12 ± 0,3	12 ± 0,4
Висота відступу першого ребра від краю форми, мм	h ₁	-	-	25 ± 1	25 ± 1
Площа зразка, мм ²		4000	8000	4000	8000

Форма виготовлена зі сталі, механічні властивості не нижче конструкційної сталі Ст 35. Допустимі відхилення від номінальних розмірів внутрішнього діаметра циліндра і зовнішнього діаметра втулки, наведені в таблиці 2.2. Відхилення від площинності торцевих поверхонь покриття не повинно перевищувати 0,04 мм – для покриття діаметром 71,4 мм. Відхилення від перпендикулярної лінії циліндричної поверхні покриття відносно поверхні їх основи не повинно перевищувати 0,05 мм – для покриття діаметром 71,4 мм [23].

2.4 Методика дослідження властивостей асфальтобетону

Випробування асфальтобетону є невід'ємною частиною процесу його розробки та використання. Основна мета цих випробувань – визначення фізико-механічних властивостей матеріалу, що забезпечують його надійність і довговічність у дорожньому будівництві. Нижче розглянемо основні методи випробувань асфальтобетону [23] та їх ефективність.

1. Визначення гранулометричного складу.

Суміш просівають через набір сит з різними розмірами отворів. Попередньо матеріал сушать до постійної маси. Після просіювання визначають масу залишків на кожному ситі, що дозволяє встановити гранулометричний склад.

2. Визначення середньої густини асфальтобетону

Середня густина асфальтобетону визначається за допомогою гідростатичного зважування. Для цього зразки асфальтобетону зважують у повітрі та у воді, після чого розраховують їхню густину. Цей метод дозволяє отримати точні дані про щільність матеріалу, що є важливим показником його якості.

3. Визначення водонасичення

Метод визначення водонасичення полягає у вимірюванні кількості води, яку поглинає зразок при заданому режимі насичення. Зразок занурюється у воду, і після певного часу вимірюється його маса до та після насичення. Цей метод дозволяє оцінити здатність асфальтобетону протистояти проникненню води, що є важливим фактором для його довговічності.

4. Визначення границі міцності при стисканні

Для визначення границі міцності при стисканні використовують прес, який створює навантаження на зразок до його руйнування. Випробування проводяться при різних температурах, що дозволяє оцінити поведінку асфальтобетону в різних кліматичних умовах. Цей метод є одним з найважливіших, оскільки міцність при стисканні безпосередньо впливає на здатність дорожнього покриття витримувати навантаження від транспорту.

5. Випробування на морозостійкість

Морозостійкість асфальтобетону визначається шляхом циклічного заморожування та відтаювання зразків. Цей метод дозволяє оцінити стійкість матеріалу до низьких температур та його здатність витримувати численні цикли заморожування-відтаювання, що є важливим для регіонів з холодним кліматом.

6. Випробування визначення стійкості, умовної пластичності та показника умовної жорсткості за методом Маршалла

Стійкість асфальтобетонної суміші за методом Маршалла визначається за допомогою преса Маршалла, який створює навантаження на циліндричний зразок до його руйнування. Умовна пластичність визначається шляхом вимірювання деформацій зразка під час випробування на стійкість. Пластичність асфальтобетону характеризується відношенням вертикальної деформації до максимального навантаження, яке зразок витримує до руйнування. Проте для цього випробування потрібно ущільнювати зразки за допомогою автоматичного ущільнювача ударної дії.

Зазначені методи дають точне уявлення про здатність асфальтобетону витримувати навантаження та дозволяють оцінити довговічність матеріалу в умовах експлуатації.

РОЗДІЛ 3

ЗБІР ТА ПІДГОТОВКА МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АСФАЛЬТУ

3.1 Забір матеріалу

Дослідження розпочинається із збору матеріалів. Склади щебеню, гравію та піску є відкритими майданчиками, де матеріали зберігають насипом, як показано на рис. 3.1. Майданчики планують із ухілами 5...20% для стоку дощової води.



а

б

а) щебінь; б) пісок з відсівом дроблення.

Рисунок 3.1 – Зберігання матеріалів

На прирейкових заводах передбачають механізоване розвантаження матеріалів, що надходять. Для щебеню та піску застосовують розвантажувач продуктивністю до 2,5 м³/год. З його допомогою щебінь та пісок відсипають у штабелі, розташовані вздовж залізничної гілки.

Для щебеню застосовують скребкові розвантажувачі продуктивністю 100 м³/год з підрейковий бункером. З вагонів щебінь розвантажують у підрейковий бункер, звідки матеріал по вібрлотку, живильнику і конвеєру, що радіально-штабелює, відсипають на склад.

Склад мінерального порошку складається з механізмів, які призначені для прийому його з транспортних засобів, зберігання та подачі та дозування. Агрегати включають в себе силосні бункери, обладнання для транспортування мінерального порошку, фільтри при використанні пневмоподачі, показники рівня, аераційні пристрої, засувки та насоси.

Мінеральний порошок розвантажується з вагонів через підрейковий приямок, в якому встановлено пневмокачальний насос. Цей насос всмоктує мінеральний порошок з камери і подає його за допомогою стисненого повітря через трубопровід до силосних банок. Подачу мінерального порошку з банок до дозатора забезпечує пневмокамерний насос або донний розвантажувач трубопроводом. Для цього також може використовуватися пневмогвинтовий підйомник, який дозволяє перемішувати мінеральний порошок з банки в банку, уникнувши його стеження. Управління всім процесом автоматизоване.

Бітумосховище являє собою склад, що включає наземні або підземні резервуари для прийому, зберігання, нагрівання та перекачування органічних в'язучих матеріалів у бітумоплавильні установки. Органічні в'язучі прибувають на склад по залізниці у цистернах (для рідкого бітуму) або бункерах місткістю 10 т по 4 шт. на платформі (для в'язкого бітуму). Подвійні стінки бункерів дозволяють створювати з-поміж них парову сорочку.

Перед вивантаженням бункерів у парову сорочку подають перегріту пару для розігріву тонкого шару бітуму, що прилягає до внутрішньої стінки бункера. Після цього його перекидають за допомогою пристроїв, якими обладнане бітумосховище. При перекиданні бункера бітум вивалюється як брили. Потім бункер повертається у вихідне положення, оскільки центр ваги порожнього бункера знаходиться нижче точок опор.

Асфальтову крихту отримують шляхом фрезерування. Це здійснюється шляхом зняття невеликого шару старого покриття для поліпшення його зчеплення з новим шаром асфальтобетону або для абсолютного видалення старого покриття. Фрезерування здійснюється за допомогою спеціальної фрези, яка обережно знімає частину покриття, щоб не пошкодити глибші шари дороги. Фрезерування

перетворює старий асфальтобетон на сипучий будматеріал – гранульований матеріал, що складається зі шматків точно визначених розмірів. Асфальтобетон, може бути повторно використаний як основа для укладання нового дорожнього покриття. Зберігається так само як і щебінь (рис.3.2).



Рисунок 3.2 – Зберігання асфальтової крихти

3.2 Визначення гранулометричного складу

3.2.1 Обладнання та засоби контролю

Для визначення гран. складу використовують наступне приладдя:

1. Тарілка металева (рис. 2.3, а);
2. Шафа сушильна, що забезпечує нагрів та підтримання температури 145°C протягом потрібного часу з похибкою $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.3, б);
3. Піч муфельна, що забезпечує нагрів та підтримання температури до 470°C протягом потрібного часу з похибкою $\pm 5^{\circ}\text{C}$ (рис. 2.3, г);
4. Ваги лабораторні 4-го класу точності, що забезпечують похибку зважування $\pm 0,1$ г (рис. 2.3, а);

5. Сита лабораторні, з вічками: 10 мм; 5 мм; 2,5 мм; 1,25 мм; 0,63 мм; 0,315 мм; 0,14 мм; 0,017 мм та $< 0,071$ мм (рис. 2.3, в);

6. Штангенциркуль шаблон для визначення лещадності щебеню (рис. 2.3, д).



а



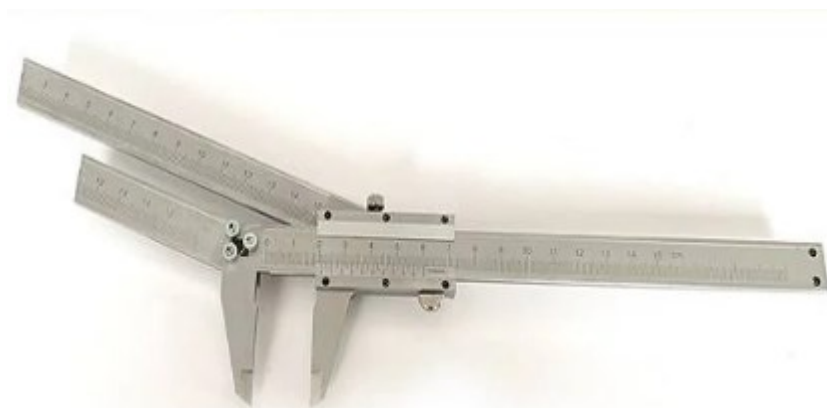
б



в



г



д

Рисунок 3.3 – Необхідне приладдя та засоби контролю

3.2.2 Проведення

Після відбору усіх матеріалів, щебінь, гранітний відсів та мінеральний порошок висушують за температури $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ з відхиленням $\pm 5^{\circ}\text{C}$, доки маса не стане стабільною. Стабільною вважається маса тоді, коли різниця між зважуваннями двічі поспіль, з інтервалом в одну годину, не буде перевищувати $0,1\%$ [23].

Асфальтову крихту також підсушуємо, доки матеріал не буде мати менш більш стабільну масу. Вимог, щодо температури висушування асфальтової крихти немає, тому ми сушили її при температурі 105°C, щоб старий бітум який є у цій суміші не вигорів.

Невелику частину кожного з цих сипучих матеріалів (щебінь, відсів та мінеральний порошок) ми відбираємо для визначення гранулометричного складу.

Гранулометричний склад матеріалу - це кількісний розподіл його частинок за їх розмірами. Іншими словами, він описує співвідношення часток різної величини, які складають матеріал. Гранулометричний склад визначається за допомогою ситового аналізу. Цей метод полягає в просіюванні щебеню через набір сит з різними розмірами вічок. Залишок на кожному ситі зважується, і дані використовуються для побудови гранулометричної кривої.

Перш за все потрібно промити матеріали та визначити гранулометричний склад кожного матеріалу окремо. Для цього відібрану частину матеріалу розміщують у металевій чаші та заливають невелику кількість води (8-10% від маси суміші). Потім полощимо матеріал протягом 2-3 хв. Воду, що містить завислі частки, фільтрують через сито з розміром вічок 0,071 мм (рис. 3.4). Це робиться для видалення забруднень, пилу, глини та інших дрібних часток. Послідовне розтирання часток і зливання забрудненої води триває до тих пір, поки вода не стане більш-менш прозорою. Промивання матеріалів безпосередньо на ситі не дозволяється.

Після закінчення промивання частинки мінерального матеріалу, що більші ніж 0,071 мм, які залишилися на ситі та матеріал у металевій тарелі поміщають у сушильну шафу для експрес-висушування до постійної маси за температури 145°C (рис. 3.5)



Рисунок 3.4 – Фільтрування каламутної води через сито 0,071 мм



Рисунок 3.5 – Експрес-висушування матеріалів

Аби якісно визначити гранулометричний склад асфальтової крихти потрібно випалити старий бітум (рис. 3.6). Оскільки в суміші є бітум, який за температури висушення матеріалу розплавиться та буде склеювати між собою частинки.

Гранулометричний склад визначають тільки на сухому матеріалі [24]. Обираємо температуру випалу 450°C. Діапазон температур від 420 до 470 °C підходить для більшості типів бітумів, що використовуються в асфальтобетонних сумішах.



Рисунок 3.6 – Випалювання бітуму у муфельній печі

Після висушення проб матеріалів, об'єднують те, що залишилося на ситі з усім матеріалом в тарелі та проводимо просіювання ручним способом через набір каліброваних сит. Лабораторні сита використовуються для сортування просіюваного матеріалу на фракції за їхніми розмірами, враховуючи розміри комірок сита. Просіюємо та зважуємо кожен остаток на ситі (рис. 3.7), це частковий залишок у грамах.

Перед завершенням процесу просіювання для перевірки кожне сито енергійно струшують протягом 1 хв над листом паперу.

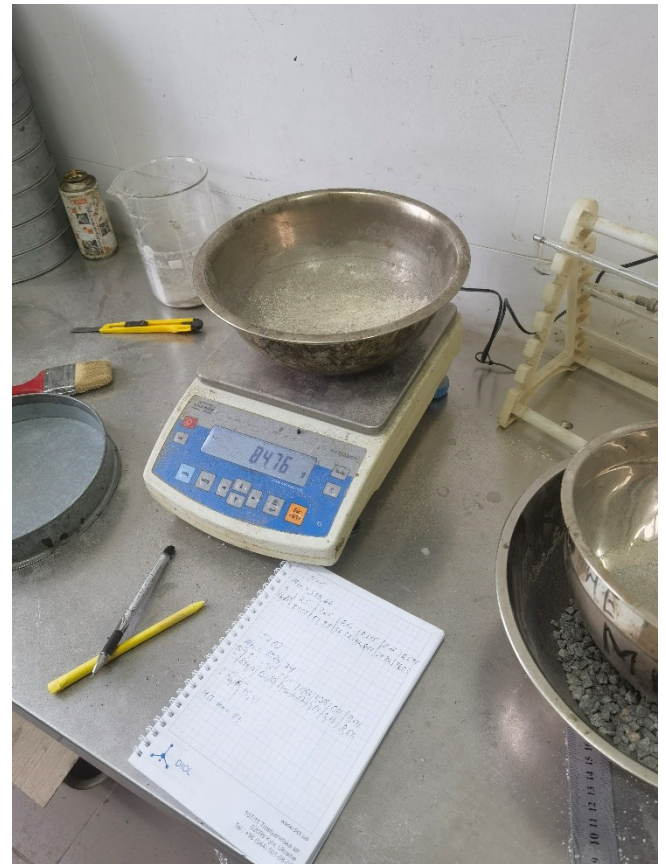
Просіювання вважається завершеним при дотриманні наступних умов:

- на папері немає частинок, які пройшли крізь сито 2,5 мм або більше;
- маса частинок, що проходять крізь сита з розміром вічок 1,25 мм і 0,63 мм, не перевищує 0,05 г;

- маса частинок, що проходять крізь сито з розміром отворів 0,071 мм не перевищує 0,02 г.



а



б

Рисунок 3.7 – Просіювання (а) та зважування (б) матеріалів

Гранулометричний склад щебеню і гравію характеризується:

- максимальним (D) і мінімальним (d) номінальним розміром частинок або частини суміші, мм;
- розміром загального залишку на контрольних ситах.

Щоб визначити чи придатний щебінь, у фракції, яка має більше 5% від загальної кількості матеріалу визначається кількість камінців лещадної форми за допомогою штангенциркуля для визначення лещадності. Кількість камінців лещадної форми має становити не більше 35%. Ми визначали плоскі камінці в щебеню фракції 5 мм. Зальна маса фракції 844,17 г, маса камінців плоскої

форми 96,26 г. Процент пласких камінців дорівнює $\frac{96,26}{844,17} \cdot 100 = 11,4\%$. За класифікацією по [10], заповнювач належить до кубовидної групи за формою зерен.

Далі визначаємо частковий залишок у відсотках, тобто відсоток кожної фракції від загальної маси проби, за формулою 3.1:

$$a_i = \frac{m_i}{m} \cdot 100, \% \quad (3.1)$$

де, m_i – маса залишку на ситі, г;

m – маса проби, г.

Дані вносять у таблицю 3.1

Таблиця 3.1 – Частковий залишок матеріалів

Розмір вічок сита, мм	Щебінь		Пісок з відсівом дроблення		Мінеральний порошок	
	Частковий залишок		Частковий залишок		Частковий залишок	
	г	%	г	%	г	%
20	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
15	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
10	0,00	0,0	0,00	0,0	0,00	0,0
5	844,17	82,3	46,2	12,2	0,00	0,0
2,5	132,10	12,9	84,09	22,1	0,00	0,0
1,25	13,96	1,4	54,99	14,5	0,01	0,0
0,63	6,17	0,6	56,52	14,9	0,12	0,1
0,315	3,14	0,3	42,11	11,1	0,38	0,4
0,14	3,33	0,3	34,72	9,1	2,37	2,4
0,017	8,86	0,9	38,03	10,0	27,88	27,9
<0,071	14,01	1,4	23,00	6,1	69,24	69,2
	1025,24	100,0	379,66	100,0	100,00	100,0

Тепер просіюємо та визначаємо гран. склад асфальтобетонної суміші яка ставилась на випал. Методика та ж сама, що і з іншими матеріалами. Дані вносимо у таблицю 3.2.

Таблиця 3.2 – Частковий залишок асфальтної крихти

Розмір вічок сита, мм	Асфальтна крихта	
	Частковий залишок	
	г	%
20	0,00	0,0
15	0,00	0,0
10	0,00	0,0
5	130,10	24,3
2,5	102,78	19,2
1,25	66,20	12,4
0,63	56,76	10,6
0,315	37,05	6,9
0,14	39,21	7,3
0,017	66,32	12,4
<0,071	35,60	6,7
	534,43	100,0

3.3 Підбір складу асфальтобетонної суміші

При підборі зернового складу нам також знадобляться такі показники як – повні залишки та повні проходи. Повний залишок визначають на кожному ситі – це сума часткових залишків на даному ситі та усіх попередніх ситах більшого калібру. Наприклад, якщо на ситі з розміром вічок 5 мм частковий залишок дорівнює "а", а на наступному після нього ситі з розміром вічок 2,5 мм частковий залишок дорівнює "b", то повний залишок на ситі 2,5 мм дорівнює сумі "а" та "b". Загальна формула для обчислення повного залишку на ситі підраховується як сума часткових залишків на цьому ситі та усіх попередніх ситах більшого калібру.

Повний прохід – це зворотне до повного залишку. Визначає скільки відсотків матеріалу пройшло через певне сито під час ситуння проби. Це важливо для визначення ефективності ситуння та розподілу матеріалів за розмірами.

Формула для обчислення повного проходу обчислюється як різниця повного залишку від 100% матеріалу.

Ми будемо замішувати асфальтобетонну суміш – АСГ.ДР.Щ.Б1.НП.П.БНД60/90:

- АСГ – асфальтобетонна суміш гаряча (виготовлена з використанням в'язкого бітумного в'язучого);
- ДР – дрібнозерниста суміш (розміром зерен до 20 мм);
- Щ – щільна (із залишковою пористістю від 2 до 5 відсотків);
- Б1 – тип суміші за вмістом щебеню та різновидом піску;
- НП – непереривчастий гранулометричний склад мінеральної частини (тобто складові рівномірно розподілені по всій масі суміші, і немає видимих окремих шарів або областей концентрації окремих компонентів);
- П – асфальтобетон поділяють на марки I або II за якістю використаних складових та значенням фізико-механічних властивостей асфальтобетонної суміші;
- БНД 60/90 – марка бітумного в'язучого (в даному випадку бітум нафтовий дорожній має температуру розм'якшення 60 градусів, а рівень пенетрації 0,1 мм при температурі 25°C – 90).

Визначення зернового складу асфальтобетонної суміші проводиться методом підбору за допомогою таблиці 3.3. Процент підбираються вручну так, щоб повні проходи мінеральних зерен через сита попадали у межі норми, які встановлені.

Таблиця 3.3 – Визначення складу щільної, дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу Б1

Розмір вічок сита, мм	Частковий залишок, %			Дозування матеріалу			Часткові залишки проектованої суміші, %	Повні залишки запроектованої суміші, %	Повні проходи мінеральних зерен через сита, %	Проходи мінеральних зерен через сита згідно ДСТУ Б.В.2.7- 119-2011	
	Щебінь	Відсів	МП	Щебінь	Відсів	МП					
							40 г				
	40%	53%	7%	100 г	100%						
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	100,00	100	100
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	100,00	100	100
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	100,00	100	90
5	82,3	12,2	0,0	32,9	6,4	0,0	39,38	39,38	60,62	65	55
2,5	12,9	22,1	0,0	5,2	11,7	0,0	16,89	56,28	43,72	53	43
1,25	1,4	14,5	0,0	0,5	7,7	0,0	8,22	64,50	35,50	43	33
0,63	0,6	14,9	0,1	0,2	7,9	0,0	8,14	72,64	27,36	33	23
0,315	0,3	11,1	0,4	0,1	5,9	0,0	6,03	78,67	21,33	25	16
0,14	0,3	9,1	2,4	0,1	4,8	0,2	5,14	83,81	16,19	18	11
0,017	0,9	10,0	27,9	0,3	5,3	2,0	7,61	91,42	8,58	14	8
<0,071	1,4	6,1	69,2	0,5	3,2	4,8	8,60	100,0	0,00	0	0
	100,0	100,0	100,0	40,0	53,0	7,0	100,0				

Ми визначили масу сухого матеріалу на 100 грам. Оскільки нам потрібно 9 зразків вагою приблизно по 700 г, то потрібно зробити заміс на 7 кілограм, ми домножуємо масу кожного матеріалу на 70. Отже остаточна маса сухого матеріалу для замісу на 7 кг: щебінь – 2800 г, відсів – 3710 г, мінеральний порошок – 490 г. Тепер рахуємо бітум

По нормах в асфальтобетоні типу Б1 вміст в'язучого має бути в межах від 5 до 6,5 відсотків. Ми обрали 6,15% від маси сухого матеріалу. Отже вміст бітуму у суміші дорівнює $0,0615 \cdot 7000 = 430,5$ г.

На основі таблиці по підбору складу зернової суміші проектується графік зернового складу (рис. 3.8), по якому добре видно чи знаходиться зернова суміш у межах норми.

Щоб запроектувати асфальтобетонну суміш типу Б1, але з вмістом регенованого асфальтного покриття (РАП), нам потрібно взяти контрольні точки для порівняння з попередньою сумішшю для того, щоб асфальтобетони були максимально схожі між собою за зерновим складом. Якщо суміші будуть різні, то результати випробувань будуть не об'єктивні. Ми обрали контрольну точку по повному проході мінеральних зерен через сита 5 мм та 0,017 мм. Також схожість сумішей можна порівняти за графіком зернового складу (рис. 3.8, рис. 3.9). Оскільки у нас дрібнозернистий асфальтобетон, який використовується у верхньому шарі дорожнього одягу, згідно з [25] при здійсненні гарячого ресайклінгу дорожнього асфальтобетону рекомендовано обмеження вмісту РАП до 10 % - 15 %. Підбір складу суміші робимо за допомогою таблиці 3.4.

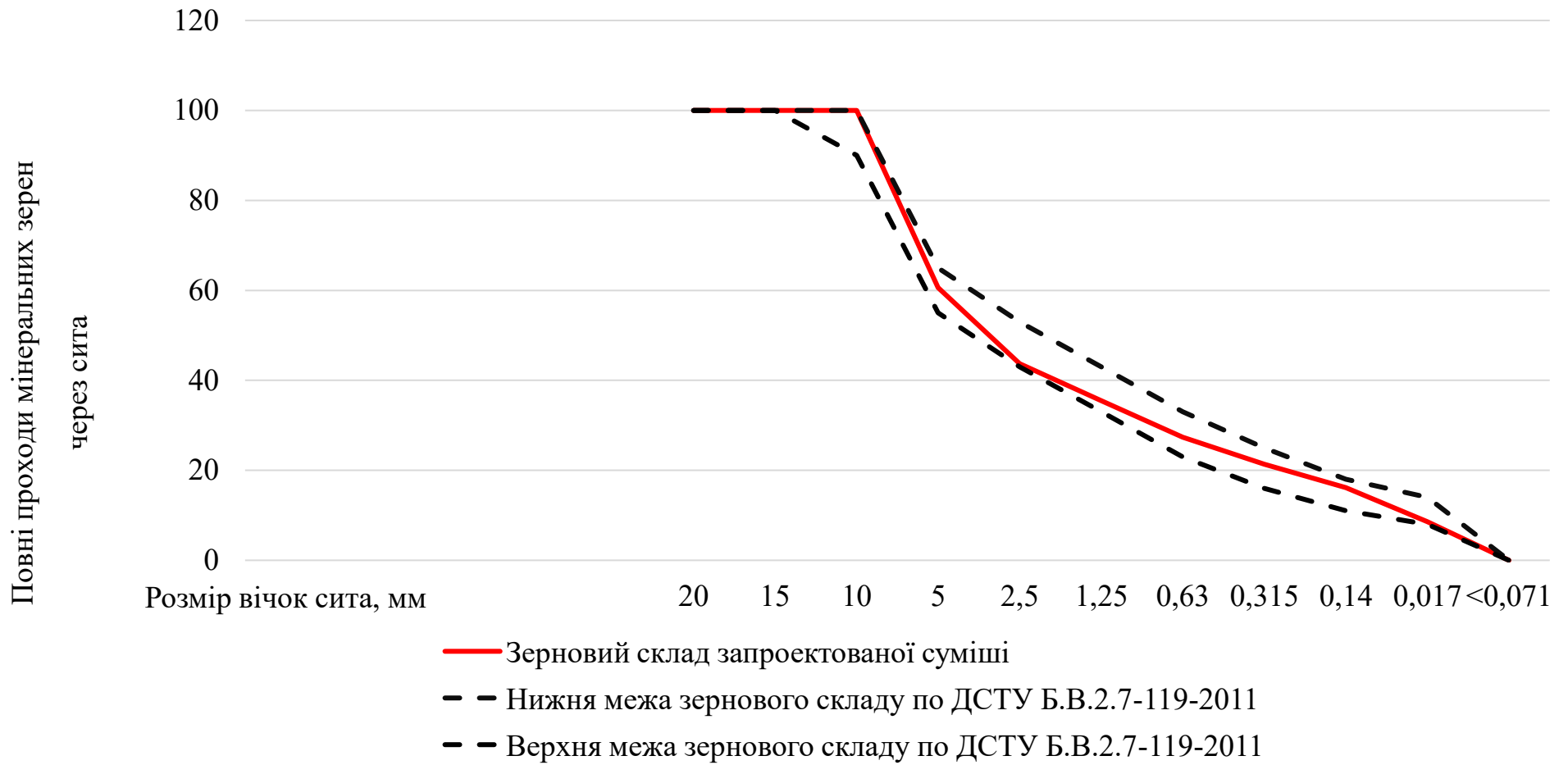


Рисунок 3.8 – Графік зернового складу запроєктованої асфальтобетонної суміші типу Б1

Таблиця 3.4 – Визначення складу щільної, дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу Б1 з вмістом регенованого асфальтного покриття

Розмір вічок сита, мм	Частковий залишок, %				Дозування матеріалу				Часткові залишки проєктованої суміші, %	Повні залишки проєктованої суміші, %	Повні проходи мін. зерен через сита, %	Проходи мінеральних зерен через сита згідно ДСТУ Б.В.2.7-119-2011	
	РАП	Щебінь	Відсів	МП	РАП	Щебінь	Відсів	МП					
					15 г	37,4 г	40,9 г	6,7 г	100 г				
					15 %	37,4%	40,9%	6,7 %	100,00%				
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	100,00	100	100
15	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	100,00	100	100
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,00	0,00	100,00	100	90
5	24,3	82,3	12,2	0,0	3,7	30,8	5,0	0,0	39,40	39,40	60,60	65	55
2,5	19,2	12,9	22,1	0,0	2,9	4,8	9,1	0,0	16,76	56,16	43,86	53	43
1,25	12,4	1,4	14,5	0,0	1,9	0,5	5,9	0,0	8,29	64,45	35,56	43	33
0,63	10,6	0,6	14,9	0,1	1,6	0,2	6,1	0,0	7,91	72,36	27,65	33	23
0,315	6,9	0,3	11,1	0,4	1,0	0,1	4,5	0,0	5,72	78,07	21,94	25	16
0,14	7,3	0,3	9,1	2,4	1,1	0,1	3,7	0,2	5,12	83,19	16,82	18	11
0,075	12,4	0,9	10,0	27,9	1,9	0,3	4,1	1,9	8,15	91,34	8,60	14	8
<0,075	6,7	1,4	6,1	69,2	1,0	0,5	2,5	4,6	8,63	100,0	0,00	0	0
	100,0	100,0	100,0	100,0	15,0	37,4	40,9	6,7	100,0				

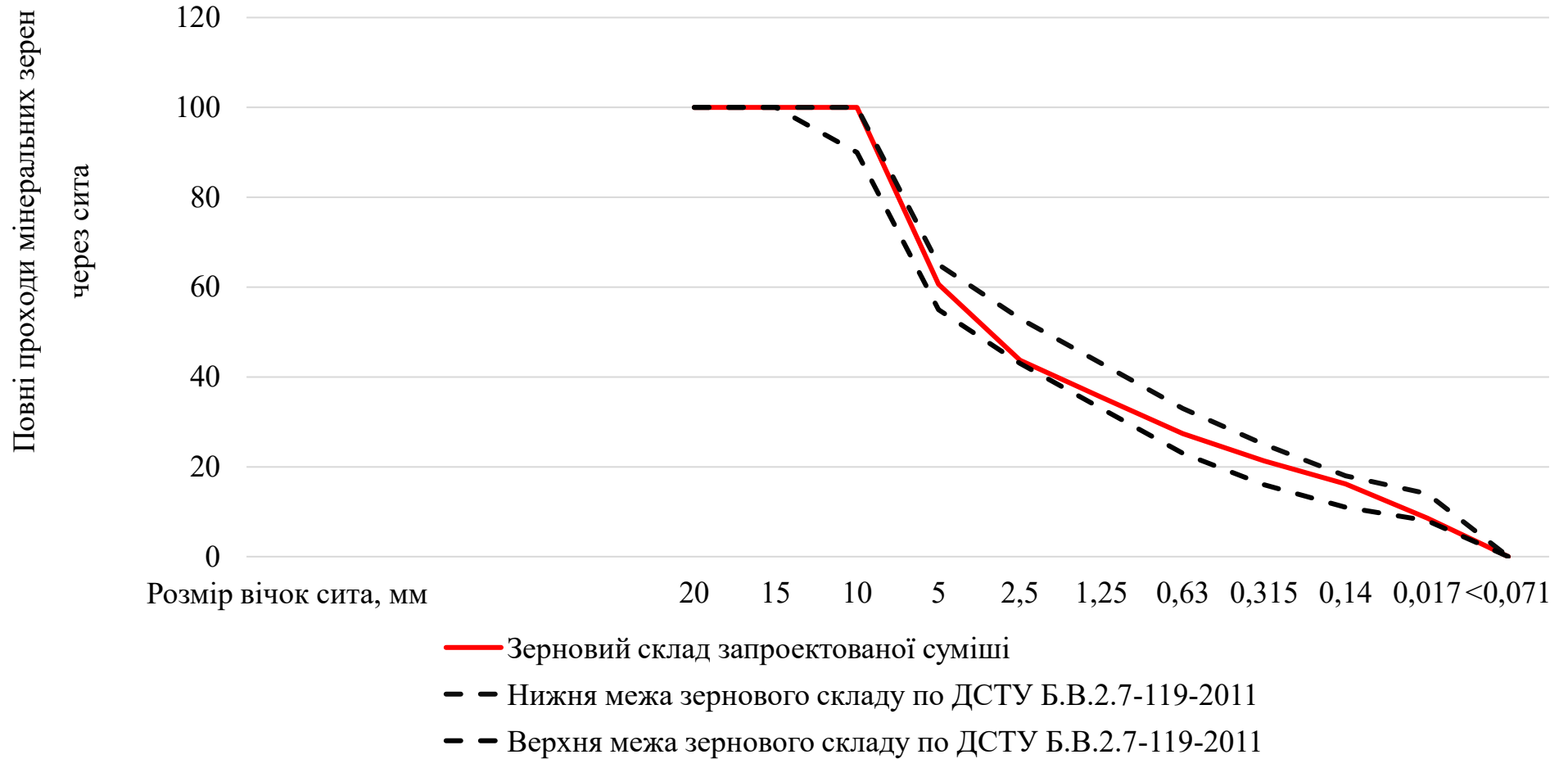


Рисунок 3.9 – Графік зернового складу запроєктованої асфальтобетонної суміші типу Б1+ РАП

Знову ж таки маса сухого матеріалу для замісу на 7 кг: асфальтна крихта – 1050 г, щебінь – 2618 г, відсів – 2863 г, мінеральний порошок – 469 г. Для того щоб визначити кількість бітуму у новій запроєктованій суміші, потрібно спершу визначити кількість бітуму у старому асфальті, для цього ми ставили фрезу на випал. Маса матеріалу до випалу становила 572,17 г, після випалу – 534,43, кількість бітуму який був у суміші дорівнює $572,17 - 534,43 = 37,74$ г.

Тепер коли ми знаємо скільки бітуму у суміші, можемо розрахувати кількість омолоджувача. В якості омолоджувача добавлятимемо бітумну емульсію. Пропорції омолоджувача бітуму залежать від віку та стану бітуму, а також від типу використовованого омолоджувача. Будемо використовувати 2,5% омолоджувача бітуму. Прийнята концентрація добавки відповідає концентрації добавки, що наноситься на дорожнє покриття у вигляді водної емульсії в кількості 250 мл/м² [26]. Спершу визначаємо скільки бітуму є на 100 г старої суміші:

$$\frac{100 \cdot 37,74}{572,17} = 6,6 \text{ г для семи кг нам потрібно } 1050 \text{ г асфальтової крихти, отже}$$

бітуму там 69,3 г.

$$\text{Добавлятимемо } 2,5\% \text{ омолоджувача від маси бітуму } \frac{69,3 \cdot 2,5}{100} = 1,7 \text{ г.}$$

Перед змішуванням з омолоджувачем подрібнений асфальт нагрівають до 105°C. Цей процес сприяє кращому з'єднанню компонентів. Змішування триває 10 хвилин і полягає в з'єднанні попередньо нагрітого до 105°C асфальту з омолоджувачем кімнатної температури. Також визначаємо скільки потрібно додати нового бітуму, враховуючи бітум у старій асфальтобетонній суміші: $430,5 - 71 = 359,5$ г.

Замішуємо обидві суміші строго по рецептах (рис 3.10). Нагріті елементи насипаємо по чергово на тацю. Замішуємо, та періодично знову ставимо нагріватися, щоб замішування відбувалося при потрібних температурах, оскільки суміш швидко остигає. Бітум зневоднюють шляхом помірною нагрівання до температури, яка на 90°C вище температури його розм'якшення, після чого піноутворення припиняється. Температура сумішей під час виготовлення зразків повинна бути на рівні наведеному в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Температура нагріву складових, виготовлення та ущільнення сумішей [23]

Вид суміші	Марка в'язучого	Температура нагріву, °С			
		Мінерального матеріалу	В'язучого	Суміші	Суміші при її ущільненні
Асфальтобетонна	БНД 60/90	170-180	140-155	145-150	135-145



а



б

Рисунок 3.10 – Дозування (а) та замішування (б) матеріалів

3.4 Формування зразків

3.4.1 Виготовлення зразків

Виготовляти зразки будемо у одиночній звичайній циліндричній формі з постійною товщиною стінки. Зразки для вимірювання фізико-механічних властивостей виробляють за допомогою пресування суміші.

Для виготовлення зразків застосовують такі контрольні та вимірювальні прилади:

1. Прес гідравлічний П-50 лабораторний для ущільнення зразків. Він забезпечуватиме тиск на зразок до 40 МПа, з похибкою вимірювання навантаження $\pm 2\%$.

2. Сушильна шафа, яка забезпечує нагрів до температури 250°C та підтримку заданої температури протягом потрібного часу з похибкою $\pm 5\text{ }^\circ\text{C}$.

3. Ваги лабораторні, що забезпечують похибку зважування $\pm 0,1\text{ г}$.

4. Секундомір з ціною поділки 0,2 с.

5. Пірометр.

6. Форми для виготовлення зразків.

7. Витискний пристрій.

Суміш нагрівають до заданої температури за таблицею, а форму та вкладиші нагрівають до температури 95 °С. Після досягнення потрібної температури, форму з вставленою нижньою вставкою, розташовану на столі, заповнюють орієнтовною кількістю суміші (рис. 3.11, а) згідно з табл. 3.6.

Таблиця 3.6 – Орієнтовна кількість суміші для виготовлення зразку [23]

Вид суміші	Розмір зразка, мм		Орієнтовна кількість суміші на зразок, г
	діаметр	висота	
Гаряча	$71,4 \pm 0,1$	$71,4 \pm 0,1$	680 - 710

Суміш рівномірно розподіляють у формі штикуванням за допомогою попередньо розігрітого ножа або металевої палиці, вставляють верхній вкладиш і притискають його спершу вручну, далі переносять на прес і верхню плиту преса опускають до верхнього вкладиша та вмикають прес (рис. 3.11, б).



а

б

а – заповнення форми сумішшю, б – пресування зразка

Рисунок 3.11 – Виготовлення зразків

Пресування проб гарячої суміші проводять на гідравлічному пресі у формі протягом 3 хв, які відлічують після досягнення тиску, який залежить від вмісту щебеню в суміші. При вмісті щебеню в суміші більше 35% ущільнення проводять під тиском 30 МПа, потім повільно знижують навантаження, а зразок виймають з форми за допомогою витискного пристрою (рис. 3.12). При цьому, щоб уникнути дроблення частинок мінеральних матеріалів, швидкість руху пресуючого поршня при пресуванні суміші встановлюють на рівні 5 мм за хв до досягнення нормативного тиску. При ущільненні пресуванням забезпечується двостороннє прикладення навантаження, що досягається передачею тиску на суміш, що ущільнюють, через два вкладиші, що вільно рухаються назустріч один одному.



Рисунок 3.12 – Виймання зразку за допомогою витискного пристрою

Одночасно пресується суміш тільки в одній формі. Якщо зразок деформується або частково руйнується під час виймання з форми, він вважається бракованим, а наступні зразки виготовляють при температурі суміші, зниженій на 5 °С чи 10 °С. Зразки з дефектами у вигляді тріщин, відколів, вм'ятин і непаралельністю верхньої і нижньої площин також бракують. Спресовані проби зберігають до проведення випробувань, після чого маркують, записують у лабораторний журнал і готують до дослідження.

3.4.2 Зберігання зразків

Після приготування проб із гарячої суміші їх зберігають на повітрі. Температура повітря в лабораторії повинна бути від 18 до 22 °С. Це необхідно для того, щоб зразки, підготовлені в лабораторії, витримувалися при температурі близько 20°С. Ми випробовували зразки рівно через одну добу, оскільки проби

перевіряють не раніше ніж через 18 і не пізніше ніж через 30 годин після виготовлення. Для проведення необхідних випробувань використовуються зразки однієї суміші з однаковим терміном зберігання.

Зразки зважують на лабораторних вагах. Вагу зразків визначають з точністю до першого знака після коми. Кількість паралельних випробувань визначається методиками випробувань, але не повинна бути менше трьох. У результаті випробувань за досліджуваними значеннями отримують середнє арифметичне показника, якщо різниця між ними відповідає встановленим методиками межах.

3.5 Висновки за розділом 3

Після просіювання матеріалів визначено тип асфальту та підібрано найбільш оптимальний склад асфальтобетону типу Б1 та типу Б1 + РАП. Вибрані контрольні точки забезпечили схожість суміші, це надасть можливість провести лабораторні випробування та об'єктивно порівняти отримані результати.

РОЗДІЛ 4

ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

4.1 Визначення середньої густини асфальтобетону

Суть методу полягає у визначенні середньої щільності зразків за допомогою гідростатичного зважування.

4.1.1 Засоби контролю і допоміжне обладнання

Ваги лабораторні, що забезпечують похибку зважування $\pm 0,1$ г.

Термометр хімічний ртутний, з ціною поділки шкали $0,5$ °С.

4.1.2 Проведення випробування

Перед дослідженнями всі зразки нумеруються канцелярським коректором. Зразки зважують на повітрі. Потім зразки поміщають у резервуар з водою при температурі 20 °С на 30 хвилин (рис 4.1, а), щоб рівень води в резервуарі був щонайменше на 20 мм вище рівня зразків. Після цього проби зважують у воді при температурі 20 °С (рис. 4.1, б), прослідковуючи, щоб у пробах не було бульбашок повітря. Після зважування у воді зразки протирають м'якою тканиною і знову зважують на повітрі. Усі дані вносять у таблицю 4.1. та 4.2.



а – витримання зразків у резервуарі з водою; б – зважування зразка у воді.

Рисунок 4.1 – Визначення середньої густини асфальтобетону

4.1.3 Обробка результатів випробування

Середню густину зразка асфальтобетону ρ_m у грамах на кубічний сантиметр обчислюють за формулою [23]:

$$\rho_m = \frac{m \cdot \rho^B}{m_2 - m_1}, \quad (4.1)$$

де m - маса зразка на повітрі до зволоження, г;

ρ^B - істинна густина води, 1 г/см³;

m_2 - маса зразка, витриманого 30 хв у воді і зваженого на повітрі, г.

m_1 - маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого у воді, г.

Результат середньої щільності зразків розраховують, як середнє арифметичне результатів визначення середньої щільності трьох проб, округлених до другого знаку після коми.

Таблиця 4.1 – Середня густина асфальтобетонної суміші АСГ.ДР.Щ.Б1.НП. П.БНД60/90

Зразок	Маса зразка на повітрі до зволоження, т	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого у воді, т1	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого на повітрі, т2	Середня густина, ρт	Середнє значення показника, ρт	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011
	Г	Г	Г	г/см ³	г/см ³	г/см ³
Зразок №1	700,20	402,30	700,90	2,34	2,33	не нормується
Зразок №2	688,00	389,40	689,20	2,29		
Зразок №3	697,50	402,00	698,10	2,36		

Таблиця 4.2 – Середня густина асфальтобетонної суміші АСГ.ДР.Щ.Б1.НП. П.БНД60/90+РАП

Зразок	Маса зразка на повітрі до зволоження, т	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого у воді, т1	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого на повітрі, т2	Середня густина, ρт	Середнє значення показника, ρт	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011
	Г	Г	Г	г/см ³	г/см ³	г/см ³
Зразок №1	698,70	402,90	700,20	2,35	2,36	не нормується
Зразок №2	693,40	397,60	695,20	2,33		
Зразок №3	701,60	411,00	703,30	2,4		

Дослідження показало, що середня густина асфальту з вмістом регенованого асфальтного покриття ($2,36 \text{ г/см}^3$) трохи вища, ніж у звичайного асфальту ($2,33 \text{ г/см}^3$). Різниця в густині незначна і може не мати суттєвого впливу з огляду на похибку зважування $\pm 0,1 \text{ г}$. Для точнішого висновку про якість асфальту будуть проведені додаткові випробування, такі як визначення водонасичення та тестування міцності на стиск.

4.2 Визначення водонасичення

Метод визначення водонасиченості у асфальтобетонній суміші полягає у визначенні відсоткового вмісту води у пробі. Основна мета полягає в тому, щоб визначити, наскільки насичений вологою є матеріал, що може вплинути на його міцність, довговічність та інші властивості.

4.2.1 Засоби контролю і допоміжне обладнання

Ваги лабораторні, що забезпечують похибку зважування $\pm 0,1 \text{ г}$.

Установка вакуумна, що забезпечує досягнення та підтримання тиску 2000 Па (15 мм рт.ст.).

Термометр хімічний ртутний скляний з ціною поділки шкали $1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Посудина місткістю не менше ніж $3,0 \text{ л}$.

4.2.2 Проведення випробування

Визначення водонасиченості проводять на циліндричних зразках, на яких заздалегідь було виміряно середню густина. Зразки розміщують у посудині з водою при температурі $(20 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$, забезпечуючи рівень води не менше 3 см над ними. Посудину з зразками встановлюють у вакуумній установці (рис. 4.2), де створюють тиск 2000 Па (15 мм рт. ст.) протягом 1 години для гарячих сумішей. Потім тиск повертають до атмосферного і зразки залишають у тій самій посудині з водою при

температурі (20 ± 1) °C протягом 30 хвилин. Після цього зразки виймають з посудини очищають від надлишкової вологи і зважують на повітрі.



Рисунок 4.2 – Вакуумна установка

4.2.3 Обробка результатів випробування

Водонасичення зразка W у відсотках обчислюють за формулою [23]:

$$W = \frac{m_3 - m}{m_2 - m_1} \cdot 100\%, \quad (4.2)$$

де m_3 - маса насиченого водою зразка, зваженого на повітрі, г; m - маса сухого зразка, зваженого на повітрі, г; m_2 - маса зразка, витриманого 30 хв у воді та зваженого на повітрі, г; m_1 - маса зразка, витриманого 30 хв у воді та зваженого у воді, г.

Результат визначення водонасичення приймають як середньоарифметичне значення трьох вимірів, округлене до десятих. Дані вносять у таблиці 4.3 та 4.4.

Таблиця 4.3 – Водонасичення асфальтобетонної суміші АСГ.ДР.Щ.Б1.НП.І.БНД60/90

Зразок	Маса зразка на повітрі до зволоження, m	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого у воді, m ₁	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого на повітрі, m ₂	Маса зразка насиченого водою і зваженого на повітрі, m ₃	Водонасичення зразка, W	Середнє значення показника, W	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011
	г	г	г	г			
Зразок №1	700,20	402,30	700,90	708,40	2,7	3,6	не більше 3,0
Зразок №2	688,00	389,40	689,20	701,40	4,5		
Зразок №3	697,50	402,00	698,10	707,90	3,5		

Таблиця 4.4 – Водонасичення асфальтобетонної суміші АСГ.ДР.Щ.Б1.НП.І.БНД60/90+РАП

Зразок	Маса зразка на повітрі до зволоження, m	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого у воді, m ₁	Маса зразка витриманого 30 хв у воді і зваженого на повітрі, m ₂	Маса зразка насиченого водою і зваженого на повітрі, m ₃	Водонасичення зразка, W	Середнє значення показника, W	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011
	г	г	г	г			
Зразок №1	698,70	402,90	700,20	704,40	1,9	2,4	не більше 3,0
Зразок №2	693,40	397,60	695,20	701,80	2,8		
Зразок №3	701,60	411,00	703,30	708,70	2,4		

Незважаючи на те, що середнє значення показника асфальту типу Б1 (3,57 г/см³) вибивається з норми, ми не стали анулювати результати дослідження. Все тому, що за вимогами системи Superpave встановлена вимога до водонасичення – не більше 4,0. Наше середнє значення водонасичення задовільняє цю вимогу.

Методологія Superpave, запозичена з США, призначена для оптимізації асфальтобетонних покриттів, зокрема для поліпшення їх експлуатаційних характеристик, спрямована на вирішення проблем, пов'язаних з деформаціями та утворенням тріщин. На сьогодні, знання про систему Superpave в Україні є недостатніми. Але бачимо, що є активне зацікавлення цією темою «Віriamo, що отримані знання в майбутньому дозволять впровадити систему проектування складу асфальтобетону SUPERPAVE в Україні і, тим самим, підвищити якість та довговічність автомобільних доріг» [27], саме тому було прийняте рішення щодо зарахування результатів випробування.

Результати дослідження водонасиченості асфальтів виявили суттєві відмінності: середнє значення для асфальту типу Б1+РАП (2,39 г/см³) значно нижче, ніж для асфальту типу Б1 (3,57 г/см³). Це означає, що асфальт з вмістом регенованого покриття утримує менше води, що підвищує його стійкість до вологи, зменшуючи ризик утворення тріщин і вибоїн.

4.3 Визначення границі міцності при стиску

Метод визначення граничного напруження полягає в тому, щоб встановити максимальне значення напруження, при якому випробувальний зразок руйнується за певних умов. Це важливе дослідження дозволяє визначити межу міцності матеріалу та його стійкість до деформації при різних умовах навантаження.

4.3.1 Засоби контролю та допоміжне обладнання

Прес з силовимірниками, з допустимою похибкою $\pm 2\%$.

Водяна баня, що забезпечує підтримання температури 50 °С і 20 °С.

4.3.2 Проведення випробування

Три зразки випробовуються при кожній заданій температурі. Для тестування використовуються зразки одного терміну зберігання. Перед випробуванням зразки піддають термостатуванню у водяній бані протягом години за температури 50 °C та 20°C (рис. 4.3). Випробування має бути проведене протягом 1-2 хв після того, як зразок вилучено з водяної бані.



а



б

а – за температури 20°C, б – за температури 50°C.

Рисунок 4.3 – Термостатування у водяній бані

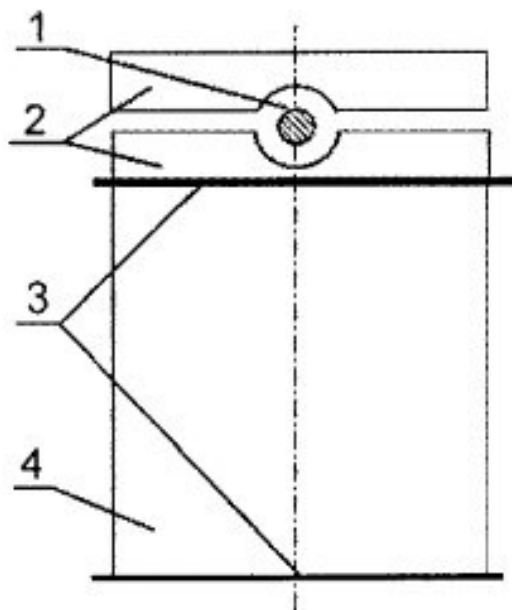
Границю міцності при стиску визначають на механічних пресах, де плити преса рухаються зі стандартною швидкістю ($3,0 \pm 0,1$) мм/хв (рис 4.4). Щоб уникнути втрат тепла під час контакту зразків з металевими плитами випробувальної машини або преса, на верхню та нижню поверхні зразка покладають сухий картон. Це допомагає запобігти передчасним втратам тепла під час випробувань.



Рисунок 4.4 – Механічний прес

Зразок, вийнятий з посудини для термостатування, розміщують на сухому картоні в центрі нижньої плити преса і накривають картоном верхню площину зразка. Потім верхню плиту опускають на відстань 1,5-2 мм від поверхні зразка. Це досягається відповідним підніманням нижньої плити преса. Після цього вмикають прес і починають навантажувати зразок.

Для забезпечення точності визначення границі міцності при стиску, використовується шарнірний пристрій (рис. 4.5), що складається з кульки та двох металевих пластин. Цей пристрій встановлюють на верхній торець зразка, накритий картонною прокладкою. Шарнірний пристрій забезпечує рівномірний розподіл навантаження по всій площі торця зразка, компенсуючи можливу непаралельність верхнього і нижнього торців. Максимальне значення, показане силовимірником, приймається за руйнівне навантаження.



1 - кулька; 2 - металеві пластини; 3 - картон; 4 – зразок.

Рисунок 4.5 – Схема шарнірного пристрою [22]

4.3.3 Обробка результатів випробування

Границю міцності при стиску R_{cm} у мегапаскалях обчислюють за формулою [23]:

$$R_{cm} = \frac{P}{F} \cdot 10^{-2}, \quad (4.3)$$

де P - руйнівне навантаження, Н;

F - початкова площа поперечного перерізу зразка, 40 см^2 ;

10^{-2} - коефіцієнт перерахунку у МПа.

За результат визначення приймають округлене до першого десяткового знака середньо-арифметичне значення випробувань трьох зразків. Дані вносять у таблиці 4.5 та 4.6.

Таблиця 4.5 – Границя міцності на стиск асфальтобетонної суміші АСГ.ДР.Щ.Б1.НП.І.БНД60/90

Показник	№ зразка	Границя міцності при стисканні, R20		Середнє значення показника, R20	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011
		кН	МПа		
Границя міцності на стиск при 20°C, R20	Зразок №1	15,06	3,8	4,3	не менше 2,7
	Зразок №2	18,55	4,7		
	Зразок №3	17,16	4,3		
Границя міцності на стиск при 50°C, R50	Зразок №1	7,16	1,8	1,9	не менше 1,3
	Зразок №2	7,96	2,0		
	Зразок №3	8,04	2,0		

Таблиця 4.6 – Границя міцності на стиск асфальтобетонної суміші АСГ.ДР.Щ.Б1.НП.І.БНД60/90 + РАП

Показник	№ зразка	Границя міцності при стисканні, R20		Середнє значення показника, R20	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119:2011
		кН	МПа		
Границя міцності на стиск при 20°C, R20	Зразок №1	19,62	4,9	5,4	не менше 2,7
	Зразок №2	23,42	5,9		
	Зразок №3	21,94	5,5		
Границя міцності на стиск при 50°C, R50	Зразок №1	12,63	3,2	3,1	не менше 1,3
	Зразок №2	11,95	3,0		
	Зразок №3	12,71	3,2		

Дослідження показало, що асфальтобетон типу Б1 при 20°C має середню міцність 4,3 МПа, але при 50°C ця міцність знижується до 1,9 МПа. Це свідчить про значне погіршення властивостей при високих температурах.

Асфальтобетон типу Б1+РАП при 20°C демонструє міцність 5,4 МПа, що перевищує показники типу Б1. При 50°C його міцність становить 3,1 МПа, що також є значно вищим показником.

4.4 Висновки до розділу 4

Дослідження показало, що асфальт із вмістом регенованого асфальтного покриття (РАП) має певні переваги порівняно зі звичайним асфальтом.

Середня густина асфальту з вмістом регенованого асфальтного покриття (2,36 г/см³) трохи вища, ніж у звичайного асфальту (2,33 г/см³). Різниця в густині незначна і не буде суттєво впливати на компактність та однорідність матеріалу.

Також ми виявили, що асфальт з РАП має меншу водонасиченість (2,39 г/см³ проти 3,57 г/см³ у звичайного асфальту), це вказує на кращу стійкість до впливу води. Це дозволить уникнути руйнування конструкції дорожнього одягу під впливом талих та дощових вод [28]. Менша водонасиченість також сприяє кращій морозостійкості асфальту. В Україні взимку та на початку весни часто трапляються перепади температур від плюсових до мінусових значень. При таких коливаннях температур, відбувається почергове заморожування та відтавання води. Якщо асфальт поглинає менше води, то і обсяг води, яка замерзає та розширюється, буде меншим. Це значно знижує ризик утворення тріщин і вибоїн у дорожньому покритті.

Асфальт з РАП демонструє вищу міцність при різних температурах. При 20°C міцність асфальту з РАП становить 5,4 МПа, що на 25,6% вище, ніж у звичайного асфальту (4,3 МПа). При 50°C ця різниця ще більше зростає — міцність асфальту з РАП становить 3,1 МПа, що на 63,2% перевищує міцність звичайного асфальту (1,9 МПа).

Таким чином, асфальт з РАП є кращим варіантом, оскільки він має меншу водонасиченість і значно кращу міцність як при нормальних, так і при підвищених температурах. Це робить його більш ефективним для дорожнього покриття, зокрема в умовах змінної температури та інтенсивного транспортного навантаження.

Це доводить, що у регенованого асфальтного покриття є великий потенціал, тому ми потребуємо дослідження старих асфальтів для визначення їхньої придатності у нових покриттях та дослідження різноманітних типів асфальту з різними процентними співвідношеннями РАП. Це дасть змогу ефективно впроваджувати ці нові технології, що, в свою чергу, призведе до зменшення використання природних ресурсів, зменшення витрат на виготовлення суміші та покращення екологічної ситуації в країні.

РОЗДІЛ 5

ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Звичайно, що результати лабораторних досліджень не повністю відображають реальні умови експлуатації і щоб забезпечити справедливую оцінку якості асфальтобетону, необхідно провести спостереження за його зносостійкістю та старінням під час реальної експлуатації. Але на основі усіх проведених випробувань можна вважати, що асфальтобетон з вмістом регенованого асфальту виявився кращим за усіма параметрами в порівнянні з асфальтобетоном типу Б1.

Поговоримо про явні переваги використання асфальту з вмістом РАП в Україні.

Перше і напевно найбільш важливе це збереження навколишнього середовища. Використання РАП дає змогу зменшити кількість будівельних відходів, які потрапляють на звалища. Це сприяє захисту ґрунтів та водних ресурсів. Виробництво РАП потребує менше енергії та ресурсів, ніж виробництво первинних матеріалів. Це призводить до зменшення викидів парникових газів та пом'якшення наслідків зміни клімату. Заміна первинних матеріалів сприяє збереженню природних ресурсів.

Також до явних переваг відноситься економічна складова. Використання РАП може суттєво знизити витрати на будівництво дорожнього покриття. Це пов'язано з тим, що РАП є значно дешевшою альтернативою первинним матеріалам. РАП сприяє зменшенню потреби у видобутку та переробці первинних матеріалів, що економить значні кошти, а також збереже родючі землі. Видобуток корисних копалин призводить до вилучення з використання земель, придатних для сільськогосподарського та лісового господарства. В результаті порушуються гідрологічний і гідрогеологічний режими прилеглої території, знижується врожайність сільськогосподарських культур та ріст деревини [1].

Також є економія на транспортуванні асфальтова крихта є більш доступною, тому що її можна транспортувати з ближніх джерел.

Згідно [30, 31] справжня економія починається коли вміст регенованого покриття у новій суміші становить 50 і більше відсотків. Використання 100% РАП в асфальтових сумішах знижує вартість будівництва дорожнього покриття приблизно на 50% і викиди CO₂ на 35%, тоді як використання 50% РАП мінімізує вартість будівництва на 24–35%. На основі цього можемо порахувати що використання в сумішах 15% РАП знижує вартість будівництва на 7,2-10,5%, хоча це не багато, але це вже суттєвий крок на зустріч більш екологічно безпечному будівництву дорожнього покриття, що має велике значення для інфраструктурного розвитку країни та збереження навколишнього середовища.

Потенційними перевагами застосування асфальтобетонних сумішей з вмістом РАП у майбутньому хочу віднести такі:

- Виробництво та використання РАП може стимулювати розвиток нових галузей та створити нові робочі місця в сфері рециклінгу та будівництва.
- Більш довговічні та стійкі дороги можуть покращити якість життя людей, зменшуючи кількість ремонтних робіт та пов'язаних з ними незручностей.

Важливо також згадати недоліки. Першою найбільш важливою проблемою, є те, що у період активного будівництва автодоріг у 70-80 роки ХХ століття, заповнювачами в сумішах були місцеві матеріали, такі як маломіцні вапняки, а також промислові відходи, які відрізнялися низькою морозостійкістю. У складі сумішей переважали не дефіцитні бітуми, а дьоготь, який є токсичним матеріалом, містить канцерогенні речовини, такі як бензопірен, які є шкідливими для здоров'я людей та навколишнього середовища. Крім того, для ремонту дорожніх покриттів часто застосовували рідкі органічні в'язучі, які з часом розріджували бітум у нижніх шарах і руйнували структуру покриття. Це все є критичними порушенням, а отже стане суттєвою перешкодою у впровадженні та виробництві сумішей з вмістом відфрезерованого матеріалу.

Українські промислові підприємства часто стикаються з уповільненням розвитку технологічного та виробничого сектору через дефекти, характерні для пострадянських компаній, та економію на інвестиціях в інновації. Висока вартість

залучення інвестицій і складність пошуку інвесторів через політичну та економічну нестабільність також додають труднощів [32].

Можливо саме це заважає нам застосовувати передові технології виготовлення комбінованого асфальтобетону, що включає в себе повторне використання асфальтобетону, саме тому розгляд цієї проблеми є надзвичайно важливим. Важливо зазначити, що це лише деякі з потенційних переваг та недоліків використання асфальту з РАП, і важливо продовжувати роботу в цьому напрямку, щоб краще зрозуміти всі можливості та виклики.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

5.1 Законодавча та нормативна база України про охорону праці

Охорона праці в Україні має значний юридичний та нормативний фундамент, який регулюється рядом законів, постанов, нормативних актів та стандартів. Ця база визначає права та обов'язки як роботодавців, так і працівників, спрямовані на забезпечення безпеки та здоров'я на робочому місці.

Один із ключових законодавчих актів у цій сфері є Кодекс законів про працю України, який визначає загальні принципи охорони праці, права та обов'язки сторін. Крім того, відповідно до закону "Про охорону праці", прийнятого у 1992 році, регулюються питання організації та контролю за дотриманням вимог з охорони праці на робочих місцях.

Вимоги з охорони праці відображені в різних законодавчих актах України, основні з них: Конституція України, Кодекс законів про працю України, Закон України "Про охорону праці".

Нормативно-правову базу доповнюють нормативні документи та стандарти, що встановлюють конкретні вимоги до умов праці, заходи з попередження професійних ризиків, організацію медичного контролю та інші аспекти охорони праці.

5.2 Основні вимоги та правила техніки безпеки під час роботи в науково-випробувальній лабораторії

Під час роботи в лабораторії важливо дотримуватися правил техніки безпеки, які спрямовані на попередження небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Дотримання вимог та правил техніки безпеки є надзвичайно важливим фактором для забезпечення здоров'я та життя працівників.

Основні вимоги та правила техніки безпеки включають такі пункти:

- До роботи в лабораторії допускаються особи, що пройшли інструктаж з техніки безпеки та ознайомлені з правилами експлуатації обладнання;
- Проходження інструктажу підтверджується підписом у спец. журналі;
- Суворо дотримуватись встановлених правил техніки безпеки всіма працівниками лабораторії;
- Всі роботи з небезпечними та шкідливими речовинами повинні проводитися з використанням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ);
- Не дозволяється блокувати вхід (вихід) будь-якими предметами, матеріалами або обладнанням;
- Робота на несправному обладнанні заборонена.
- При роботі з обладнанням необхідно дотримуватися правил техніки безпеки, що стосуються конкретного виду обладнання.
- Хімічні речовини повинні зберігатися в спеціальних маркованих ємностях.
- Робота з хімічними речовинами повинна проводитися в витяжних шафах.
- Необхідно дотримуватися правил гігієни при роботі з хімічними речовинами.
- Дотримуватися правил транспортування та зберігання гарячих матеріалів.
- При роботі з гарячими матеріалами необхідно бути обережним, щоб не отримати опіки.

Дотримання вимог та правил техніки безпеки є запорукою безпечної роботи в науково-випробувальній лабораторії.

5.3 Вимоги з техніки безпеки та охорони праці на підприємствах що виготовляють та випробовують асфальтобетонні суміші

Матеріали для приготування асфальтобетонних сумішей - щебінь, пісок, мінеральний порошок і бітум - за ступенем шкідливої дії на організм людини відносяться до небезпечних, помірно небезпечних та мало небезпечних речовин.

Під час роботи з ними необхідно керуватись вимогами безпеки при роботі з токсичними, мало-токсичними та нетоксичними речовинами. Застосування в якості реактивів або рідких середовищ небезпечних (їдких, токсичних, займистих) речовин здійснюють з дотриманням вимог безпеки, викладених у нормативних документах на ці речовини.

Контроль показників мікроклімату (температура, відносна вологість, швидкість руху повітря, інтенсивність теплового випромінювання) при приготуванні органічних в'язучих і асфальтобетонних сумішей здійснюють згідно з [33].

Приміщення, де проводяться роботи із випробування сумішей, мають відповідати вимогам [34].

Особи, які працюють із сумішами асфальтобетонними і асфальтобетоном дорожнім та аеродромним, мають бути забезпечені засобами індивідуального захисту.

Руки, що забруднені сумішшю, протирають технічною ватою, змоченою у солярове мастило, а потім миють теплою водою з милом.

Персонал, який зайнятий на виробництві і укладанні сумішей, повинен проходити попередні і періодичні медичні огляди.

Рівень шумового навантаження на працюючих при приготуванні і використанні матеріалів для асфальтобетонів має відповідати вимогам [35].

Виробничі приміщення мають бути обладнані первинними засобами пожежогасіння. Засобами гасіння, у разі займання в'язких дорожніх бітумів, мають бути пісок, вогнегасний порошок та піни.

Приготування асфальтобетонної суміші проводять з дотриманням вимог пожежної безпеки, електростатичної іскробезпеки та виробничої безпеки.

Накопичення, знешкодження та захоронення некондиції та інших відходів, що утворюються під час приготування і використання асфальтобетонної суміші та асфальтобетону, здійснюють згідно з [36].

5.4 Безпека в надзвичайних ситуаціях

Виробництво асфальтобетону є складним технологічним процесом, що включає різноманітні операції, пов'язані з високими температурами, хімічними речовинами та важкою технікою. Надзвичайні ситуації на таких підприємствах можуть мати серйозні наслідки для працівників та навколишнього середовища.

На підприємстві з виробництва асфальтобетону можуть виникати різні надзвичайні ситуації, включаючи:

- Пожежі та вибухи: Високі температури та наявність легкозаймистих матеріалів можуть призвести до пожеж або вибухів.
- Хімічні витіки: В процесі виробництва використовуються різноманітні хімічні речовини, що можуть становити небезпеку при витіках.
- Механічні аварії: Несправності обладнання або неправильна експлуатація можуть призвести до механічних аварій.
- Природні катастрофи: Землетруси, повені та інші природні катастрофи можуть впливати на безпеку виробничого процесу.

5.4.1 Пожежна безпека

Для попередження та ліквідації пожеж на підприємстві необхідно взяти наступних заходів:

- Встановлення систем пожежогасіння: Автоматичні системи пожежогасіння повинні бути встановлені в ключових зонах виробництва.
- Використання вогнестійких матеріалів: Обладнання та конструкції повинні бути виготовлені з матеріалів, що мають високу вогнестійкість.
- Навчання персоналу: Регулярне навчання працівників з правил пожежної безпеки та проведення тренувальних евакуацій.

5.4.2 Хімічна безпека

Враховуючи використання хімічних речовин, важливо забезпечити наступні заходи безпеки:

- Система вентиляції: Встановлення ефективної системи вентиляції для видалення шкідливих парів і газів.
- Зберігання хімічних речовин: Правильне зберігання хімічних речовин у спеціально обладнаних зонах, з використанням захисних контейнерів.
- Захисне обладнання: Забезпечення працівників необхідним захисним обладнанням, таким як респіратори, рукавички, захисні окуляри та спецодяг.

5.4.3 Механічна безпека

Для попередження механічних аварій необхідно дотримуватися таких заходів:

- Технічне обслуговування обладнання: Регулярне обслуговування та перевірка технічного стану обладнання.
- Інструктаж та навчання працівників: Навчання працівників правильній експлуатації обладнання та безпечним методам роботи.
- Зони безпеки: Визначення та маркування зон підвищеної небезпеки на виробництві.

5.4.4 Природні катастрофи

Для зниження ризиків від природних катастроф необхідно розробити плани дій та запровадити відповідні заходи:

- План евакуації: Розробка та регулярне оновлення планів евакуації працівників у разі надзвичайних ситуацій.

- Зміцнення конструкцій: Використання матеріалів та технологій, що підвищують стійкість будівель до землетрусів та інших природних явищ.
- Система оповіщення: Встановлення системи раннього оповіщення про наближення природних катастроф.

5.4.5 Підготовка до надзвичайних ситуацій

Ефективна підготовка до надзвичайних ситуацій включає:

- Проведення навчань: Регулярне проведення навчань та тренувань з ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.
- Створення кризових груп: Формування спеціальних груп, відповідальних за дії у надзвичайних ситуаціях.
- Співпраця з рятувальними службами: Встановлення тісної співпраці з місцевими рятувальними службами для оперативного реагування на надзвичайні ситуації.

5.4.6 Висновки за розділом 5

Безпека в надзвичайних ситуаціях на підприємстві з виробництва асфальтобетону є ключовим аспектом, що потребує комплексного підходу. Врахування можливих ризиків, впровадження сучасних технологій та регулярне навчання персоналу дозволяють мінімізувати ризики та забезпечити ефективне реагування на надзвичайні ситуації. Це не тільки знижує потенційні втрати, але й сприяє створенню безпечних умов праці для всіх працівників підприємства.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У процесі виконання кваліфікаційної роботи було запропоновано використання регенованого асфальтобетону (РАП) з ціллю економії та збереження навколишнього середовища. Запропоновано практичні методи боротьби з незаконною утилізацією асфальтних відходів, які стимулюють зацікавленість підприємців у переробці та повторному використанні асфальтного покриття.

Визначено оптимальний склад та пропорція матеріалів для дрібнозернистого асфальтобетонного покриття. Виготовлено експериментальні зразки асфальтобетонних сумішей з вмістом РАП.

Експериментами встановлено, що суміш з додаванням РАП дозволяє не тільки знизити витрати на матеріали, але й покращити певні експлуатаційні характеристики дорожнього покриття, такі як підвищення міцності при стиску та зменшення водонасичення. Виконано дослідження поведінки асфальтобетону при різних температурних режимах, що показало його більшу стійкість до деформацій при підвищених температурах порівняно з традиційними сумішами. Також очікуємо підвищення витривалості під впливом знакозмінних температур.

Виявлено потенційні переваги, недоліки та проблеми впровадження технологій з використанням РАП.

Таким чином, результати цієї роботи підтверджують ефективність застосування регенованого асфальтобетону у виробництві нових асфальтобетонних сумішей та важливість подальших досліджень у цьому напрямку.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Karthikeyan K., Kothandaraman S., Sarang G. Perspectives on the utilization of Reclaimed Asphalt Pavement in concrete pavement construction: A critical review. Case Studies in Construction Materials. 2023. P. e02242. URL: <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02242>
2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність»: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р. Київ. 2017. 7с.
3. Сеньків К. Властивості асфальтобетону, що містить регенероване асфальтне покриття/ Сеньків Каріна // Матеріали VII Міжнародної студентської науково - технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання, 25-26 квітня 2024. — Т. : ТНТУ, 2024. — С. 281.
4. A state-of-the-art review of Natural bitumen in pavement: underlining challenges and the way forward / K. Anupam et al. Journal of cleaner production. 2022. P. 134957. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.134957>
5. The asphalt handbook. / ed. by A. Institute. College Park, Md., USA : Asphalt Institute, 1988. 608 p.
6. Connan J., Nissenbaum A., Dessort D. Molecular archaeology: export of dead sea asphalt to canaan and egypt in the chalcolithic-early bronze age (4th-3rd millennium BC). Geochimica et cosmochimica acta. 1992. Vol. 56, no. 7. P. 2743–2759. URL: [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(92\)90357-o](https://doi.org/10.1016/0016-7037(92)90357-o)
7. Геродот. Історія : Електрон. кн. Україна : Folio, 2006. 656 с.
8. Trenter C., Höglund A. Enduring fantastic: essays on imagination and western culture. McFarland & Company, Incorporated Publishers, 2021. 232 p.
9. Білецький В. С. Історія та перспективи нафтогазовидобування : навч. посібник / В. С. Білецький, Г. І. Гайко, В. М. Орловський ; Нац. техн. ун-т "Харків. політехн. ін-т [та ін.]. – Київ : Халіков Р. Х., 2019. – 302 с.
10. ДСТУ Б В.2.7-74-98. Будівельні матеріали. Крупні заповнювачі природні, із відходів промисловості, штучні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій

та робіт. Класифікація. З Поправкою. На заміну ГОСТ 25137-82 (СТ СЭВ 5445-85) у частині вимог до великих заповнювачів ; чинний від 1999-01-01. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 1998. – 302 с.

11. ДСТУ Б В.2.7-75-98. Будівельні матеріали. Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій та робіт. Технічні умови. На заміну ГОСТ 8267-82, ГОСТ 8268-82, ГОСТ 10260-82, ГОСТ 23254-78, ГОСТ 26873-86 ; чинний від 1999-01-01. Вид. офіц. Київ : Держбуд України, 1998.

12. ДСТУ Б В.2.7-32-95. Будівельні матеріали. Пісок щільний природний для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. На заміну ГОСТ 8736-85, ОСТ 21-1-80, ТУ 218 УРСР 438-92 ; чинний від 1996-01-01. Вид. офіц. Київ, 1995. – 6 с.

13. ДСТУ 8772:2018. Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Методи випробування. На заміну ДСТУ Б В.2.7-247:2010 ; чинний від 2019-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2018.

14. Bitumen. website. URL: <https://www.jongia.com/industries/chemical-petrochemical/bitumen/>

15. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. На заміну ДСТУ 4044-2001 ; чинний від 2020-05-01. Вид. офіц. Київ, 2019.

16. ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. На заміну ДСТУ Б В.2.7-119-2003 ; чинний від 2012-10-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2011.

17. ДБН В.2.3-4:2015. Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. На заміну ДБН В.2.3-4:2007, таблиця В.2 ДБН В.2.3-22:2009 ; чинний від 2016-04-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2015.

18. Оцінка впливу на довкілля процесів виготовлення асфальтобетону. Наукові записки, вип.10, част. ІІІ : матеріали Міжнар. наук. конф., м. Кропивницький, 30 верес. 2010 р. Кропивницький, 2010. С. 380.

19. Медвідь С., Кирчук М., Кондратюк М. Установа для вторинної переробки асфальтобетонної суміші. Іноваційні технології розвитку

машинобудування та ефективного функціонування транспортних систем : Зб. тез I Міжнар. науково-техн. інтернет конф., м. Рівне, 21 трав. 2019 р. Рівне, 2019. С. 29.

20. Гладенко К. Поблизу Верхньої Сироватки виявили звалище відходів після ремонту дороги. Суспільне | Новини. URL: <https://suspilne.media/sumy/146256-poblizu-verhnoi-sirovatki-na-sumsini-viavili-zvalise-zaliskiv-asfaltu-pisla-remontu-dorogi/>

21. Андреева Н. У Бердянському районі асфальт викинули в річку, потім "почистили" та вибачились. Суспільне | Новини. URL: <https://suspilne.media/zaporizhzhia/54293-na-zaporizzi-vikinuli-v-ricku-asfalt-potim-pocistili-ta-vibacilis/>

22. Ковальчук Я.О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія”// Ковальчук Я.О., Крамар Г.М., Мещерякова О.М., Тернопіль, 2020. – 56 с.

23. ДСТУ Б В.2.7-319:2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. На заміну ДСТУ Б В.2.7-89:99 (ГОСТ 12801-98) у частині асфальтобетону і асфальтобетонних сумішей, крім розділу 18; СОУ 42.1-37641918-106:2013 у частині методики ; чинний від 2017-04-01. Вид. офіц. Київ : Мінрегіон України, 2016.

24. ДСТУ EN 12697-2:2019. Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 2. Визначення гранулометричного складу. Чинний від 2020-07-01. Вид. офіц. 2019.

25. Терещенко Т. А. Розрахунок зернового складу мінеральної частини регенованих асфальтобетонних сумішей при використанні нефракціонованого асфальтобетонного грануляту. Збірник «дороги і мости», вип. 15, 2015, м. Київ. 2015. С. 59.

26. Кандидати техн. наук Я. І. Пиріг А. В. Галкін С. В. Оксак Я. В. Ільїн головний хімік НВП «Люкс» Я. П. Шийка. Відновлення властивостей бітуму та асфальтобетону за допомогою омолоджувача. Збірник наукових праць Українського державного університету залізничного транспорту, м. Харків. 2021. С. 10.

27. Система SUPERPAVE - сучасний підхід до проектування складів асфальтобетонних сумішей Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури». Головна Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури». URL: <https://nidi.org.ua/ua/sistema-superpave-suchasniy-pidhid-do-proektuvannya-skladiv-asfalytobetonnih-sumishey>

28. Degradation of Transport Infrastructure Under Breach of Drainage: Strain and Corrosion Damage / Pavlo Maruschak, Andriy Sorochak, Denys Baran, Olegas Prentkovskis // TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology. TRANSBALTICA 2019. Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure. – Springer, Cham, 2020. – Pp. 40-46.

29. Review of the Global Experience in Reclamation of Disturbed Lands Ivan Tymchuk, Myroslav Malovanyu, Oksana Shkvirko, Nataliya Chornomaz, Ruslan Grechanik, Dmytro Symak, // Ecological Engineering & Environmental Technology, - 2021. - Vol 22(1), — P. 24–30.

30. Zaumanis M., Mallick R. B. Review of very high-content reclaimed asphalt use in plant-produced pavements: state of the art. International Journal of Pavement Engineering. 2014. Vol. 16, no. 1. P. 39–55. URL: <https://doi.org/10.1080/10298436.2014.893331>

31. Zaumanis M., Mallick R. B., Frank R. 100% Hot Mix Asphalt Recycling: Challenges and Benefits. Transportation Research Procedia. 2016. Vol. 14. P. 3493–3502. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.315>

32. Liliya Melnyk, Roman Sherstiuk, Eduard Malevski, Nataliia Marynenko, Olha Pavlykivska. Models of evaluating the impact of changes technological and industrial areas in enterprise development / Amazonia Investiga. Volume 10 – Issue 40 / April 2021. P. 253-264. (Web of Science). DOI: 10.34069/AI/2021.40.04.25.

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. 1999.

34. ДСТУ 3273-95. Безпечність промислових підприємств. Чинний від 1996-07-01. Вид. офіц. 1995.

35. ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Чинний від 1999-12-01. Вид. офіц. 1999.

36. ДСТУ 4462.3.01:2006. Охорона природи. Поводження з відходами. Порядок здійснення операцій. Чинний від 2007-07-01. Вид. офіц. 2006.