

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Дорожньо-будівельний факультет

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім. О. К. Біруля

ДИПЛОМНА РОБОТА

магістра

**ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ
АСФАЛЬТОБЕТОНУ В ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ, ТА ЇХ
ПОРІВНЯННЯ З РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИРОБНИЧОГО
УЩІЛЬНЕННЯ**

Завідувач кафедри, канд. техн. наук, проф.

Нормоконтролер, канд. техн. наук, доцент

Консультант, канд. техн. наук

Керівник, канд. техн. наук, доцент

Студент гр. Д-63-22

Роман СМОЛЯНЮК

Олександр ВОЛОВИК

Володимир КОРЮК

Сергій ЧУГУЄНКО

Олександр ОСТАПЕНКО

РЕФЕРАТ

Дипломна робота: 60 с., рис. 26 , табл. 1 , 59 джерел.

АСФАЛЬТОБЕТОН, ПРЕС, ГІРАТОР, КОЛІЄМІР, ВОДОНАСИЧЕННЯ, ЗАЛИШКОВА ПОРИСТІСТЬ, ЗЕРНОВИЙ СКЛАД

Метою дипломного проекту є аналіз результатів моніторингу якості виконання робіт з влаштування шарів асфальтобетону на автомобільних дорогах України з ціллю визначення відповідності лабораторних зразків зразкам відібраних з покриття.

Методи дослідження використані в роботі відповідають вимогам вітчизняних та іноземних нормативних документів.

У проекті виконано аналіз методів ущільнення асфальтобетону у виробничих та лабораторних умовах. Проаналізовано результати визначення фізичних та механічних характеристик асфальтобетонних зразків отриманих різними методами. Представлено результати дослідження згідно з яким метод ущільнення асфальтобетону в лабораторних умовах пресуванням не дозволяє прогнозувати властивості асфальтобетонів виготовлених виробничім ущільненням.

ЗМІСТ

Вступ	6
1. Аналіз існуючого стану виробничого і лабораторного ущільнення асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів	7
1.1 Наукові основи процесів ущільнення асфальтобетону	7
1.2 Огляд лабораторних методів і критерії ущільнення	13
2. Матеріали та методи дослідження	32
2.1 Визначення середньої густини асфальтобетону	34
2.2 Визначення дійсної густини асфальтобетонної суміші	35
2.3 Визначення водонасичення	36
2.4 Визначення границі міцності при стиску	36
2.5 Випробування гарячих асфальтобетонних сумішей на стійкість до накопичення залишкових деформацій	37
2.6 Аналіз фізико- механічних властивостей асфальтобетонних зразків отриманих різними способами ущільнення	39
Висновки	56
Перелік посилань	58
Додаток А Матеріали ілюстративні	

ВСТУП

Асфальтобетон – один з найпоширеніших матеріалів, що використовує в дорожньому будівництві. Продовж двох років (2020 та 2021 роки) на автомобільних дорогах України на замовлення Державного агентства автомобільних доріг України ДП «Дорцентр» було проведено моніторинг виконання робіт, що виконувалися на автомобільних дорогах державного значення. Сумісно з ДП «Дорцентр» роботи виконувалися співробітниками ТОВ «РАДІАЛ Інжиніринг». Результати роботи показують низький відсоток відповідності асфальтобетонів вимогам діючих національних нормативних документів. У більшості випадків не відповідають вимогам фізичні властивості асфальтобетонів (залишкова пористість на водонасичення).

Ціллю роботи є аналіз результатів моніторингу та сучасних національних і іноземних нормативних документів для встановлення причин низької якості асфальтобетонів, які використовуються при виконанні робіт з ремонту, реконструкції та будівництва автомобільних доріг.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧОГО СТАНУ ВИРОБНИЧОГО І ЛАБОРАТОРНОГО УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ ТА АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

1.1 Наукові основи процесів ущільнення асфальтобетону

Ущільнення є ключовим етапом влаштування шарів дорожнього покриття [1]. Проблема пов'язана із вирішенням технологічних та організаційних питань будівництва, а також системних методів контролю якості. Властивості асфальтобетону, як багатокомпонентного будівельного матеріалу, залежать від його складу, структури, температури і тривалості навантаження під час ущільнення. Під час цього процесу формується асфальтобетон із визначеними фізико-механічними властивостями, такими як щільність, пористість, водонасичення і інші.

Під час навантаження асфальтобетонної суміші відбувається зближення мінеральних часток, витіснення повітря з пор і зменшення товщини плівок в'язучого. Це сприяє утворенню структурних зв'язків у асфальтобетоні, що триває, доки внутрішні сили не зрівноважать зовнішній ущільнюючий вплив [9, 10, 11].

Зростання щільності асфальтобетону призводить до збільшення точок контакту між мінеральними частинками та підвищення міцності [8]. Щільніший асфальтобетон менше піддається деформації під навантаженням [10, 11]. Вплив щільності на властивості асфальтобетону підтверджується зменшенням термінів служби покриттів з низьким коефіцієнтом ущільнення [10, 11, 12].

Дослідження Костельова і Посадського [13] показали, що довговічність дорожнього одягу прямо залежить від якості ущільнення. Відмічено, що коефіцієнт ущільнення впливає на властивості матеріалів, доки не виникають процеси дроблення мінеральної частини [1,6,7,13]. Важливо уникати перевищення напруги, що може руйнувати структуру матеріалів та шару [14].

Роботи [15, 16] вказують, що дроблення щебеню зазвичай відбувається на поверхні, що торкається металевих вальців котка. Це призводить до погіршення

фізико-механічних властивостей асфальтобетону та збільшення водонасичення, знижуючи його водостійкість.

Дослідження І.В. Корольова, М.М. Іванова, І.А. Риб'єва, Е.Н. Агеєвої, П.В. Сахарова, М.І. Волкова та інших вказують на те, що оптимальна структура асфальтобетону формується при певному оптимальному вмісті в'язучого [2, 3, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. Вже при невеликому вмісті в'язучого порівняно із сухою сумішшю з'являються сили зчеплення по плівкам, що призводять до зростання міцності асфальтобетону [1]. Згідно з принципами фізико-хімії, визначеними П.А. Ребіндером [22, 23], кількісний вміст в'язучого грає ключову роль у формуванні структури. Важливо враховувати товщину бітумних плівок, яка визначає ступінь структурованості бітумного в'язучого [24, 25, 26].

Е.В. Котлярський [27] розділяє процес структуроутворення асфальтобетону на три етапи. Перший етап характеризується збільшенням щільності та кількості контактів, що веде до наростання міцності. Другий етап включає незначне переміщення зерен та істотне зростання міцності. Третій етап характеризується сповільненням переміщення частинок, зменшенням щільності і міцності. Збільшення контактних напруг на цьому етапі може призводити до руйнування мінеральних часток.

За дослідженнями О.В. Юхименка [8], під час ущільнення суміші вільний бітум діє як мастило, а структурований бітум виконує роль «клею», що об'єднує мінеральні зерна і утримує їх від зсуву під дією ущільнюючих навантажень. Кількість вільного бітуму також впливає на ущільнення суміші: зі збільшенням вільного бітуму покращується ущільнення, забезпечуючи текучість асфальтобетону без використання ущільнюючих засобів та значної енерговитрати.

І.В. Королев [2, 28, 29] визначав ущільнення асфальтобетону так: при ущільненні суміші відбувається вижимання вільного бітуму з зон підвищеного тиску в міжзерновий простір; на поверхні мінеральних часток залишається плівка структурованого бітуму, в'язкість якого вища, ніж в'язкість вільного в'язучого, що призводить до припинення ущільнення.

У розвитку досліджень щодо ущільнення асфальтобетонів використовувались різні методи формування структури [32]. Зазвичай, ущільнення асфальтобетонних покриттів виконується методами укочування, трамбування та вібрації, за допомогою відповідних машин: вальців, асфальтоукладачів, трамбуючих машин.

Укочування є найефективнішим методом ущільнення асфальтобетонних сумішей за високих температур [1, 2, 4, 5, 14, 29, 33, 34]. Проте, дотичні зусилля в зоні контакту вальця та покриття можуть перевищити опір асфальтобетонної суміші, спричиняючи утворення тріщин. Тому на початковій стадії використовують трамбуючий брус, виброплиту або комбіновані методи ущільнення [37, 38].

Коефіцієнт попереднього ущільнення гарячої суміші залежить від різноманітних факторів, таких як тип суміші, температура, режим роботи ущільнюючих органів та швидкість асфальтоукладача [31, 39].

Ущільнюючий орган асфальтоукладача виконує передущільнення за допомогою трамбуючого бруса та вигладжуючої плити після розподілення суміші на всю ширину смуги при її максимальній температурі, що дозволяє зменшити витрати енергії [37]. За збільшення швидкості асфальтоукладача понад 3 м/хв ефективність ущільнення трамбуючим брусом зменшується через зменшення кількості впливів на асфальтобетонну суміш в одиницю часу [40]. Удосконалення конструкції трамбуючого бруса та перехід до вібраційного впливу дозволило підняти коефіцієнт ущільнення до 0,89-0,90 [37].

У вивченні [31, 39] проаналізовано процеси ущільнення асфальтобетонних сумішей виброплитами з низько- та полічастотними, а також крутильними коливаннями ущільнюючих робочих органів асфальтоукладача. Зазначено, що максимальний коефіцієнт ущільнення ($K_u = 0,98-0,99$) досягається за участю полічастотного вібраційного впливу, працюючого в режимі віброудару. Також встановлено, що вібраційні робочі органи з крутильними коливаннями забезпечують якісне ущільнення асфальтобетону ($K_u = 0,98-1,0$) [39].

Висновки з досліджень [39] підтверджують, що сучасні асфальтоукладачі з комбінованими ущільнюючими робочими органами та пресуючими планками не виключають використання середніх і важких котків як частини ущільнюючих машин. Застосування останніх є необхідним для доущільнення і рівномірного вигладжування дорожнього покриття [37, 39].

Укочування - це процес, під час якого металевий барабан або пневматичне колесо перекочуються по поверхні, яку ущільнюють [34]. Під впливом маси котка шар, який ущільнюється, деформується назавжди. Деформація шару, або упаковка зерен, розпочинається після перших проходів котків, і зі збільшенням щільності вона зменшується, наближаючись до нуля. Це підтверджується стабілізацією коефіцієнта опору перекочуванню після певної кількості проходів котка [41, 42]. Подальше збільшення щільності матеріалу можна досягти лише за рахунок збільшення навантаження на вальці або тиску в шинах під час ущільнення пневмоколісним котком, через збільшення опору деформації при зниженні температури асфальтобетонної суміші [10, 11, 34].

Вібраційні котки виявляються більш універсальними. Окрім статичного навантаження, вони передають динамічне навантаження через коливання у середині вальців [43, 44]. В перевагах вібраційного методу ущільнення асфальтобетонних сумішей в порівнянні з укочуванням свідчать дослідження О.Г. Маслова, В.Н. Кононова та ін. [31, 45]. Вібраційний метод не лише руйнує зв'язок між частинками, а й сприяє зміні в'язкості об'ємного і плівкового бітуму (тіксотропія) [45, 46]. Зниження в'язкості бітуму і підвищення рухливості частинок кам'яного кістяка призводять до зменшення в'язкості суміші, що забезпечує краще зближення мінеральних зерен і формування максимальної кількості контактів. Під час вібрації переміщення зерен відбувається за рахунок інерційних сил, пропорційних масі окремих частинок. З урахуванням різниці в масі та розмірі мінеральних складових в суміші, відбувається в'язка течія в плівках в'язучого і відносне зміщення частинок матеріалу [1, 30, 45, 47, 50].

Котки розділяють на ті з металевими вальцями та пневмоколісні. Пневмоколісні котки відрізняються можливістю регулювання тиску контактної

поверхні, що дозволяє досягти глибшого ущільнення та формування міцної структури [43, 48, 52]. Використання пневмокатків усуває проблему дроблення щебню, дозволяючи ущільнювати бітумомінеральні суміші з високим вмістом щебню до 80% [49, 51]. Процес ущільнення починається при тиску повітря в шинах 3,5 кгс/см² і завершується при 6,0 кгс/см² при максимальній температурі суміші [43]. Збільшення тиску відбувається поступово для підвищення щільності суміші. Укочування верхнього шару розпочинають з низьким тиском 1,0-2,0 кгс/см² при швидкості 3-4 км/год, закінчуючи при тиску в шинах 4,0 кгс/см² зі збільшеною швидкістю 10-12 км/год. При ущільненні дрібнозернистих сумішей під час завершального укочування тиск в шинах підвищують до 5,0 кгс/см² [43, 49, 51].

Згідно з результатами ущільнення асфальтобетонного шару товщиною 4 см пневмокатком (12 т), гладковальцевим статичним (18 т) і вібраційним котком (10 т), які представлені в роботах [10, 11], можна визначити, що максимальний ступінь ущільнення (100% або 1,0) досягається вібраційним котком за 10 проходів. Для досягнення такого ж рівня ущільнення коток статичної дії потребує 2-2,5 рази більше проходів. Ці дані підтверджують, що можна використовувати різні види техніки для ущільнення асфальтобетонних шарів, і вибір залежить від конкретних умов, але завжди необхідно дотримуватися максимального коефіцієнта ущільнення та інших важливих показників для досягнення оптимальних результатів.

1.2. Огляд лабораторних методів і критерії ущільнення.

Мета проведення лабораторних досліджень полягає у передбаченні технологічних, фізико-механічних, конструктивних та експлуатаційних властивостей, а також довговічності асфальтобетону. Важливим аспектом є забезпечення того, щоб зразки, виготовлені в лабораторії, були репрезентативними і максимально відповідали властивостями матеріалу, який може бути отриманий в реальних умовах на місці [55, 56, 57]. Таким чином,

лабораторні методи ущільнення асфальтобетонних зразків повинні відображати умови ущільнення асфальтобетону при будівництві дорожньої конструкції.

Методи лабораторного підбору асфальтобетонних сумішей передбачають використання стандартизованих методів ущільнення та випробувань. Для кожного методу ущільнення визначають відповідні критерії, які установлюють зв'язок між результатами лабораторних випробувань зразків і характеристиками асфальтобетону в дорожньому покритті [58].

Протягом розвитку досліджень асфальтобетонних технологій було запропоновано різноманітні методи лабораторного ущільнення зразків, такі як трамбування ударами, статичний тиск, вібрація, вібрація спільно з пресуванням, обертальне ущільнення, укочування жорстким сектором або пневмоколесом. Розробники вважають, що ці методи в різній мірі відповідають умовам ущільнення асфальтобетонних сумішей в виробничих умовах і дозволяють передбачити експлуатаційні властивості асфальтобетону в дорожньому покритті [57, 60, 61, 62, 63]

Перший метод механічної оцінки якості асфальтобетону був розроблений Хаббардом і Фильдом середині 20-х років XIX століття. Згідно з [54, 59], ущільнення циліндричних зразків діаметром 2 дюйми (50,8 мм) і висотою 0,98 дюйма (25 мм) для розчинів і піщаних сумішей виконувалося за допомогою двох ручних трамбівок і гідравлічного пресу. Циліндричні зразки виготовляли в металевих формах діаметром 50,8 мм, застосовуючи 60 ударів вантажу масою 1,4 кг, а потім 20 ударів масою 4,5 кг, які вільно падали з висоти 10 см з обох сторін зразка (рис. 1.1).

Після цього форму з попередньо ущільненою сумішшю переміщували на плиту гідравлічного преса, де створювали і підтримували тиск 210 кг/см² (20,5 МПа) протягом 5 хв [58, 59, 60, 61]. Для роботи з крупнозернистими сумішами, які містять більше 35% за масою часток розміром більше 16 мм, зразки збільшували до 6 дюймів (152,4 мм) у діаметрі і 2 дюймів у висоту [60, 61].

На основі комбінованого методу "трамбування-стиснення" був розроблений спрощений метод оцінки якості бітумних сумішей для аеродромних покриттів під

час Другої світової війни [63]. У 1939 році G. Marshall розробив метод проектування асфальтобетонних сумішей, згідно з яким вміст бітумного в'язучого відповідав максимальній міцності зразка.



Рисунок 1.1 – Попереднє ущільнення асфальтобетонної суміші трамбовками методом Хаббарда-Фильда

Ущільнення зразків для визначення стійкості за методом Маршалла виконується ударним способом в циліндричних формах діаметром 101,6 мм і висотою 75 мм (рис. 1.2). Форма, з наповненою гарячою сумішшю, закріплюється на металевій платформі розміром 305 мм × 305 мм × 25 мм, що розташована на дерев'яному п'єдесталі розміром 200 мм × 200 мм × 450 мм із щільністю породи 670-770 кг/м³. Ущільнюючий молот масою 4,5 кг вільно випускається з висоти 457 мм по направляючій.

Кількість ударів (50 або 75) залежить від крупності і вмісту щебню в суміші і виконується на кожній стороні зразка. Метод ущільнення за Маршаллом може бути як механізованим, так і ручним, що робить його універсальним порівняно з методом Хаббарда-Філда [61, 64].

Після проведення порівняльних лабораторних досліджень для проектування аеродромних покриттів був вибраний метод Маршалла, незважаючи на те, що показники властивостей зразків, оцінені за методом Хаббарда-Філда, були

кращими. Вибір на користь методу Маршалла зумовлений його компактністю, легкістю і простотою використання в умовах реальної експлуатації [62, 63].



Рисунок 1.2 – Ущільнення асфальтобетонної суміші методом Маршалла

В той же час із методом G. Marshall розроблявся альтернативний "польовий" метод проектування асфальтобетонних сумішей [90]. Цей метод ґрунтувався на Хаббард-Філдівському підході, який поєднував ручне і статичне ущільнення для великих зразків. Такий метод застосовувався, наприклад, на "Georgia" для ручного ущільнення "важкої" і "легкої" трамбівкою [63]. Результати порівняльного аналізу методів ущільнення "Georgia" і "Marshall" свідчать, що вміст залишкової пористості у зразках, ущільнених за методом Маршалла, нижчий, ніж при двоетапному ущільненні методом "Georgia" [64, 65].

Основною перевагою методу ущільнення по Маршаллу є нормування залишкової пористості (верхня і нижня межа) і забезпечення достатньої міцності під навантаженням. Обмеження верхньої межі пористості викликано необхідністю

запобігання швидкому руйнуванню покриття, а нижнього - для уникнення пластичних деформацій внаслідок додаткового ущільнення під дією транспортних засобів [63, 65]. Показник міцності базується на тому, що асфальтобетон, ущільнений 50 ударами з кожного боку, витримує тиск в шинах до 100 фунтів на квадратний дюйм (0,69 МПа), а 75 ударами - відповідно 200 фунтів на квадратний дюйм (1,37 МПа). Метод Маршала використовується для підбору складу сумішей за показниками деформаційності і стабільності асфальтобетону при температурі 60 °С. Схема напруженого стану при випробуванні по Маршаллу - циліндр в обоймі, що навантажується по утворюючій [63]. Також було запропоновано використовувати кількість ударів гирі, необхідних для досягнення заданої висоти циліндричного зразка, як показник ущільнення суміші [94].

Недоліками методу Маршала є невідповідність властивостей зразків, ущільнених ручним і механічним методами [66], а також неадекватність умов ущільнення асфальтобетону в покритті. Це послужило стимулом до розробки нових методів ущільнення, які були більш адаптованими до умов ущільнення асфальтобетону в реальних умовах.

Метод ущільнення за Маршалом використовується і дотепер, його визначено в національних стандартах України, зокрема, у ДСТУ Б В.2.7-319. Використання цього методу передбачено для визначення стабільності за Маршаллом, але цей показник не є обов'язковим для жодного типу асфальтобетону і не знаходить широкого застосування в Україні. У закордонних стандартах використання цього методу ущільнення передбачено в гармонізованому стандарті ДСТУ EN 12697-30:2020 "Бітумомінеральні суміші. Методи випробувань. Частина 30. Готування зразків ударним ущільнювачем" (EN 12697-30:2018, IDT), а також у широко використовуваних в усьому світі стандартах ASTM D6926 "Standard Practice for Preparation of Asphalt Mixture Specimens.



Рисунок 1.3 – Ущільнення асфальтобетонної суміші методом Хвіма

Метод Хвіма передбачає попереднє ущільнення тиском 1,7 МПа протягом 10-50 циклів, залежно від типу асфальтобетону [64]. Однією з особливостей цього методу є те, що ущільнення асфальтобетонної суміші відбувається прикладанням навантаження не по всій площині форми, що уникне дроблення зерен щебню під час ущільнення.

Згідно з аналізом [70], методи Kneading Compactor і Marshall мають різні переваги, і метод Хвіма виявився більш перевагами в порівнянні з методом Маршалла. У лабораторних умовах ущільнення за методом Хвіма забезпечувало стабільні властивості і кращу імітацію фактичної щільності асфальтобетону в покритті.

Метод ущільнення за Хвімом має широке застосування в Сполучених Штатах Америки і регулюється нормативними документами ASTM D 1561 Standard Practice for Preparation of Bituminous Mixture Test Specimens by Means of California Kneading Compactor.

В центральній лабораторії доріг і мостів Франції використовувався метод "Duriez" для ущільнення асфальтобетонних сумішей [59, 60, 71]. Принцип ущільнення полягав у стисненні асфальтобетонних сумішей в циліндричних

формах статичним тиском [72, 73] з метою досягнення оптимальної міцності і щільності. Ущільнення асфальтобетонної суміші за цим методом відбувалося в сталевих циліндричних формах з внутрішнім діаметром 8,0 см ($S = 50,2 \text{ см}^2$) шляхом збільшення тиску до 12 МПа протягом 5 хвилин (рис. 1.4) [58, 59].

В ході досліджень лабораторних методів ущільнення на початку 1950-х років Vallerga В.А. [74] виявив, що методи "пресування" і "розминання" надають різні значення міцності, навіть при однакових значеннях середньої щільності. Це спостереження призвело до висновку, що різні методи ущільнення різним чином орієнтують частини матеріалу, що впливає на стабільність або стійкість зразків до деформації.



Рисунок 1.4 - Ущільнення асфальтобетонної суміші методом М. Дюр'єз

Протягом тривалого періоду в країнах СНД використовували метод ущільнення зразків при одноосьовому стиску (за схемою Дюр'єз [59, 60]) під тиском 30 МПа протягом 3 хвилин. З введенням багатощелебених сумішей змінили цей метод згідно з "ГОСТ 12801-84" [73]. Тепер малощелебеві суміші ущільнюють тиском 40 МПа, а багатощелебеві, з вмістом щебню більше 50 %, спочатку ущільнюють вібрацією при частоті 50 Гц і тиску 0,03 МПа протягом 3 хв, а потім пресують під тиском 20 МПа протягом 3 хвилин [72].

Дослідження В.Н. Кононова підтверджують, що показники властивостей зразків, отриманих ущільненням вібрацією, кращі, ніж ті, які ущільнювали

статичним методом. Це також спостерігається при порівнянні результатів ущільнення вібраційними і статичними котками [45]. Проте комбінований метод майже не використовується через відсутність спеціальних вібраторів в дорожніх лабораторіях і його неефективність порівняно з іншими методами.

Формування лабораторних циліндричних зразків пресуванням [76] має суттєві недоліки, такі як погана упаковка зерен і дроблення кам'яних матеріалів, що призводить до погіршення фізико-механічних властивостей. Метод ущільнення пресуванням є основним в Україні, але багато країн світу відмовились від нього на користь інших методів через високу дробильність мінеральних матеріалів.

Дослідження [45] також показали, що зі збільшенням діаметра форми відбувається зменшення об'ємного водонасичення зразка. Використання "обертального" преса також показало можливість досягнення високої щільності асфальтобетону при низькому тиску, що важливо для уникнення дроблення матеріалів.

Таким чином, важливо розглядати різні методи ущільнення та їх вплив на фізико-механічні властивості матеріалів для досягнення оптимальних результатів у будівельній сфері.



Рисунок 1.5 – Ущільнення асфальтобетонної суміші за системою SHRP SuperPave

Після проведення численних випробувань в рамках програми SHRP SuperPave (Strategic Highway Research Program), була затверджена конструкція пресу з кутом нахилу $1,16^\circ$, тиском 600 кПа та швидкістю обертання форми 30 об/хв (рис. 1.5) [64, 84, 86, 87, 88]. Цей метод ущільнення отримав широке застосування в США в рамках програми SHRP SuperPave і передбачено його використання в ЄС та Україні за гармонізованим нормативним документом ДСТУ EN 12697-31:2021 "Бітумомінеральні суміші. Методи випробування. Частина 31. Підготовка зразка гіраторним ущільнювачем" (EN 12697-31:2019, IDT).

Аналогічно до "Texas Gyrotory Press" є гіраторний прес, розроблений Центральною лабораторією доріг і мостів у Франції - "Pine Gyrotory Compactor" PGC [64, 85]. На відміну від "Texas Gyrotory Press", французький прес ущільнює зразки діаметром 160 мм і висотою 100 мм, маючи фіксований кут нахилу форми в один градус при тиску 600 кПа і швидкості обертання циліндричної форми 30 об/хв.

Пошук оптимальних лабораторних методів ущільнення в LCPC у Франції призвів до створення ущільнювача з пневмоколесом у 1970 році. Ущільнення суміші за допомогою цього пресу відтворює виробничі умови ущільнення асфальтобетонних сумішей [89].

Пневмоколісний ущільнювач (див. рисунок 1.6) використовує пневматичну гумову шину діаметром 40 см та шириною 8 см для ущільнення асфальтобетонних плит розміром 50×18 см. У випадку використання парних коліс розміри плит можуть бути збільшені до 60×40 см. Змінюючи траєкторію руху коліс після кожного проходу (з перекриттям кожного наступного проходу на 3 см), імітується ефект укочування дорожніми котками на пневматичних шинах. Тиск в шинах регулюється від 0,1 до 0,6 МПа, при цьому навантаження на зразок становить від 1 до 10 кН.

Для стабілізації суміші в формі кожна зона укочування піддається попередньому ущільненню спареними колесами при тиску в шині (0,1 МПа) та навантаженні на вісь (1 кН). У такому режимі включається вертикальне блокування осі, роблячи рівномірне ущільнення суміші в формі [86, 88].

Ущільнення розпочинається з передньої частини форми і переходить до задньої частини в режимі вільної вертикальної осі. Це дозволяє шині вільно рухатися по горизонталі та вертикалі з підвищеним тиском в шині до 0,6 МПа та навантаженням на вісь 5 кН.

Під час ущільнення суміші внутрішній пуансон поступово висуває плиту з обійми до тих пір, поки плита не досягне необхідної товщини. Швидкість ущільнення залежить від умов експерименту і варіюється від 0,72 до 1,80 км/год. Весь процес ущільнення займає від 20 до 25 хвилин, що орієнтовно відповідає проходам пневмоколеса по одному сліду [64, 84, 89].



Рисунок 1.6 – Ущільнення асфальтобетонної суміші пневмоколесом

Під час порівняльного аналізу [86] лабораторних методів на останньому етапі ущільнення трамбуванням, обертанням під тиском і укочуванням виявлено, що найвищу щільність суміші можна досягти застосовуючи обертальні і пневмоколісні ущільнювачі. Результати випробувань внутрішньої і зовнішньої частин зразків після 50 ударів по суміші (з обох сторін) за методом Маршалла показали залишкову пористість в діапазоні 3,0–1,9%. Залишкова пористість після 200 обертів обертального преса складала 2,3–1,8%. Результати пневмоколесного укочування показали рівень залишкової пористості від 7,4% до 0,2%, при цьому високий рівень пор позначався у нижній і бічній частині зразка, особливо в кутових областях асфальтобетонної плити. У верхній і центральній частинах плити обсяг залишкової пористості становив 2,0–2,1%. За висновками автора [86], це пояснюється тим, що при укоченні суміш з передньої і задньої частини форми

зсувається до центру плити, зробивши її більш рухливою і легше ущільнюваною в порівнянні з частинами, що межують зі стінками металевої форми. Для наближення лабораторного ущільнення до виробничого був розроблений ущільнюючий прес із металевим колесом [90].

Американський прес "Linear Asphalt Compactor" (LAC) (рис. 1.7) призначений для ущільнення асфальтобетонних плит розміром 375×175 мм і товщиною до 125 мм. Основною особливістю преса є те, що навантаження від металевого колеса на суміш передається через ряд вертикально встановлених металевих пластин товщиною 13 мм і шириною 175 мм. Ущільнення відбувається шляхом переміщення ролика під тиском 2,4 МПа (350 psi) протягом 18-20 проходів. Критерієм ущільнення є досягнення заданого рівня залишкової пористості або товщини плити після ущільнення [90, 91].

Дослідження розподілу фізичних властивостей по плиті, що була ущільнена на пресі LAC, показують, що розбіжність щільності між зразками, вирізаними з верхньої та нижньої частини плити, становить 1,5%, а між крайніми і середніми - 3,5% [91]. Нейлонова прокладка, встановлена на поверхні суміші під ролик, зменшує розкид щільності до 0,3-1,1%. Під час такого ущільнення ролик вдавлює нейлонову прокладку, створюючи однорідне поле щільності і умови максимально близькі до виробничих.

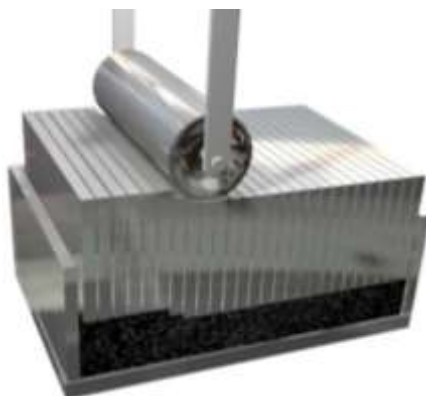


Рисунок 1.7 – Ущільнення асфальтобетонної суміші ущільнювачем «Linear Asphalt Compactor»

Особливості взаємодії роликового ущільнювача з асфальтобетонною сумішшю описані в роботі R. Muniandi [92]. У даній роботі стверджується, що лабораторне ущільнення та отримані властивості зразків повинні відтворювати умови та ступінь ущільнення асфальтобетону в промислових умовах. Довготривалий досвід та аналіз різних методів ущільнення підтверджують, що кочення колеса по зразку ефективніше імітує умови ущільнення асфальтобетонних сумішей для дорожнього покриття. На основі цього був створений роликовий ущільнювач, який забезпечує досягнення рівня залишкової пористості в межах 4–8% при тиску 8 кгс/см² і 75 проходах зі швидкістю руху 0,14 км/год (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Ущільнення асфальтобетонної суміші роликовим ущільнювачем

У дослідженні [92] було вивчено вплив кількості проходів та тиску на суміш на щільність та залишкову пористість асфальтобетону. Також було встановлено взаємозв'язок між кількістю проходів та навантаженням для досягнення однакових фізичних характеристик. Наприклад, при тиску 6 кгс/см² і 60 проходах або 8 кгс/см² і 40 проходах залишкова пористість становила 4,55%. Важливо відзначити, що тиск не може залишатися постійним, оскільки кожний прохід змінює контактну ширину вальця з поверхнею асфальтобетону.

Процес ущільнення, який був описаний в роботі, використовує секторний прес для оцінки подрібнюваності шарів щебеню різної міцності [93]. Ущільнення асфальтобетонних сумішей реалізується в 3 етапи: попереднє ущільнення, основне ущільнення та зняття навантаження. На перших етапах сектор

опускається з невеликим тиском і проводить кілька проходів, зменшуючи контактну ширину. На другому етапі відбувається основне ущільнення зі збільшенням тиску та кількості проходів. Різні варіанти навантаження призводять до різниці у фізико-механічних властивостях зразків.

В іншій роботі [77] розглядається поетапне збільшення навантаження, що відбувається після завершення певної кількості проходів. Результати фізико-механічних властивостей показали, що режим ущільнення секторним пресом видає кращі результати порівняно з іншими методами ущільнення. Дослідження також вказує на важливість підбору оптимального режиму ущільнення для кожного типу суміші.



Рисунок 1.9 – Ущільнення асфальтобетонної суміші секторним пресом

Відповідно до [97], у лабораторних умовах ущільнення сектором моделює роботу 12-тонного дорожнього котка. Умовно розподілене навантаження на валець складає 6000 кг при ширині вальця 195 см. Таким чином, лінійний тиск становить 30 кг/см. Дані про розподіл залишкової пористості асфальтобетонної плити, ущільненої секторним пресом під тиском 30 бар (3,0 МПа) з різною кількістю проходів, свідчать, що рівень залишкової пористості 6,5–8,5 % досягається після 4 проходів. Зі збільшенням кількості проходів до 12 залишкова пористість асфальтобетону в центральній частині знижується до 2,5–4,5 %.

Максимальний рівень залишкової пористості (4,5–6,5 %) спостерігається у зразків, розташованих біля стін форми, що добре узгоджується з результатами роботи [90]. Основними недоліками формування плит є розкид значень властивостей асфальтобетону за площею та товщиною, а також необхідність підбирання режимів ущільнення в залежності від типу та виду асфальтобетону.

У [98] проводиться порівняння ефективності використання чотирьох ущільнюючих пристроїв: секторного пресу (сталеве колесо), "California" розминаючого пресу, "Texas" обертального пресу, Marshall трамбуючого пресу. Розкид результатів ущільнення від найменшого до найбільшого утворює ряд: "Texas", секторний прес, "California" та ущільнення по Маршаллу. Схожі результати отримані при дослідженні 30 зразків, відібраних з асфальтобетонного покриття на 5 об'єктах в США [99]. Внаслідок переформування зразків з покриття на тих же ущільнюючих засобах, що й в [128], встановлено, що максимально близькі значення виробничих і лабораторних зразків досягаються при ущільненні обертальним пресом (73 % проб). На другому місці секторний і лінійно-розминаючий прес (64 %). На третьому – трамбування методом Маршалла (50 %).

В ЄС та Україні такий метод ущільнення (ущільнення плит з асфальтобетону) нормований гармонізованим нормативним документом ДСТУ EN 12697-33:2018 "Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 33. Готування зразків вальцевим ущільнювачем" (EN 12697-33:2003 + A1:2007, IDT).

Загалом розробка кожного методу ущільнення в більшості випадків пов'язана з новим підходом до проектування складу асфальтобетонної суміші та асфальтобетону. Таким чином, найбільш поширений в Україні лабораторний метод виготовлення зразків асфальтобетону має коріння в середині минулого сторіччя, як і підхід до проектування складу асфальтобетонних сумішей, що підтверджується порівнянням вимог до асфальтобетонів, наведених в ГОСТ 9128-59 та ДСТУ Б В.2.7-119 (Рис. 1.10).

З наведеного порівняння виходить, що було підвищено вимоги до міцностних характеристик асфальтобетону (границі міцності при 20 та 50 °C) та

при цьому знизили нижню межу вимог до залишкової пористості. Але відомо що вимоги до міцності асфальтобетону при стисканні майже не відображають його поведінку в асфальтобетонному покритті, а показник залишкової пористості в сучасному представленні відіграє дуже важливу роль та його занижене значення свідчить про можливість утворення колії.

ГОСТ 9128-59 «АСФАЛЬТОБЕТОННЫЕ СМЕСИ (ГОРЯЧИЕ) ДОРОЖНЫЕ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ»

Физико-механические свойства	Техниче вимого	
	застарілий	для проклад умовий
Предел прочности образца при сжатии при 50°C (R_{50}), $кг/см^2$, не менее:	12	10
То же, при 20°C (R_{20}), $кг/см^2$, не менее:	22	22
Коэффициент водоустойчивости $K_w = \frac{R_w}{R_{20}}$, не менее	0,9	0,9
Остаточная пористость, % от объема	3-7	3-5
Водонасыщение, % от объема	1,0-3,0	1,0-3,0
Коэффициент водоустойчивости $K_w = \frac{R_w}{R_{20}}$, не менее	0,9	0,9
Предел прочности при сжатии, $кг/см^2$ при 0°C (R_0 для образцов размером $d = d_0 = 70$ мм), не менее	120	120

1959 год

ПРОЕКТ ДСТУ «СУМІШІ АСФАЛЬТОБЕТОННІ ТА АСФАЛЬТОБЕТОН. ТЕХНІЧНІ УМОВИ» НА ЗАМІНУ ДСТУ Б В.2.7-119:2011

Ч. ч.	Найменування показника	Вимоги для АБ марок в залежності від районів ФР			
		А-5, А-6		А-7	
		I	II	I	II
1	Пористість мінерального кістяка, % за об'ємом, для АБ із АБС типу: — А1, А і Б1, Б — В і Г — Д	15-19 16-22	15-19 18-22 19-22	15-16 17-20	15-18 17-20 17-20
2	Залишкова пористість, % за об'ємом	2-5	2-5	2-5	2-5
3	Водонасичення, % за об'ємом, для АБ із АБС типу: — А1, А, не більше — Б1, Б, В і Г, не більше — Д, не більше	1,5-4,0 1,5-3,5 -	1,5-4,0 1,5-3,5 1,5-3,5	1,5-4,0 1,5-3,5 -	1,5-4,0 1,5-3,5 1,5-3,5
4	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 0 °C для АБ із АБС всіх типів, не більше	12,0	13,0	11,0	12,0
5	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 20 °C для АБ із АБС всіх типів, не менше	2,8	2,6	2,8	2,6
6	Границя міцності при стиску, МПа, за температури 50 °C для АБ із АБС типу: — А1, А, не менше — Б1, Б і В, не менше — Г, не менше — Д, не менше	1,3 1,4 1,5 -	1,3 1,3 1,5 -	1,3 1,4 1,5 -	1,3 1,3 1,5 1,3
7	Коефіцієнт довготривалої водостійкості, не менше	0,88/0,84	0,86/0,82	0,86/0,82	0,84/0,80

2020 год

Рисунок 1.10 – Порівняння вимог до властивостей асфальтобетонів наведених в ГОСТ 9128-59 та ДСТУ Б В.2.7-119.

Зауважено зміни в зерновому складі асфальтобетонних сумішей при переході до першого українського стандарту, який набрав чинності у 2003 році (ДСТУ Б В.2.7-119:2003). У цьому стандарті було збільшено кількість щебню для більшості складів, проте загальний підхід до проектування асфальтобетонних сумішей та оцінки їх властивостей значно не змінився.

Висновки за розділом:

Підходи до проектування асфальтобетонних сумішей та виготовлення лабораторних зразків постійно еволюціонують. Українські нормативи, що стосуються асфальтобетонів та їх сумішей, ґрунтуються на підходах, розроблених у першій половині ХХ століття, що призводить до невірної оцінки властивостей асфальтобетонів та невідповідності властивостей лабораторних зразків і зразків, відібраних з дорожнього покриття.

Останні роки в Україні було виконано гармонізацію значної кількості нормативних документів Європейського Союзу, включаючи ті, що стосуються асфальтобетонів. Ці нормативи можна використовувати в українських умовах, але цього поки що не відбувається з різних причин, зокрема через відсутність досвіду та необхідного обладнання у замовника.

Одним із найбільш поширених методів ущільнення асфальтобетонних сумішей в лабораторних умовах, який найбільше наближений за результатами визначення фізико-механічних властивостей до методів виробничого ущільнення, є гіраторне ущільнення. Цей метод дозволяє отримувати циліндричні зразки асфальтобетону, які не потребують подальшого підготування (вирізання зразків з плит).

У 2020-2021 роках ДП "Дорцентр" проводило моніторинг ремонту та будівництва автомобільних доріг державного значення за завданням агентства автомобільних України. Як субпідрядник, ТОВ "РАДІАЛ Інжиніринг" виконувало частину робіт. У межах програми моніторингу здійснювалося формування зразків асфальтобетону згідно з нормативами України (ДСТУ Б В.2.7-319 п. 7.2 та 7.3) та за ДСТУ EN 12697-31. Результати моніторингу у цій роботі порівнюватимуться з методами ущільнення лабораторних зразків за показниками фізико-механічних властивостей із результатами, отриманими під час ущільнення на дорозі.

2 МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

З висновків до попереднього розділу виходить, що в якості методів ущільнення асфальтобетонів будуть використовуватися такі, що наведені в ДСТУ Б В.2.7-319 в п.7.2 «Ущільнення зразків методом пресування» відповідно для асфальтобетонів за ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ 8959 та 7.3 «Ущільнення зразків комбінованим методом» – для щибенево-мастикових асфальтобетонів за ДСТУ Б В.2.7-127. Для порівняння обрано гіраторний ущільнювач за ДСТУ EN 12697-31.

Для гіраторного ущільнювача є декілька параметрів, що задаються при ущільненні:

- кут нахилу осі зразка;
- навантаження на зразок;
- кількість обертів.

Ці параметри для цілей дослідження було встановлено за системою SHRP SuperPave:

- кут нахилу осі зразка 1,16°;
- навантаження на зразок 600 кПа;
- кількість обертів 101.

Кількість обертів обрано з оглядом на те що більшість доріг, що підлягали будівництву, ремонту або реконструкції відносилися до I та II технічної категорії, тобто це дороги що мають значне навантаження, що можна прирівняти до навантаження ESAL за SHRP SuperPave якому відповідає кількість гирацій рівна 100. Для цілей моніторингу формувалися зразки діаметром 100 та 150 мм. Гіраторний ущільнювач CONTROLS та форми до нього наведені на рисунку 2.1



Рисунок 2.1 – Гіраторний ущільнювач CONTROLS з аксесуарами (форми діаметром 100 та 150 мм)

Дослідження фізико-механічних властивостей асфальтобетонних зразків виконували на відповідність національним технічним умовам за методами викладеними в ДСТУ Б В.2.7-319. Серед показників не нормованих діючими нормативними документами визначали глибину колії за ДСТУ EN 12697-22:2018 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність (EN 12697-22:2003+A1_2007, IDT)»

В якості основних матеріалів для дослідження обрані найбільш поширені при виконанні робіт з ремонту, реконструкції та будівництва автомобільних доріг асфальтобетони типів А та А1 за ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ 8959 і щебенєво-мастикові асфальтобетони за ДСТУ Б В.2.7-127. Усі суміші були відібрані у 2020 році на місцях виготовлення, а у 2021 році на місцях влаштування

асфальтобетонних шарів (з прив'язкою міст відбору), з подальшим відбором кернів.

2.1 Випробування по визначенню середньої густини асфальтобетону

Визначаємо середню густину зразків(кернів) гідростатичним зважуванням, які виготовлені в лабораторії або відібрані із конструктивних шарів дорожнього одягу. Рамка для гідростатичного зважування зображена на рисунку 2.2.



Рисунок 2.2 – Зважування керна в воді

Перед випробуванням всі зразки нумеруємо за допомогою канцелярського коректора. Зразки зважуємо на повітрі. Після цього, зразки піддають впливу води протягом (30 ± 1) хвилин у посудині з водою при температурі (20 ± 1) °С. При цьому важливо забезпечити, щоб рівень води у посудині перевищував рівень

поверхні зразків не менше ніж на 20 мм. Після цього зразки вимірюють у воді за температури $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$, уникаючи утворення бульбашок повітря на поверхні зразків. Після вимірювань у воді, зразки обтирають дбайливо м'якою вологою тканиною та повторно вимірюють на повітрі.

2.2 Визначення дійсної густини асфальтобетонної суміші

Випробування дає змогу визначити густину суміші без урахування пор, які вона має.

Зважують чисту і суху колбу. Із суміші, підготовленої згідно з 7.2.1 та розпушеної до розмірів, що не перевищують максимальний розмір зерен даної суміші, відбирають середню пробу методом квартування. Зважуємо колбу з сумішшю. Колбу із сумішшю додаємо воду з температурою $(20 + 1) ^\circ\text{C}$. Колбу ставимо на 1 год у вакуумну установку та на вібростіл, підтримуємо тиск не вище ніж 2000 Па (15 мм рт.ст.).

Вібростіл повинен для того щоб вийшли залишки повітря з суміші шляхом вібрації яку створює вібростіл.

Після закінчення вказаного часу тиск доводимо до атмосферного, дістаємо колбу з водою та сумішшю, зважуємо у воді на гідростатичній рамці.



Рисунок 2.3 – Вакуумна установка для визначення дійсної густини

2.3 Визначення водонасичення

Цим методом ми визначаємо кількість води, яку поглинає зразок при визначеному режимі насичення. Водонасичення визначається на лабораторних зразках, що приготовлені з суміші, або на вирубках (кернах), відібраних з покриття (основи).

Для випробування нам потрібно:

Ваги лабораторні 4-го класу точності згідно з ДСТУ EN 45501 з пристосуванням для гідростатичного зважування, з похибкою $\pm 0,1$ г.

Установка вакуумна, що досягає та підтримує тиск 2000 Па (15 мм рт.ст.).

Зразки ставимо у воду на 30 хв. Після того як зразки вистоять 30 хв у воді зважуємо на повітрі і у воді за температури (20 ± 1) °С. Рівень води над зразками повинен бути не менше ніж 3 см.

Посудину із зразками встановлюємо у вакуумній установці, де створюємо і підтримуємо тиск 2000 Па (15 мм рт.ст.) протягом 1 год. Потім тиск доводимо до атмосферного і витримуємо у тій самій посудині з водою за температури (20 ± 1) °С протягом 30 хв. Після цього зразки виймаєм з посудини, обтираємо тканиною і зважуємо на повітрі.

2.4 Визначення границі міцності при стиску

Мета цього методу полягає у визначенні граничного напруження, яке спричиняє руйнування зразка за визначених умов випробувань. Для цього використовується випробувальна машина або прес, який відповідає ГОСТ 28840 і здатний здійснювати випробування в потрібному діапазоні навантажень. Устаткування має силові вимірювачі з допустимою похибкою $\pm 2\%$ від вимірюваного навантаження та рух плити або захватів преса із швидкістю $(3,0 \pm 0,1)$ мм/хв..

Для підтримання температури використовується водяна баня, обладнана автоматичним регулюванням нагріву, здатна підтримувати температуру $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$ і $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$, яка зображена на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Термостат рідинний

Визначення границі міцності при стиску виконують на зразках циліндрах або кубах. При кожній заданій температурі беруть на випробування по три зразка. Зразки для випробувань потрібно брати одного віку. Перед випробуванням зразки ставимо у ємності з водою протягом (60 ± 5) хв при температурі: $(50 \pm 1)^\circ\text{C}$, $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ або $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$. Температуру $(0 \pm 1)^\circ\text{C}$ зазвичай створюють з додаванням до води льоду. Границю міцності при стисканні визначають на механічному пресі при швидкості руху плити $(3,0 \pm 0,1)$ мм/хв. Випробування треба закінчити протягом $(1,5 \pm 0,5)$ хв після того, як зразок дістали з термостата.

Зразок, дістаємо з посудини для термостатування, встановлюємо на сухий картон у центрі нижньої плити преса і вкривають ним верхню площину зразка, потім підводимо верхню плиту преса на відстань до зразка в межах від 1,5 мм до 2 мм. Після цього вмикаємо прес і починаємо навантажувати зразок. Максимальний показ силовимірювача приймають за руйнівне навантаження зразка.[74]

2.5 Випробування гарячих асфальтобетонних сумішей на стійкість до накопичення залишкових деформацій

Обладнання приводять у дію і вимірюють початкове вертикальне переміщення колеса, а після цього вимірюють щонайменше 6-7 разів протягом першої години, а потім кожних 500 циклів навантаження. Вертикальне положення колеса визначають як середнє значення для профілю проби на відрізку +50 мм від центра області навантаження до середньої точки сліду, що вимірюють щонайменше у 25 рівновіддалених точках. Вертикальне положення колеса вимірюють без зупинення обладнання. Триває колієутворення протягом 10 000 циклів навантаження або до досягнення глибини колії, яка дорівнює 20 мм.[100].



Рисунок 2.5 – Прилад для оцінки стійкості асфальтобетону до утворення колії



Рисунок 2.6 – Зразки асфальтобетону після проходження цикла пневмоколеса

3 АНАЛІЗ ФІЗИКО–МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ЗРАЗКІВ ОТРИМАНИХ РІЗНИМИ СПОСОБАМИ УЩІЛЬНЕННЯ

Одним з ключових показників сучасних нормативних документів України є показник водонасичення асфальтобетону, за ним виконують підбір оптимального вмісту в'язучого та контроль якості асфальтобетонів відібраних з шарів покриття. Розглянемо значення показників водонасичення для зразків виготовлених шляхом пресування та сформованих з використанням гіраторного ущільнювача (рисунок 3.1)

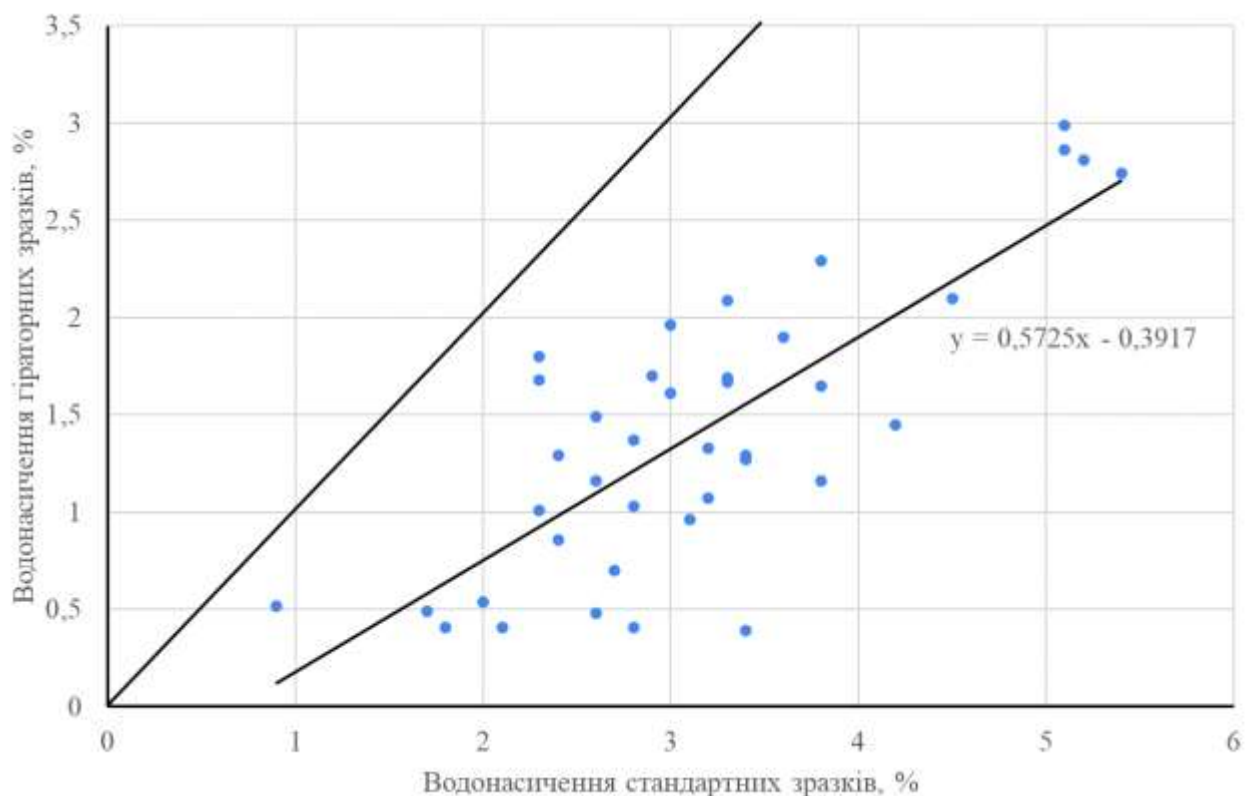


Рисунок 3.1 – Водонасичення зразків асфальтобетону типу А1 сформованих в різний спосіб (2020 р.)

Як бачимо з порівняння наведених графіків, вони майже однакові в 2020 та 2021 роках, що підтверджують наведені рівняння. В обох випадках значення водонасичення для зразків асфальтобетону виготовлених з використанням

гіраторного ущільнювача завжди менше ніж для зразків виготовлених персуванням.

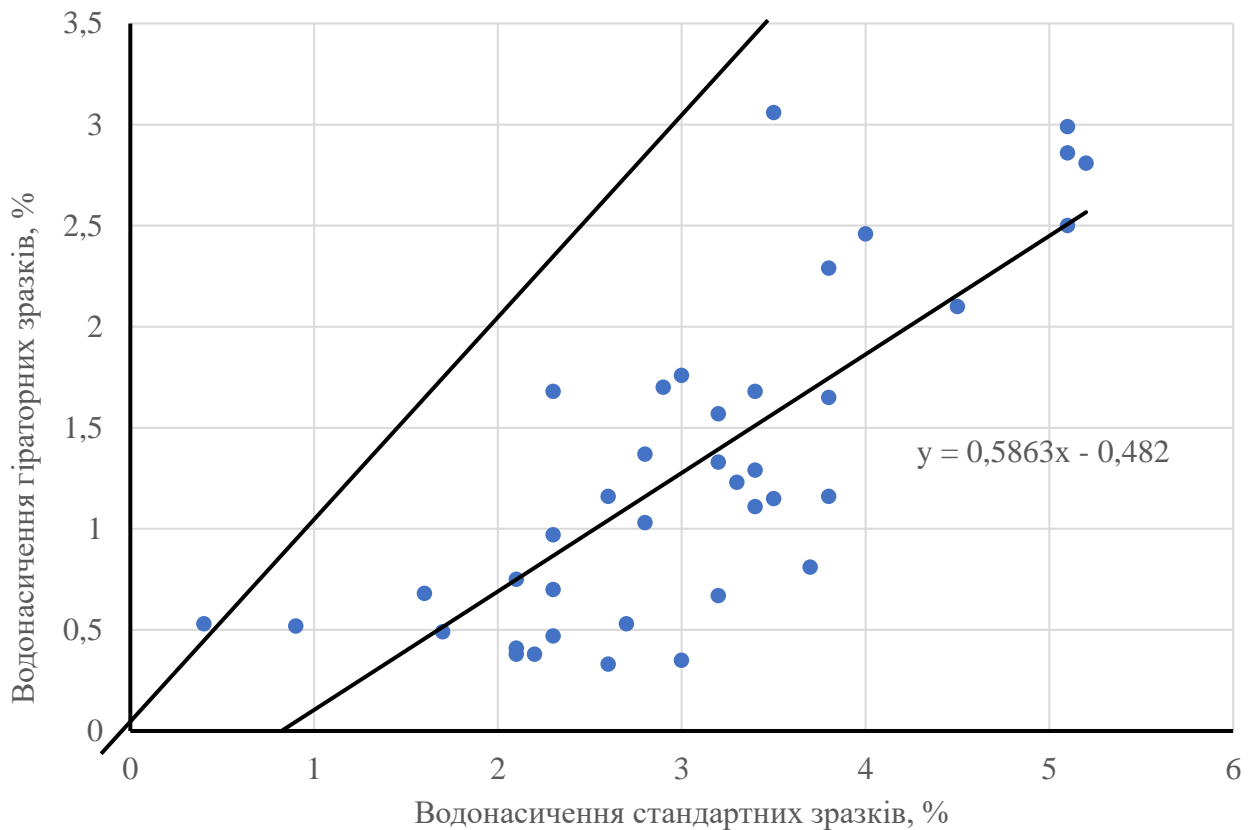


Рисунок 3.2 – Водонасичення зразків асфальтобетону типу А1 сформованих в різний спосіб (2021 р.)

Одним з найважливіших показників фізичних властивостей асфальтобетону є залишкова пористість. Згідно ДСТУ Б В.2.7-119 показник залишкової пористості визначають тільки при підборі складу асфальтобетону та при періодичному контролі якості асфальтобетонних сумішей, а показник водонасичення при підборі, приймально-здавальному контролі та контролі якості влаштування шару асфальтобетону. Надання переваги показнику водонасичення вірогідно пов'язано з простішим методом визначення.

Показник водонасичення на відміну від показника залишкової пористості враховує тільки відкриті пори асфальтобетону в які може потрапити вода під час його визначення. Але одна з основних функцій пор в асфальтобетоні це

компенсація змінення об'єму при температурному розширенні в'язучого. Так розподілення закритих та відкритих пор не завжди однакове та може змінюватися навіть в межах асфальтобетонних сумішей одного типу, що встановлено в ході виконання моніторингу. Для крупнозернистого щільного асфальтобетону типу А1 кількість закритих пор складала від 10 % до 90 % по відношенню до показника залишкової пористості. У зв'язку з цим розглянемо залежність показника залишкової пористості від методу ущільнення асфальтобетонних зразків в лабораторії (рисунок 3.1 та рисунок 3.2).

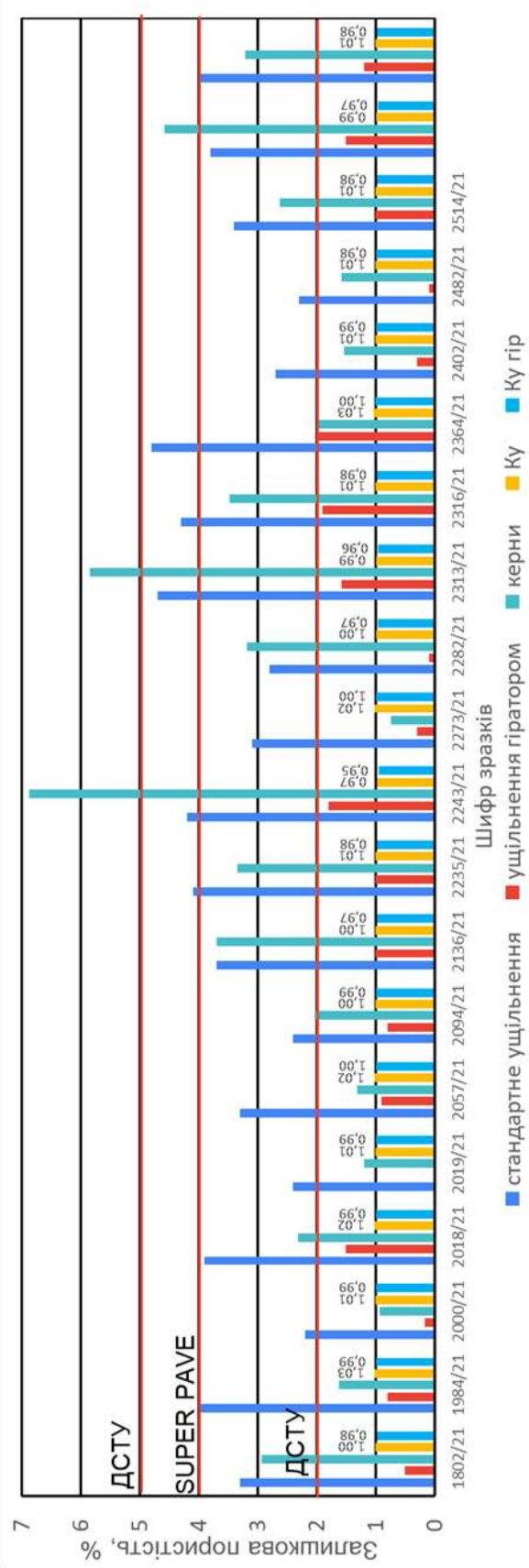
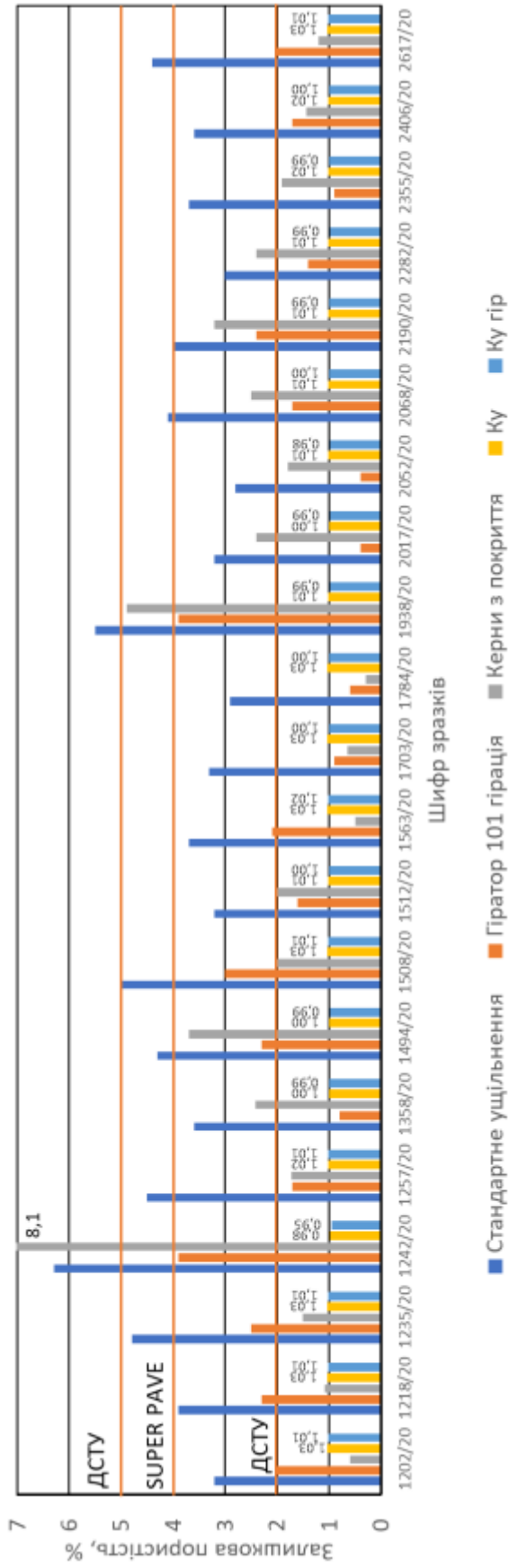


Рисунок 3.3 – Значення показників залишкової пористості від методу ущільнення для асфальтобетонів типу А1

Однією з умов підбору складу за ДСТУ Б В.2.7-119 є знаходження показника залишкової пористості в межах від 2 % до 5 % для більшості кліматичних зон, що відрізняється від вимог за програмою SHRP SuperPave, де за результатами підбору в лабораторії необхідно отримати показник залишкової пористості рівний 4 % (що доречі відповідає вітчизняним вимогам). В подальшому цей показник за кордоном контролюють за кернами і його значення не повинно перевищувати 7 %, що значно перевищує вимоги Українських нормативних документів.

Отримані результати показують, що значення показника залишкової пористості отриманого при стандартному ущільненні пресуванням та ущільненні гіратором значно відрізняються. В разі використання гіратора залишкова пористість значно менше та в більшості випадків не відповідає вимогам нормативних документів до його значення, тобто нижче 2 %. При цьому за стандартного ущільнення цей показник у всіх випадках крім одного відповідає вимогам, що дозволяє припустити правильність підбору складу асфальтобетону за національними вимогами.

Порівняння залишкових пористостей отриманих для лабораторних зразків за різних методів ущільнення з цим показником для кернів показує, що його значення в кернах більш близьке до значення лабораторних зразків ущільнених гіратором ніж до тих, що ущільнені пресуванням.

Звертає на себе увагу отримані значення коефіцієнту ущільнення, що наведені на рисунках та розраховані для двох методів лабораторного ущільнення. При стандартному ущільненні пресуванням його значення в більшості випадків перевищує одиницю, а в деяких випадках складає 1,03, і тільки в трьох випадках менше за одиницю, що скоріше може свідчити про неякісне ущільнення в покритті. Поява значень коефіцієнта ущільнення більше за 1,00, ввела в лексикон “дорожників” таке поняття, як – “переущільнення”, але так як норма на коефіцієнт ущільнення має тільки нижню границю то практичного застосування та на подальші рішення це впливу не мало не мало. “Переущільнення” говорить

про те, що можливості виробництва вирости, а прийнята система проектування, не дає відповіді на питання чи допустимо це, а все що не заборонено дозволено.

В разі розрахунку коефіцієнту ущільнення за гіраторними зразками його значення не перевищує 1,01, а для деяких зразків складало 0,95. Низьке значення коефіцієнту ущільнення в цьому випадку підтверджує припущення про недостатнє ущільнення асфальтобетону викладене за результатами стандартного ущільнення пресуванням на об'єкті влаштування покриття.

Особливо привертає увагу асфальтобетон під шифром 1938/20 для якого значення залишкової пористості за стандартного ущільнення склало 5,5 % (не відповідає вимогам нормативних документів), за ущільнення гіратором близько до 4 %, а для керну склало 4,9 %, що повністю відповідає вимогам програми SHRP SuperPave.

За аналогією розглянемо також асфальтобетони верхнього шару покриття, що піддавалися випробуванням в рамках моніторингу (рисунок 3.2).

Як і у випадку крупнозернистих асфальтобетонів, ущільнення дрібнозернистих асфальтобетонів гіратором призводить майже у всіх випадках до зниження показника залишкової пористості, що свідчить про краще ущільнення.

Розглянемо значення показника залишкової пористості для щебенево-мастикових асфальтобетонів, що перевищує 3,5 %, а в деяких випадках і 4,5 % при ущільненні комбінованим методом, які не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-127. Але при ущільненні асфальтобетонів гіратором у 50 % випадків значення залишкової пористості не відповідає вимогам нормативних документів з причини його заниженого значення.

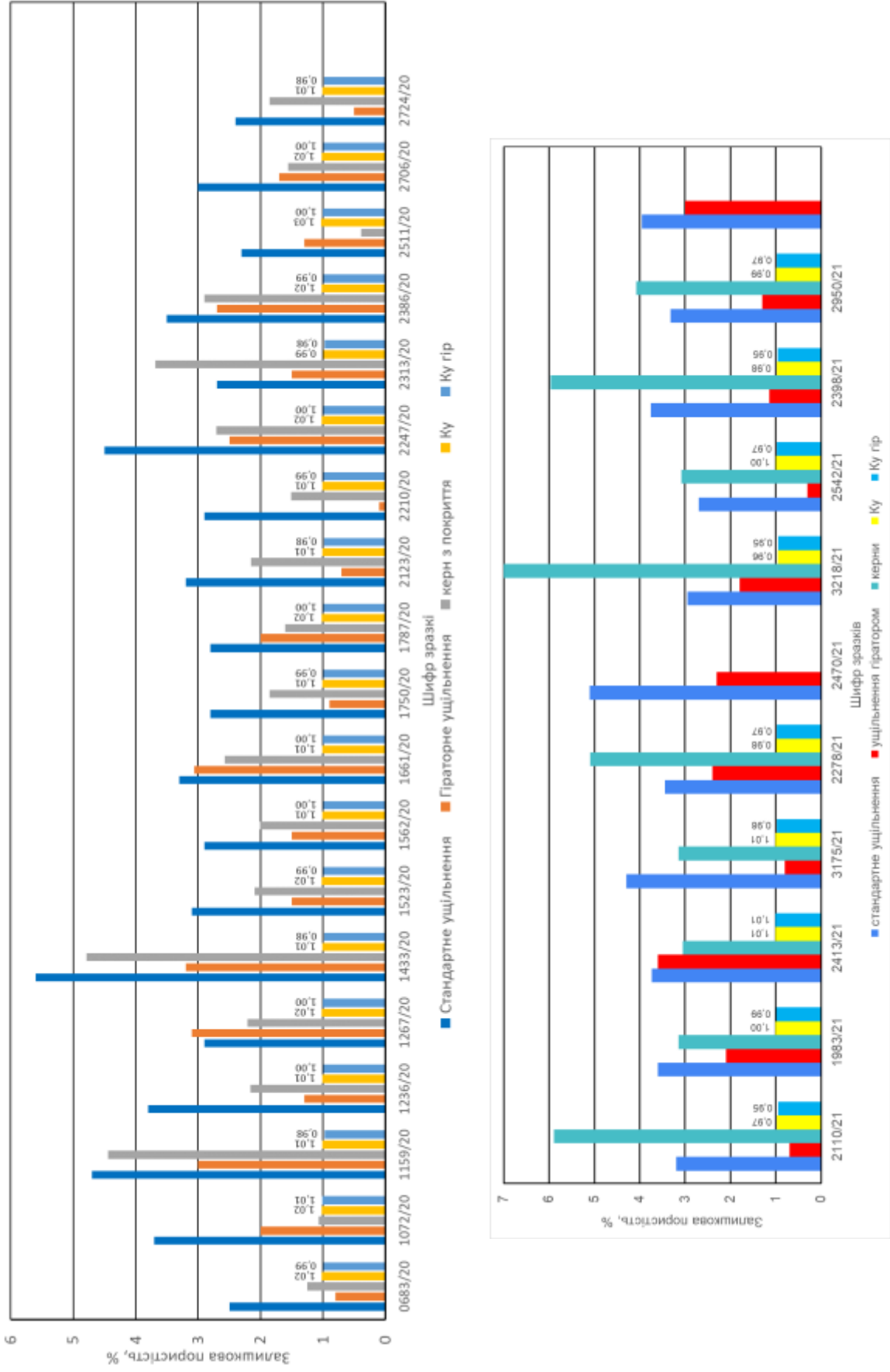


Рисунок 3.4 – Значення показників залишкової пористості від методу ущільнення для дрібнозернистих асфальтобетонів покриття

Коефіцієнт ущільнення асфальтобетонів, що розрахований за показниками щільності лабораторних зразків виготовлених комбінованим методом ущільнення, в значній кількості випадків перевищує 1,00, а при ущільненні гіратором тільки в трьох випадках перевищує одиницю та складає 1,01.

Крім того при ущільненні гіратором велика кількість асфальтобетонів відібраних з шарів покриття не відповідають вимогам ДБН В.2.3-4 за коефіцієнтом ущільнення, тобто ущільнені недостатньо.

Звертають на себе результати отримані для сумішей з номерами 1267/20, 1661/20 та 2413/21 для яких значення залишкової пористості при обох методах ущільнення достатньо близькі, але це складає не більше 10 % від всіх досліджених асфальтобетонів і може свідчити про те, що в деяких варіантах складів асфальтобетонів їх ущільнюваність майже однакова при обох використаних методах.

Аналіз результатів залишкової пористості та коефіцієнта ущільнення отриманих для асфальтобетонів при проведенні робіт з моніторингу 2020 року (рисунок 3.3) та 2021 року (рисунок 3.4) показує лінійні залежності між цими показниками. При ущільненні лабораторних зразків пресуванням майже у 50 % випадків коефіцієнт ущільнення перевищує 1,00, що свідчить про недостатнє ущільнення в лабораторних зразках та в свою чергу про хибне оцінювання властивостей асфальтобетонів за цими зразками.

При ущільненні зразків гіратором значення коефіцієнту ущільнення майже ніколи не перевищують 1,00, що свідчить про більшу достовірність результатів фізико-механічних властивостей асфальтобетонних зразків отриманих ущільненням гіратором.

Крім того графіки доводять можливість оцінки якості ущільнення за показником залишкової пористості, як це передбачено в програми SHRP SuperPave, але умовою відповідності такого методу оцінки є відповідність складу асфальтобетону його підбору.

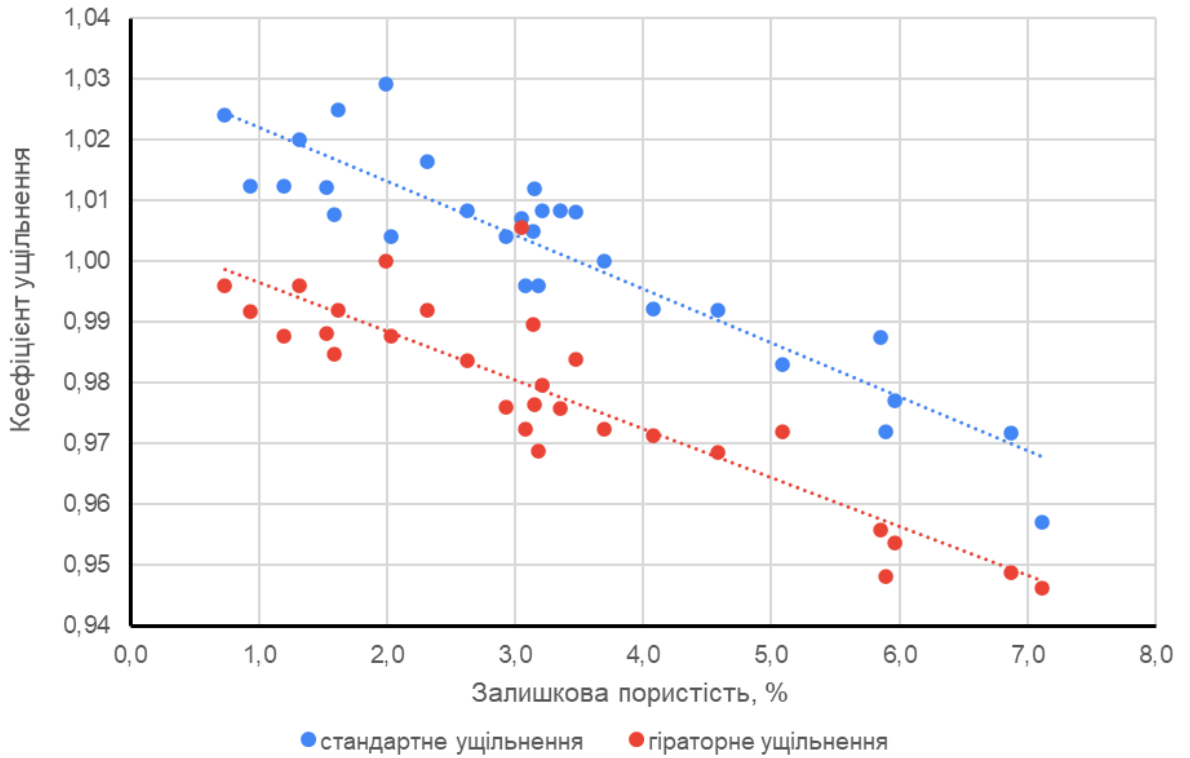


Рисунок 3.5 – Залежність коефіцієнту ущільнення від залишкової пористості та методу ущільнення при виконанні моніторингу у 2021 році

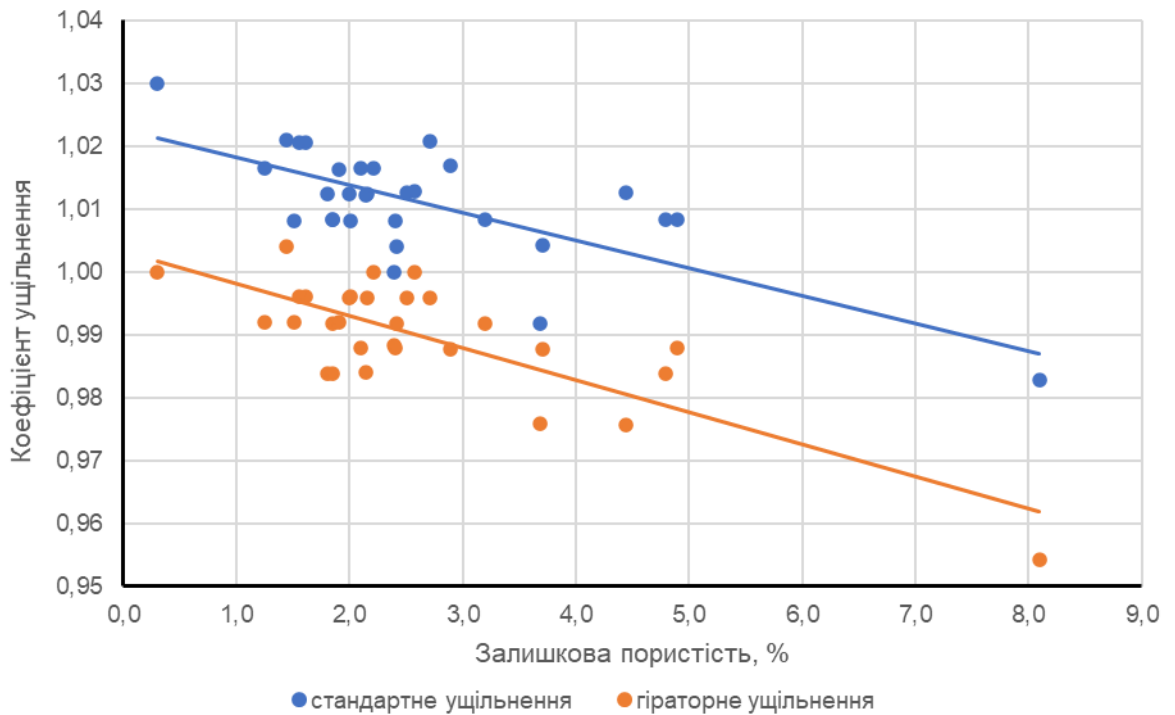


Рисунок 3.6 – Залежність коефіцієнту ущільнення від залишкової пористості та методу ущільнення при виконанні моніторингу у 2020 році.

Розглянемо показники водонасичення та залишкової пористості для крупнозернистих асфальтобетонів типу А1 ущільнених різними способами (таблиця 3.1). Водонасичення асфальтобетонів, що розглянуті, в разі ущільнення в покритті та гіраторному ущільнювачі у всіх випадках відповідає вимогам діючих в Україні нормативних документів (але сучасні національні нормативні документи не нормують мінімальних значень показника водонасичення). За програмою SHRP SuperPave значення цього показника не регламентується. При стандартному ущільненні пресуванням значення водонасичення для двох асфальтобетонів наведених в таблиці не відповідає вимогам нормативних документів, що свідчить про не відповідність методу ущільнення.

Таблиця 3.1 – Порівняння показників водонасичення та залишкової пористості та їх відповідності нормативним документам

Вміст в'язучого за результатами визначення в лабораторії, %	Залишкова пористість, %			Вимоги нормативних документів України/ Superpave	Водонасичення, %			Вимоги нормативних документів України
	при стандартному ущільненні	при ущільненні гіраторним ущільнювачем	при ущільненні в покритті		при стандартному ущільненні	при ущільненні гіраторним ущільнювачем	при ущільненні в покритті / Ку	
4,4	3,3	0,5	2,9	2-5/ 4 для гіраторного ущільнювача	2,5	0,39	2,3 / 1,00	не більше 3,5 (4,0) для зразків з покриття +1,5 %
4,5	3,3	0,9	1,3		2,6	0,42	0,6 / 1,02	
4,5	3,7	1	1,7		2,6	0,46	2,6 / 1,00	
4,4	4,7	1,58	5,8		2,2	0,89	3,8 / 0,99	
4,4	4,8	2	2,0		3,9	1,18	0,8 / 1,03	
4,3	3,8	1,5	4,6		2,7	0,68	3,0 / 0,99	
4,5	3,2	2	0,6		2,8	1,37	0,9 / 1,03	
4,5	4,8	2,5	1,5		4,5	2,10	1,1 / 1,03	
4,5	6,3	3,9	8,1		3,2	0,67	4,2 / 0,98	
4,5	5	3	2,1		3,2	1,57	1,3 / 1,03	
4,2	5,5	3,9	4,9		2,6	0,33	0,6 / 1,01	
4,5	4,5	2,1	-		3,8	1,65	-	
4,5	4,2	1,8	-		3,2	1,33	-	
4,5	4	2,4	1,2		2,3	0,47	1,2 / 1,01	
3,9	6	4,6	-		5,1	2,86	-	
4,5	4,5	1,4	-		3,5	1,15	-	

Значення показника залишкової пористості тих же асфальтобетонів дещо відмінні від вимог нормативних документів, так в трьох випадках воно не відповідає вимогам вітчизняних нормативних до цього показника при стандартному ущільненні пресуванням (для двох випадків з трьох показник водонасичення відповідає вимогам), але відповідає їм при використанні гіраторного ущільнювача. При використанні гіраторного ущільнювача для

частини асфальтобетонів отримані значення що нижчі за 2 %, а це свідчить про невідповідність за цим показником вимогам національних нормативних документів (від 2–5 %). Як що порівнювати ці значення з вимогами програми SHRP SuperPave, то тільки два асфальтобетони наближаються за значенням до них (3,9 % за вимог 4,0 %). Для зразків відібраних з шарів покриття значення показника залишкової пористості не регламентується національними нормативними документами, але в частині випадків воно склало менше за 2 %, що не відповідає вимогам до лабораторних зразків. Програмою SHRP SuperPave значення показника залишкової пористості для зразків відібраних з влаштованого покриття має складати від 4 до 7 %, цій умові відповідає тільки три асфальтобетони, обом умовам для лабораторних зразків та кернів з покриття відповідає тільки один асфальтобетон.

Причинами такого розподілу показника залишкової пористості криється у вмісті в'язучого та вимогах до зернового складу асфальтобетонів, що викладено в національних нормативних документах та в програмі SHRP SuperPave. Збільшити значення показника залишкової пористості можливо за рахунок зменшення кількості в'язучого, але більшість виробників звертають увагу на додаток Б до ДСТУ Б В.2.7-119 де наведені значення орієнтовного вмісту бітуму в асфальтобетонних сумішах, що для крупнозернистої асфальтобетонної суміші типу А1 складає від 4,5 до 6,0 %. Зважаючи на це більшість підрядників призначає вміст в'язучого на рівні не менше 4,5 %. З досвіду отриманого лабораторією ТОВ «РАДІАЛ Інжиніринг» на протязі останніх 4 років відомо, що оптимальний вміст в'язучого для крупнозернистих асфальтобетонних сумішей типу А1 складає від 3,5 до 4 %.

Останні зміни до ДБН В.2.3-4 (Зміна № 2) посилили контроль якості асфальтобетону, що призвело до дилеми яка досі остаточно не вирішена. Є таблиця орієнтовного значення вмісту в'язучого, деякі підприємства вважають що вміст бітуму в суміші обов'язково має бути в межах вказаних там значень, деякі - ні. Причина тому, неможливість спроектувати асфальтобетонну суміш щоб

відповідала і фізико-механічним властивостям і вмісту в'язучого, за умова контролювання показника залишкової пористості.

Іншою причиною низьких значень залишкової пористості є вимоги до зернового складу асфальтобетонних сумішей надані в діючих національних нормативних документах ДСТУ Б В.2.7-119 та ДСТУ 8959. У порівнянні з вимогами європейських нормативних документів та програми SHRP SuperPave (Рисунок 3.5), в яких обрано інший підхід до нормування зернового складу, звертає на себе вимоги до вмісту фракції менше за 0,071 мм (0,075 мм для SuperPave). Так мінімальне значення вмісту цієї фракції за національними нормативними документами майже відповідають максимальному вмісту за іноземними нормативними документами. Збільшення вмісту мінерального порошку та пилу, як відомо, призводить до збільшення оптимального вмісту в'язучого та зниження показника залишкової пористості.

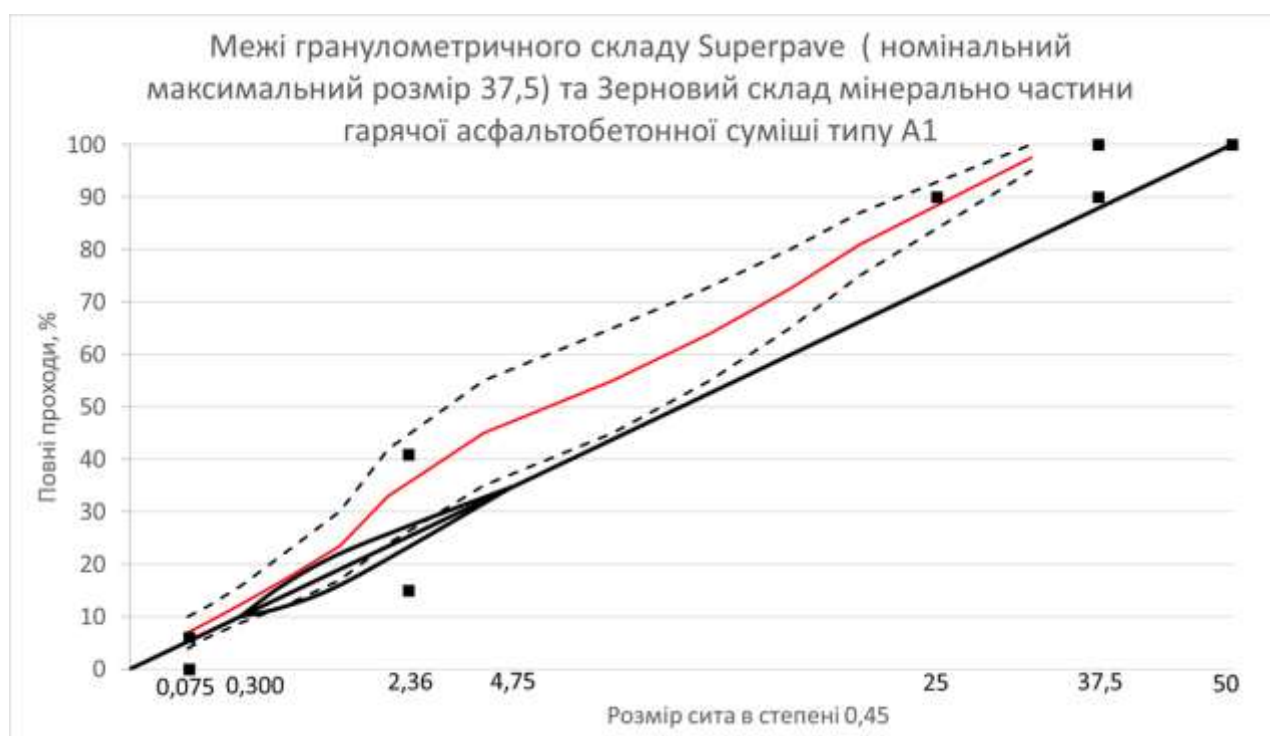


Рисунок 3.7 – Порівняння вимог нормативних документів до зернових складів крупнозернистих асфальтобетонів

З порівняння складів також виходить, що за національними нормативними документами можливо підібрати зерновий склад крупнозернистої асфальтобетонної суміші, що одночасно буде відповідати вимогам Європейських нормативних документів та програмі SHRP SuperPave. Але слід зазначити, що такий склад майже стовідсотково пройде через обмежену зону, крізь яку не рекомендується прокладати зерновий склад (але це не заборонено).

За аналогією розглянемо вимоги до зернового складу дрібнозернистого асфальтобетону у національних та іноземних нормативних документах (Рисунок 3.6).

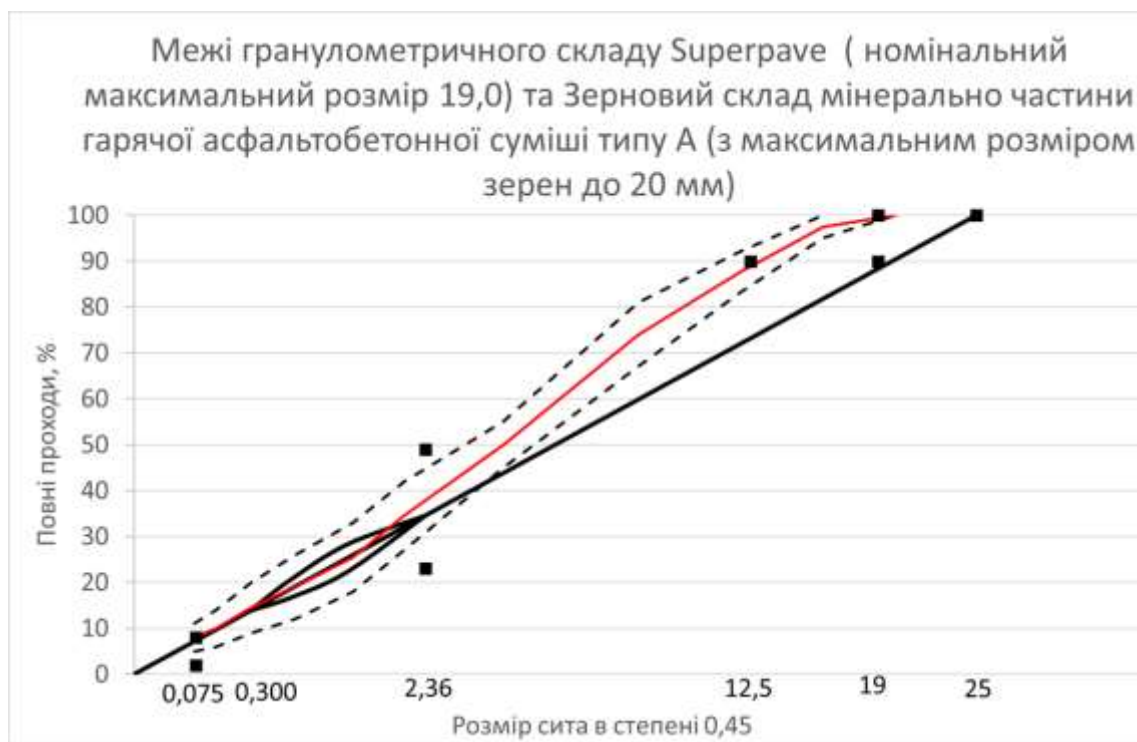


Рисунок 3.8– Порівняння вимог нормативних документів до зернових складів дрібнозернистих асфальтобетонів.

Як і у випадку крупнозернистого асфальтобетону з рисунку бачимо, що за вимогами зернового складу нормованого в національних стандартах можливо підібрати такий склад, що задовільнить вимоги програми SHRP SuperPave, але у порівнянні вимог бачимо різницю: зменшена кількість матеріалу фракції менше за 0,075 мм та більший вміст крупного щебеню. На відміну від крупнозернистого

асфальтобетону в випадку дрібнозернистого можливо підібрати склад асфальтобетонної суміші за національним стандартом, що буде повністю задовольняти усі вимоги та рекомендації програми SHRP SuperPave, на сам перед не проходити крізь обмежену зону, що окреслена двома суцільними лініями для зерен менших за 2,36 мм.

Таким чином можна зробити проміжний висновок, що при підборі зернових складів можливо виготовити асфальтобетонні суміші крупнозернисті типу A1 та дрібнозернисті типу A, що одночасно будуть задовольняти вимогам національних нормативних документів та програми SHRP SuperPave. Але для інших зернових складів гарячих асфальтобетонів така тенденція не простежується.

Розглянемо залежність механічних властивостей асфальтобетонів, що регламентуються національними стандартами від методу ущільнення асфальтобетонних зразків (рисунок 3.9). Наведений результат свідчить, що метод ущільнення майже не впливає на значення міцності при стисканні асфальтобетонних зразків виготовлених в лабораторії.

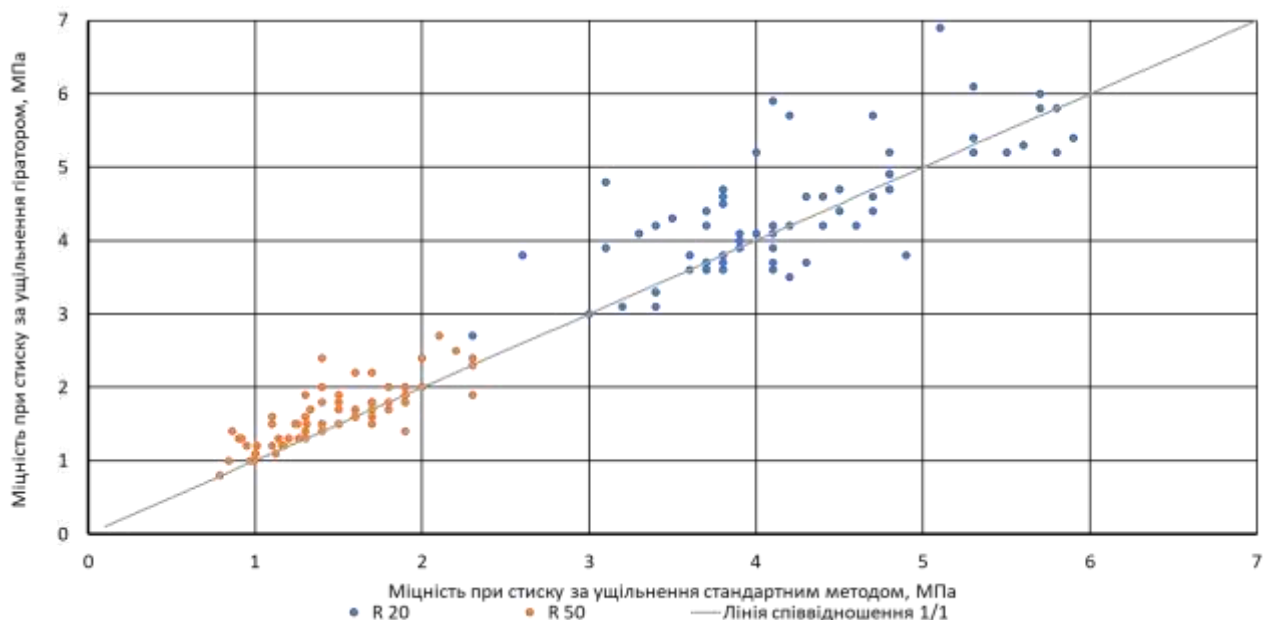


Рисунок 3.9 – Залежність міцності асфальтобетонів при стисканні від методу лабораторного ущільнення

Причина цього відома за багатьма роботами дослідників, це невідповідність схеми навантаження на асфальтобетонний зразок при виконанні випробування умовам роботи асфальтобетону в покритті автомобільної дороги. При визначенні міцності зразок асфальтобетону піддається стисканню без бічного тиску, тобто мінеральні частини асфальтобетону мають можливість майже вільного переміщення при стисканні, але навіть при статичному навантаженні в покритті автомобільної дороги шар асфальтобетону знаходиться в складному напруженому стані, в якому присутні декілька видів деформації.

У найбільшій мірі складному напружено-деформовану стану асфальтобетону відповідає метод визначення глибина колії за завданої кількості проходів колеса по сліду та завданої температури. Для підтвердження невідповідності методу визначення міцності при стиску напружено-деформованому стану асфальтобетону в покритті розглянемо чи існує залежність між показником міцності асфальтобетону при стиску за температури 50 °C (у національних нормативних документах використовується для прогнозування стійкості асфальтобетонів під впливом навантаження та високих температур) та показником глибини колії для крупнозернистих асфальтобетонів типу А1 (рисунок 3.10) та дрібнозернистих асфальтобетонів (рисунок 3.11)

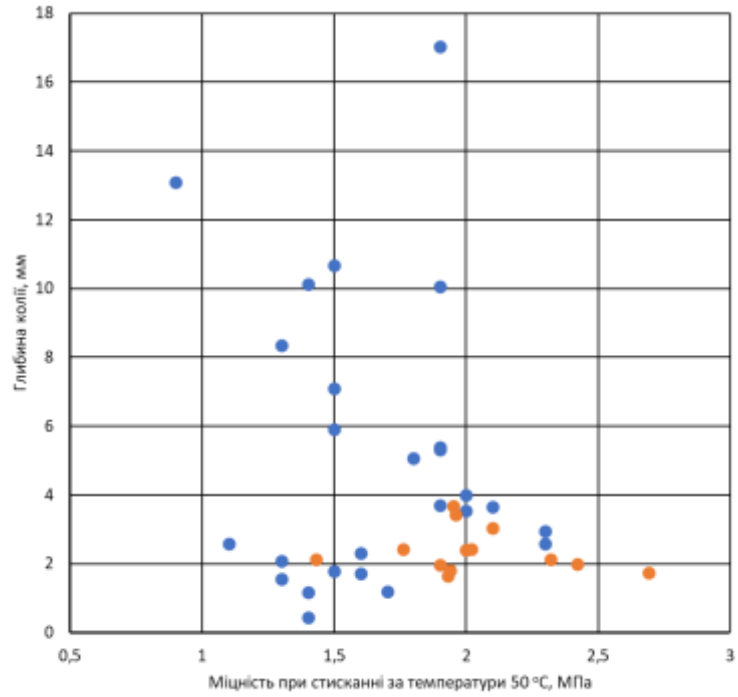


Рисунок 3.10 – Залежність глибини колії від показника міцності при стисканні за температури 50 °C для крупнозернистих асфальтобетонів типу А1

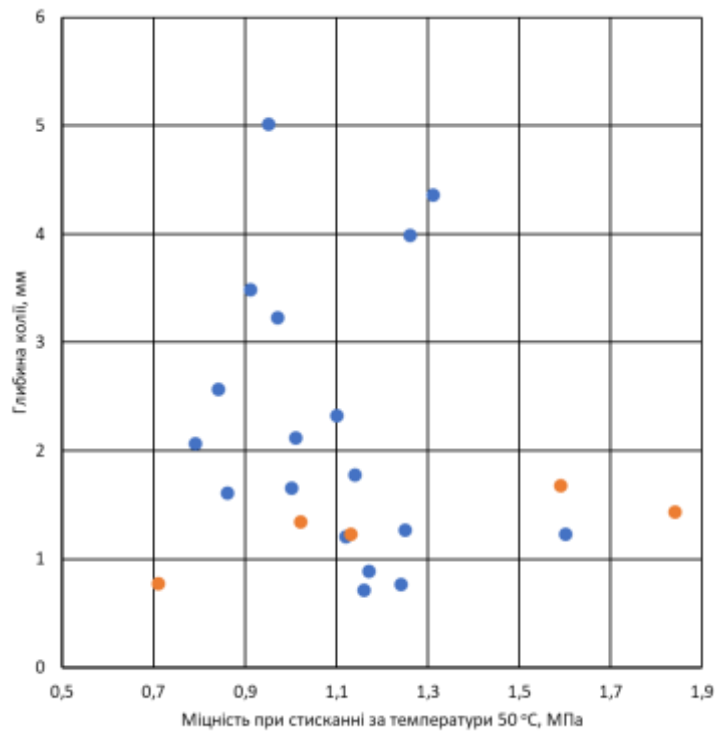


Рисунок 3.11 – Залежність глибини колії від показника міцності при стисканні за температури 50 °C для дрібнозернистих асфальтобетонів що використовувалися в шарі покриття.

Тож наразі маємо в дорожньому будівництві наступну картину:

Маємо систему проектування асфальтобетонних сумішей, яка не дозволяє прогнозувати поведінку асфальтобетонів в шарах покриття автомобільних доріг, що у свою чергу призводить до шаблонних рішень при проектуванні конструкцій дорожніх одягів.

Найпоширенішими асфальтобетонами при виконанні робіт з ремонту, реконструкції та будівництва є асфальтобетони типів А1 та А і ЩМА20. Нижні шари асфальтобетону рідше, а верхні у більшості випадків виготовляють з використанням в'язучих модифікованих полімером та поверхнево-активними речовинами, щоб забезпечити стійкість покриття до дії навантаження та кліматичних факторів. Але суттєво збільшує вартість. Саме досвід, а на жаль не наука, підштовхнули дорожніх будівельників працювати по шаблону та не зважати на вартість.

Асфальтобетони інших типів майже не використовуються, або використовуються при виконанні аварійних ремонтів.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу результатів моніторингу, що виконаний на замовлення агентства автомобільних доріг України протягом 2020 та 2021 років можна зробити наступні висновки:

1. Стандартне ущільнення асфальтобетонів в лабораторних умовах методом пресування та комбінованим методом не дозволяє прогнозувати властивості асфальтобетонів шарах дорожнього одягу, що призводить до необхідності внесення невідкладних змін в ДСТУ Б В.2.7-319, ДСТУ Б В.2.7-119, ДСТУ Б В.2.7-127 та інші нормативні документи, в яких прописані методи ущільнення асфальтобетонних зразків в лабораторних умовах. Крім цього необхідно структурувати нормативні документи, щодо методів ущільнення, тобто прибрати описання методів ущільнення з нормативних документів, що регламентують технічні умови, та замінити їх на посилання на діючі нормативні документи, в яких надані методи ущільнення.

2. Показник водонасичення недостатньо інформативний і може призвести до хибного трактування результатів випробувань, замість нього необхідно використовувати показник залишкової пористості, за яким опосередковано можна прогнозувати показник колієсткості. Слід зазначити необхідність контролювання показника залишкової пористості при прийманні робіт, тобто для зразків відібраних з шарів дорожніх одягів влаштованих з використанням асфальтобетонів.

3. Вимоги національних стандартів до показника залишкової пористості для нижньої межі значно занижені, що спричинено занадто щільними зерновими складами асфальтобетонів, які в них регламентовані, з чого виходить необхідність перегляду цих складів та підвищення нормованих значень залишкової пористості.

4. Використання показника міцності при стисканні за температури 50 °C для прогнозування стійкості асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій є не об'єктивним. Для прогнозування стійкості асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій необхідно використовувати показник

глибини колії після завданої кількості проходів колеса з завданим навантаженням та при завданій температурі.

Все вище наведене дозволяє говорити про застарілість як методів виготовлення асфальтобетонних зразків, методів оцінки їх властивостей , так і в цілому методу проектування асфальтобетонних сумішей. Виходом з цієї ситуації перехід до методів, що добре себе зарекомендували в нормативних документах Європейського Союзу та Сполучених Штатів Америки.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Калужский Я. А., Батраков О.Т. Уплотнение земляного полотна и дорожных одежд. М.: Транспорт, 1971. 160 с.
2. Королев И. В. Дорожный теплый асфальтобетон. К.: Вища школа, 1977. 155 с.
3. Иванов Н. Н. Прочность и устойчивость покрытий из смесей каменных материалов с органическими вяжущими. *Труды МАДИ*. 1956. Вып. 18. С. 61-74.
4. Хархута Н. Я. Машины для уплотнения грунтов. Л.: Машиностроение, 1973. 200 с.
5. Хархута Н. Я., Васильев Ю. М. Устойчивость и уплотнение грунтов дорожных насыпей. М.: Автотрансиздат, 1964. 140 с.
6. Хархута Н. Я. Уплотнение асфальтобетонных покрытий дорожных одежд. Вопросы теории уплотнения дорожных покрытий. *Труды союздорнии*. 1980. С. 56-58.
7. Рыбьев И. А. Асфальтовые бетоны. М.: Высшая школа, 1969. 369 с.
8. Юхименко А. В. Исследования влияния свойств разжиженных битумов на формирование структуры асфальтовых материалов : дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05. Харьков, 1964. 192 с.
9. Якунин О. А. Закономерности уплотнения дорожно-строительных материалов при компрессионном испытании. *Труды союздорнии*. 1980. Вып. 61. С. 70-88.
10. Калашникова Т. Н., Сокальская М. Б. Строительство и ремонт асфальтобетонных покрытий : учебное пособие. М.: 2010. 228 с.
11. *Ищенко И.С., Калашникова Т. Н., Семенов Д.А. Технология устройства и ремонта асфальтобетонных покрытий. М.: Аир-Арт, 2001. 176 с.*
12. Фурсов С. Г. Влияние плотности асфальтобетонов на показатели их свойств. *Автомобильные дороги*. 1991. №11. С. 22-23.

13. Костельов М. П., Сергеева Т. Н., Посадский Л. М. Рациональные режимы уплотнения асфальтобетонной смеси. *Автомобильные дороги*. 1980. №6. С. 20-22.

14. Лобзова К. Я., Горельшев Н. В. Дробимость щебня при уплотнении асфальтобетонных покрытий. *Автомобильные дороги*. 1969. № 3. С. 18-19.

15. Сахаров П.В. Способы проектирования асфальтобетонных смесей. *Транспорт и дороги города*. 1935. № 12. С. 22-26.

16. Волков М.И., Борщ И. М., Королев И. В. Дорожно-строительные материалы. М. : Транспорт, 1965. 518 с.

17. Золотарев В.А. О вкладе составляющих асфальтобетона в его прочность / В.А. Золотарев // Повышение эффективности использования материалов при строительстве асфальтобетонных и черных покрытий: тр. Союздорнии. 1989. С. 78-84.

18. Золотарев В. А. Исследование свойств асфальтобетонов различной макроструктуры : дис. ... канд. техн. наук : 05.23.05. Харьков, 1967. 207 с.

19. Золотарев В. А. Долговечность дорожных асфальтобетонов. Харьков: Вища школа, 1977. 116 с.

20. Ребиндер П. А. Физико-химическая механика дисперсных структур Коллоидный журнал: сб. ст. 1966. № 4. С. 3-6

21. Лысихина А. И. Дорожные покрытия и основания с применением битумов и дегтей. М. : Автотрансиздат, 1962. 360 с.

22. Колбановская А. С., Михайлов В. В. Дорожные битумы. М. : Транспорт, 1973. 264 с.

23. Котлярский Э. В., Финашин Н. В., Урьев Н. Б. Контактные взаимодействия при формировании асфальтобетонных смесей в процессе уплотнения. *Повышение качества строительства асфальтобетонных и черных покрытий. Труды союздорнии*. М., 1988. С. 65-69.

24. Королев И. В., Золотарев В. А., Ступицев В. А. Асфальтобетонные покрытия. Донецк : Донбасс, 1970. 161 с.

25. Королев И. В., Финашин В. Н., Феднер Л. А. Дорожно-строительные материалы : учебник для автомобильных дорог и техникумов. М., Транспорт 1988. 304 с.

26. Линейцева Л. И., Хархута Н. Я. Влияние реверсирования катков на ровность уплотняемых асфальтобетонных покрытий. *Автомобильные дороги*. 1985. №10. С. 10-11.

27. Калужский А. Я. Теоретические основы укатки дорожных покрытий: Союздорнии сб. науч. тр. 1949. Вып. 8. С. 55-73.

28. Котлярский Э. В., Кустарев Г. В. Экспериментальные исследования уплотняющей способности и нагруженности вибрационных катков. *Союздорнии*: сб. науч. тр. 1980. Вып. 5. С. 23-27.

29. Хархута Н. Я., Шестопалов А. А. Выбор типа и режимов работы катков при уплотнении асфальтобетонных смесей. *Автомобильные дороги*. 1986. № 3. С. 24-25.

30. Костельов М. П. Зачем уплотнять асфальтобетон выше минимальной нормы? *Дорожная техника*. 2005. № 3. С. 133-138.

31. Стороженко М. С. Совершенствование технологии уплотнения асфальтобетонных покрытий с целью повышения прочности и долговечности. *Вестник ХНАДУ*: сб науч. тр. 2008. № 40. С. 99-102.

32. *Результаты исследования процесса уплотнения дисперсных материалов вибрационным способом / Гендлина Л. И. и др. Горный информационно-аналитический бюллетень*. 2011. № 8. С. 255-259.

33. Повышается качество уплотнения / С. М. Багдасаров, и др. *Автомобильные дороги*. 1983. №12. С. 5-7.

34. Золотарев В. А. особенности устройства асфальтобетонных покрытий во Франции. *Автомобильные дороги*. 1969. №3. С. 30-31.

35. Финашин В. Н., Соколов В. А., Котлярский Э. В. Оценка уплотняющей способности дорожных катков. *Исследование свойств дорожно-строительных машин*: сб. науч. тр. 1980. С. 34-38.

36. Радовский Б. С. Методы проектирования состава асфальтобетонных смесей в США. *Дорожная техника*. 2006. С. 68-79.

37. Арсеньев А. А., Бочин В. А., Иванов Н. Н. Строительство автомобильных дорог. *Научно-техническое издательство автотранспортной литературы*. 1955. № 6. С. 96-100.

38. Gerald Haber. History of asphalt mix design in North America. *Asphalt Mixture*. 2009. (Part 1). URL: <http://asphaltmagazine.com/history-of-asphalt-mix-design-in-north-america-part-1/>

39. Daniel Swiertz. Compaction and Aggregate Structure Analysis Techniques: State of the art. *report Daniel Swiertz, Enad Mahmoud, and Hussain Bahia*. 2001. URL: https://uwmarc.wisc.edu/files/rilemtg2/State_of_the_Art_Report_with_Imaging_Standard_Jan2010.pdf

40. ASTM. ASTM D 6926 Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens using Marshall Apparatus. Manual Book of ASTM Standards. American Society for Testing Materials, 2005. 49 p.

41. Comparative Study of Asphalt Concrete Laboratory Compaction Methods to Simulate Field Compaction / Khan Z. A., Hamad I., Wahab A. et al. *Construction and Building Materials*. 1998. Vol. 12. P. 373-384.

42. H. AL-ABDUL ANHAB AND ZIA UDDIN A. KHAN. Evaluation of Marshall and Hveem Mix Design Procedures for Local Use. TRANSPORTATION RESEARCH RECORD 1317. P. 68-76 URL: <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/trr/1991/1317/1317-008.pdf>

43. B.A. Vallerger. Recent Laboratory Compaction Studies of Bituminous Paving Mixtures. *Proc. Association of Asphalt Paving Technologists*. 1951. Vol. 21. P. 117-153.

44. ГОСТ 12801-84. Смеси асфальтобетонные дорожные и аэродромные, дегтебетонные дорожные, асфальтобетон и дегтебетон. Методы испытаний [Чинний від 1985-01-01]. М., 1984. 32 с.

45. ДСТУ Б В.2.7-319-2016. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань . [Чинний з 2017-04-01].

46. ДСТУ Б В.2.7-119-2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. [Чинний від 2003-07-01]. К. : Мінрегіонбуд, 2012. 44 с. (Державний стандарт України).

47. Горелышев Н. В. Рациональная структура асфальтобетона и ее влияние на работоспособность дорожных покрытий. *Доклады и сообщения на научно-техническом совещании по строительству автомобильных дорог*. 1965. С. 200-222.

48. Золотарев В. А. Уплотнение асфальтобетонной смеси с повышенным содержанием щебня. *Автомобильные дороги*. 1968. № 7. С. 13-14.

49. Холодные асфальтобетонные смеси с добавкой «Полопатч» для производства ямочного ремонта / Космин А.В. и др. *Вестник ДДАБА*: сб. науч. тр. 2006. № 5 (61). С. 150-154.

50. Паулман Г. Закономерности уплотнения битумных масс / пер. с немец. Паулмаг Г., Пахомов П. Л. Келн: 1970. Т. 21. С. 262-268.

51. The History and Future Challenges of Gyrotory Compaction 1939-2001 / Harman T., J. Bukowski, F. Moutier, et al. *The Transportation Resrearch Board*. 2001. № 8. P. 200-207.

52. Smith, R., M. Santi. Development and Performance Prediction of Idaho Superpave Mixes. *National Institute for Advanced Transportation Technology*. 2004. № 3. P. 23-31.

53. Опыт применения стандартов Superpave / Берлин А. А. и др. *Автомобильные дороги*. 2016. Том 3. С. 73-80.

54. Стефанович А. Е. Показатели долговечности щебня в несущих слоях нежестких дорожных одежд: автореф. дисс. на соиск. учен. степени канд. техн. наук : 05.23.11. Киев, 1967. 23 с.

55. EN 12697-33-2011 Bituminous mixtures. - Test methods for hot mix asphalt. - Part 33: Specimen prepared by roller compactor. [Published 31 May 2012]. Berlin, 2004. 23 p.

56. Методические рекомендации по приготовлению асфальтобетонных образцов вальцовым (плитным) уплотнителем. М.: 2015. - С. 12. URL, <http://docs.cntd.ru/document/456020154>

57. F.R. Bijleveld, S.R. Millera¹, A.H. de Bondt^b A.G. Dore[']ea. Aligning laboratory and field compaction practices for asphalt - the influence of compaction temperature on mechanical properties. Department of Construction Management and Engineering, University of Twente, Post Office Box 217, 7500 AE Enschede, The Netherlands; ^b Ooms Civiel bv, Scharwoude, Post Office Box 1, Avenhorn 1633 ZG, The Netherlands. *International Journal of Pavement Engineering*, 2015. P. 3-14.

58. Montepara A., Rastelli S., Rota V. Laboratory compaction of asphalt mixtures: The use of a slab heavy compactor. *5th International conference bituminous mixtures and pavements Thessaloniki. Greece. 1-3 June 2001*. Thessaloniki: [hamilton house](http://www.hamiltonhouse.com), 2001. - P. 1383-1392

59. ДСТУ EN 12697-22:2018 «Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 22. Колійність (EN 12697-22:2003+A1_2007, IDT)»

Додаток А
Матеріали ілюстративні

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Дорожньо-будівельний факультет

Кафедра будівництва та експлуатації автомобільних доріг ім О.К. Біруля

ІЛЮСТРАЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ ДО ДИПЛОМНОЇ РОБОТИ
магістра

ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ В
ЛАБОРАТОРНИХ УМОВАХ, ТА ЇХ ПОРІВНЯННЯ З РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИРОБНИЧОГО
УЩІЛЬНЕННЯ

Завідувач кафедрою канд. техн. наук, доцент

Роман СМОЛЯНЮК

Нормоконтролер канд. техн. наук, доцент

Олександр ВОЛОВИК

Консультант, канд. техн. наук

Володимир КОРЮК

Керівник канд. техн. наук, доцент

Сергій ЧУГУЄНКО

Студент гр. Д63-22

Олександр ОСТАПЕНКО

ЗМІСТ

1. МЕТОДИ ВИРОБНИЧОГО УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ
 2. ЛАБОРАТОРНІ МЕТОДИ УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ
 3. МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ АСФАЛЬТОБЕТОНУ
 4. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ
 5. ПОРІВНЯННЯ ВОДОНАСИЧЕННЯ ЗРАЗКІВ ВИГОТОВЛЕНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ УЩІЛЬНЕННЯ
 6. ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ПОРИСТОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ УЩІЛЬНЕННЯ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ ТИПУ А1
 7. ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ПОРИСТОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ УЩІЛЬНЕННЯ ДЛЯ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ
 8. ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ПОРИСТОСТІ ТА ВОДОНАСИЧЕННЯ ЗА РІЗНИХ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ
 9. ПОРІВНЯННЯ ЗНАЧЕНЬ МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКАННІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ЗА РІЗНИХ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ
 10. ПОШУК ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ПОКАЗНИКОМ МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКАННІ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 50 °С ТА ПОКАЗНИКОМ ГЛИБИНИ КОЛІЇ
- ВИСНОВКИ

МЕТОДИ ВИРОБНИЧОГО УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ ШАРІВ

Попереднє ущільнення



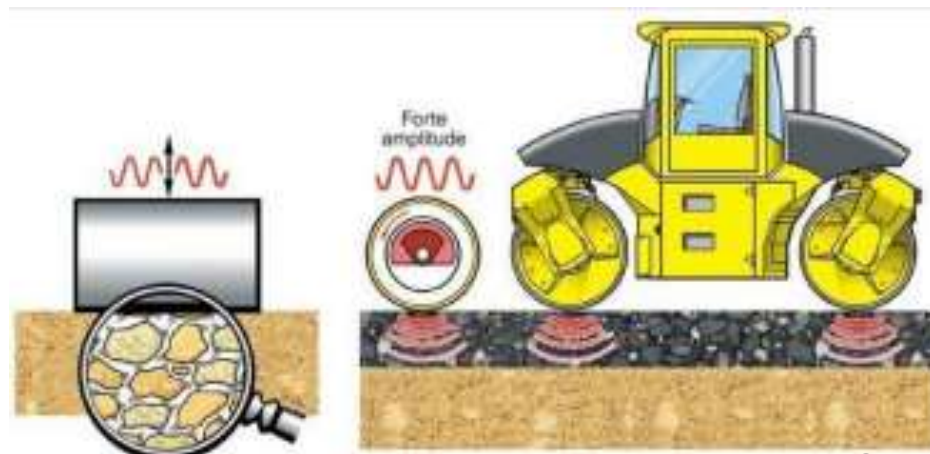
Ущільнення укочуванням



Вібраційне ущільнення



Комбіноване ущільнення



ЛАБОРАТОРНІ МЕТОДИ УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ



метод Хабарда-Филда



метод Дюрьеза
ДСТУ Б В.2.7-319



метод
Маршалла
EN 12697-30 /
ASTM D6926



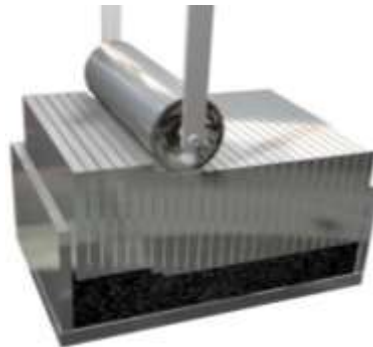
метод Хвима
AASTHO T 247 /
ASTM D 1561



обертовий
метод
EN 12697-10 /
ASTM D 6925



метод укочування
пневматиком
EN 12697-33 /
NF P98-250.2



метод «разминания»
ASTM D-698



метод куочування
роликом



метод укочування
сектором
EN 12697-33 /
ДСТУ Б В.2.7-319

МЕТОДИ ВИГОТОВЛЕННЯ ЗРАЗКІВ АСФАЛЬТОБЕТОНУ

Пресування



Гіраторне
ущільнення



Керни з асфальтобетонного
шару



МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

ВОДОНАСИЧЕННЯ ТА ЗАЛИШКОВА ПОРИСТІСТЬ

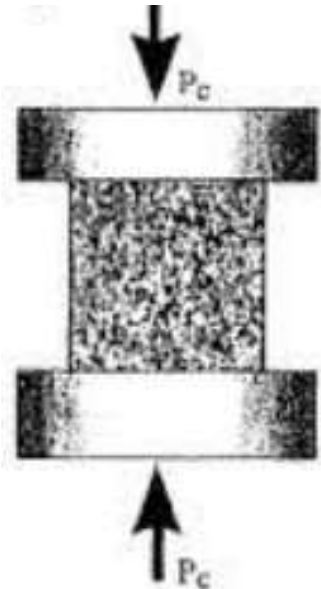


$$W = \frac{m_3 - m}{m_2 - m_1} \cdot 100,$$

$$V_{пор}^3 = \left(1 - \frac{\rho_m}{\rho^g}\right) \cdot 100,$$

МІЦНІСТЬ ПРИ СТИСКАННІ

Температура: 20 та 50 °C



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

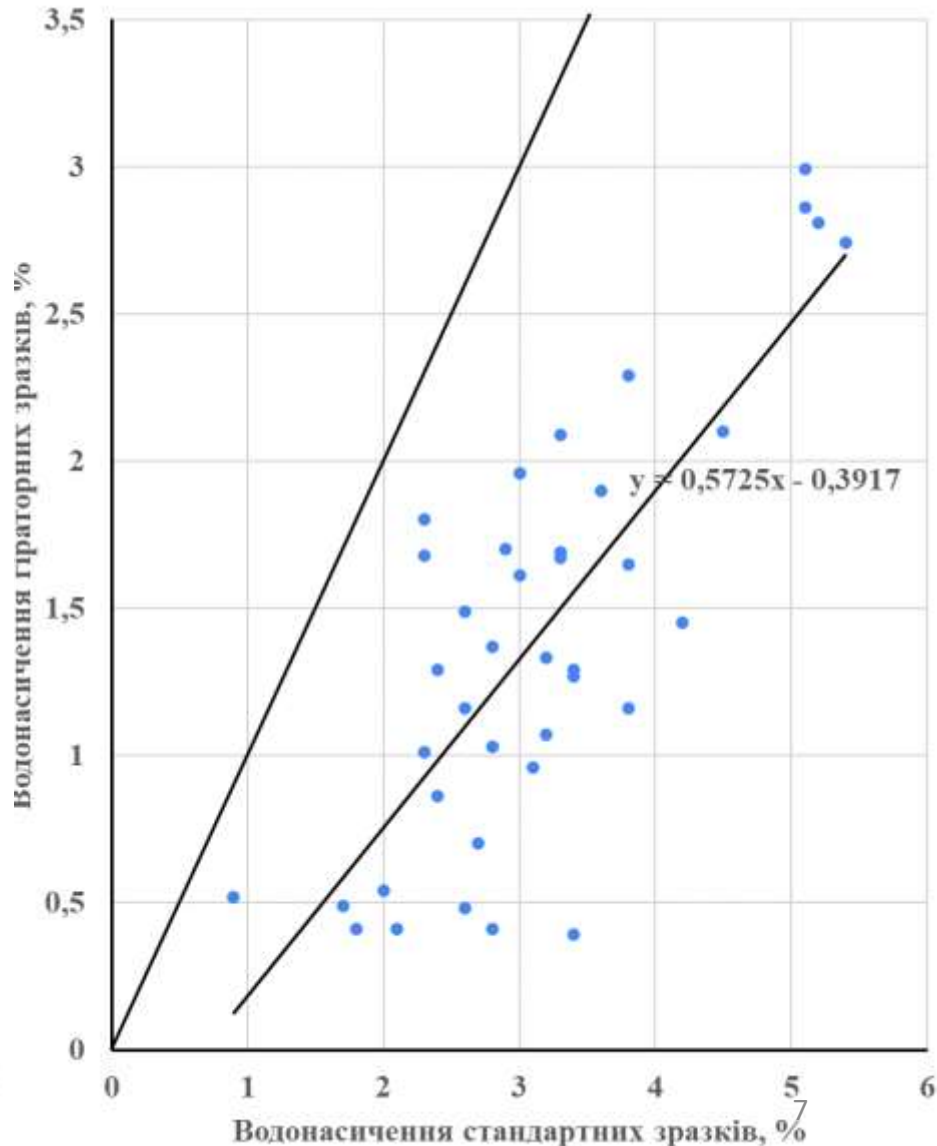
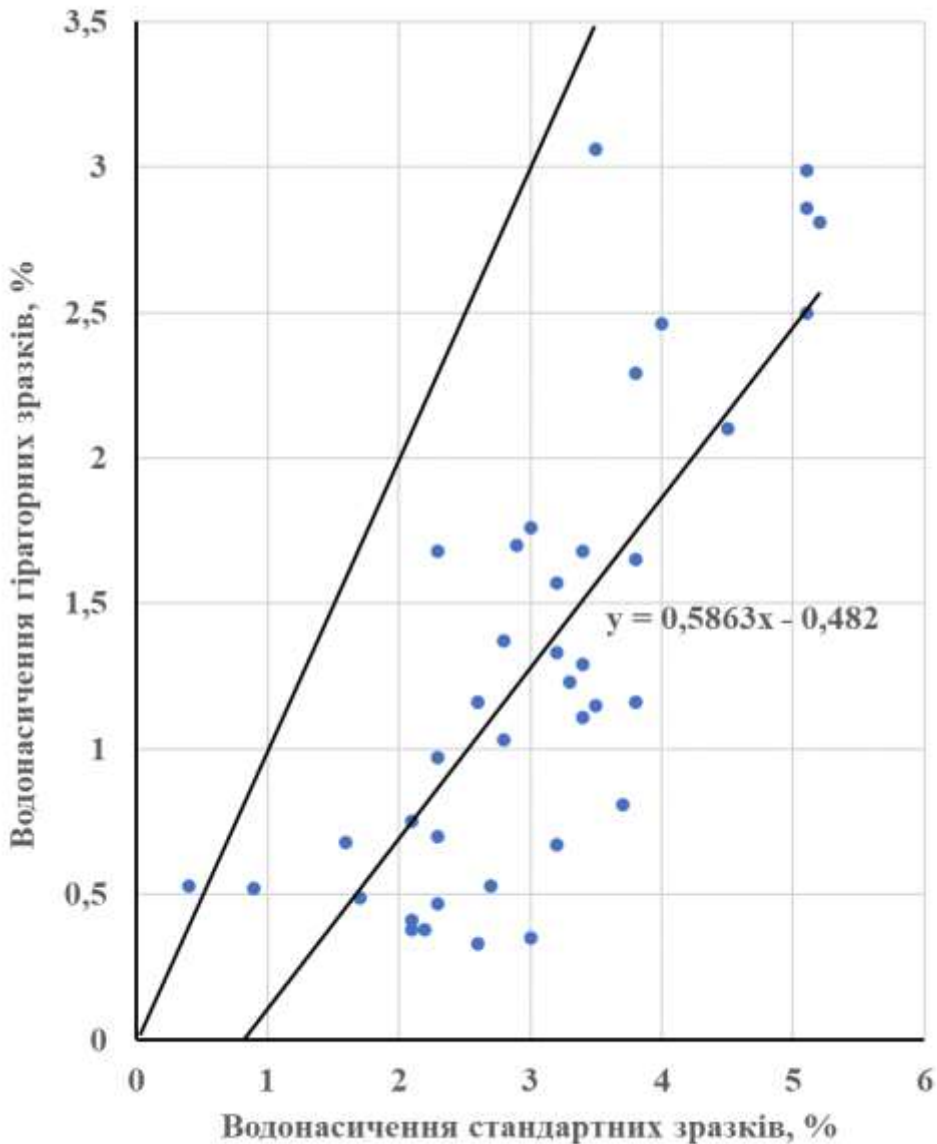
КОЛІЄУТВОРЕННЯ



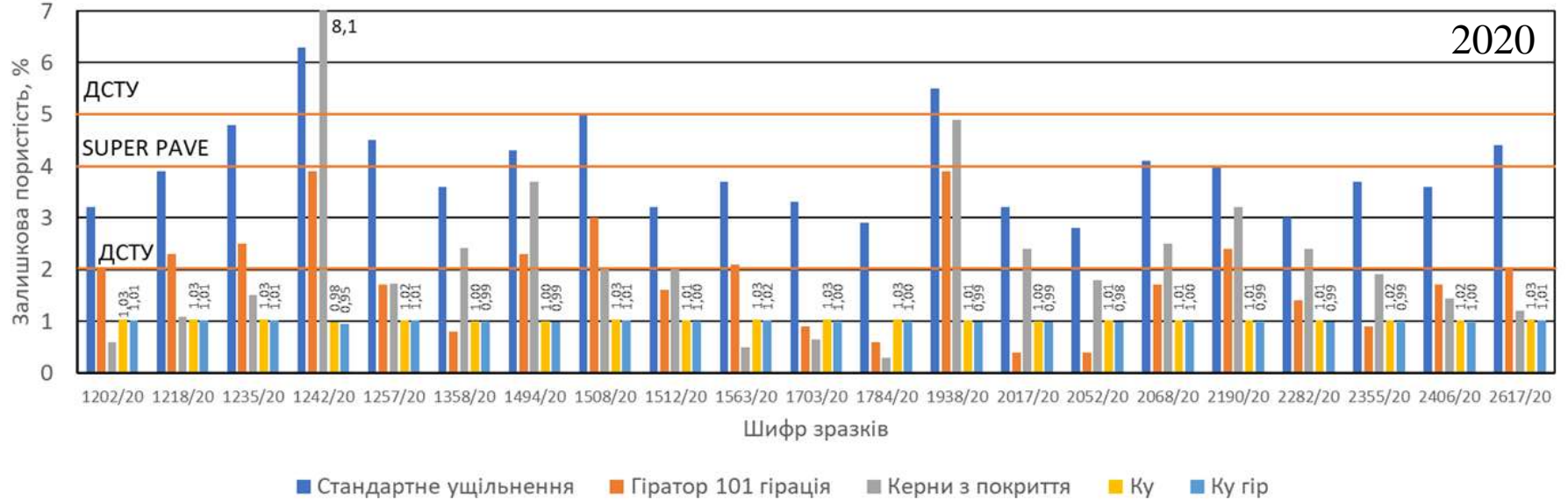
ПОРІВНЯННЯ ВОДОНАСИЧЕННЯ ЗРАЗКІВ ВИГОТОВЛЕНИХ РІЗНИМИ МЕТОДАМИ УЩІЛЬНЕННЯ

2021

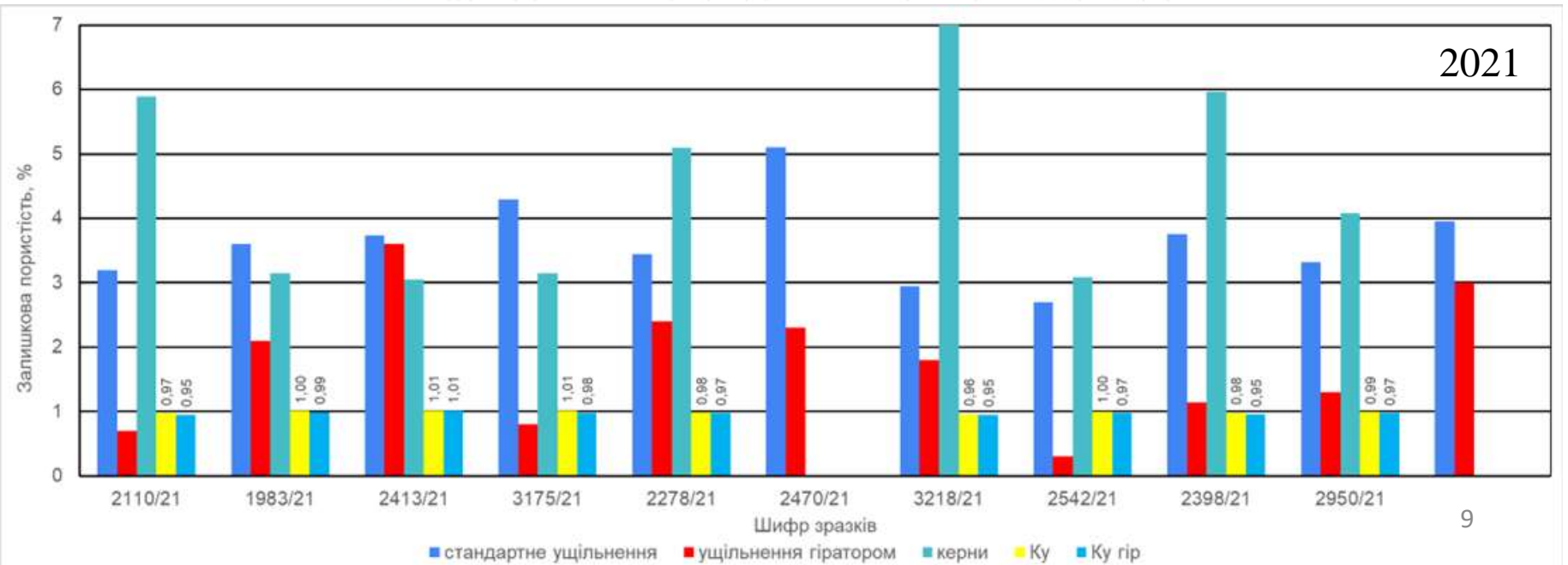
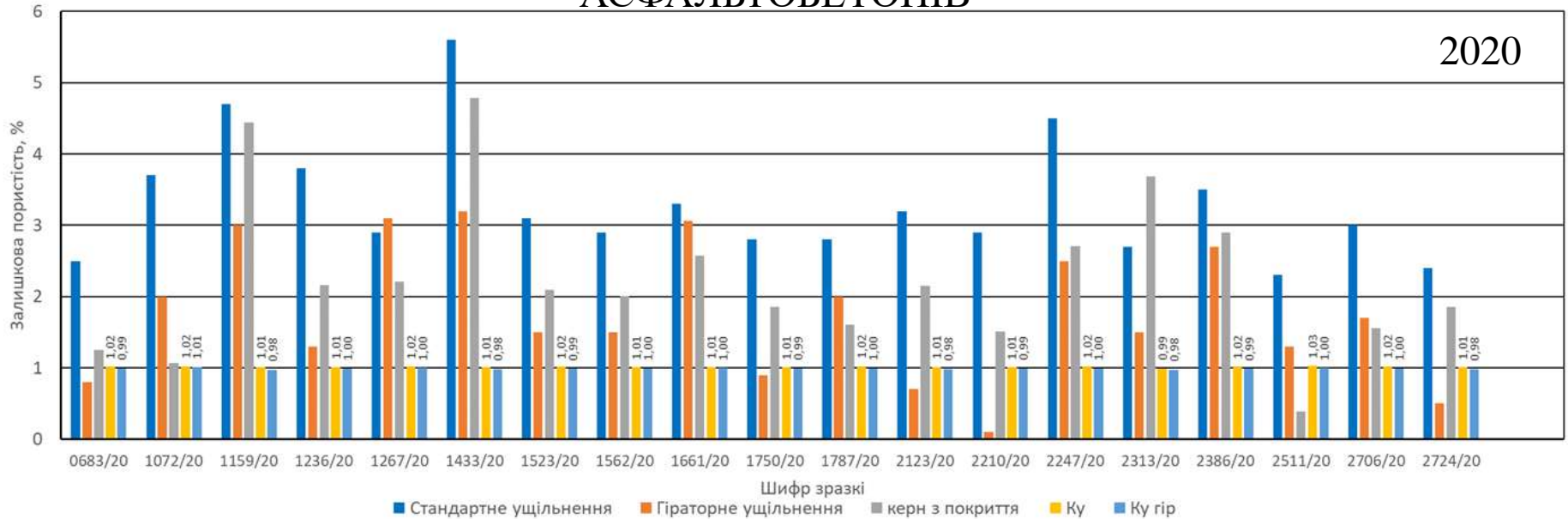
2020



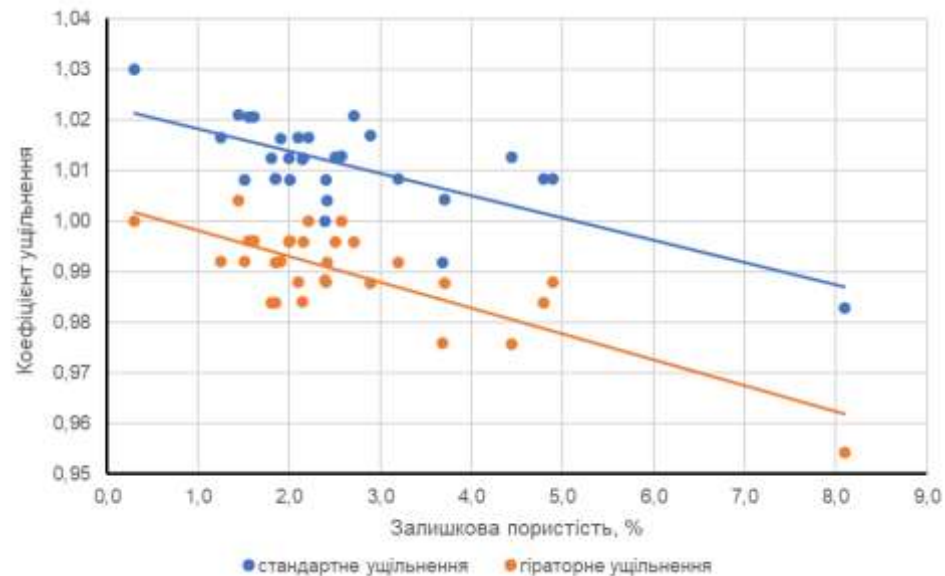
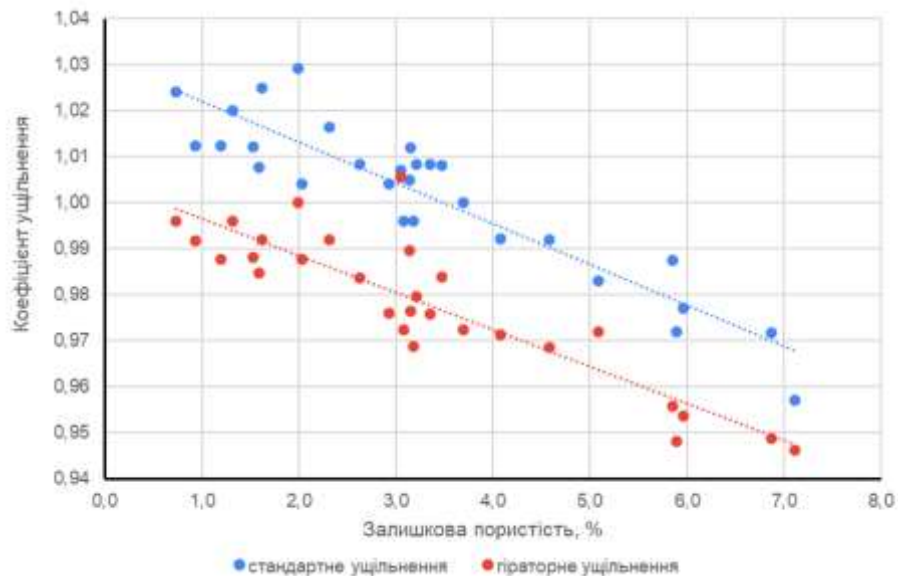
ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ПОРИСТОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ УЩІЛЬНЕННЯ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНУ ТИПУ А1



ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ПОРИСТОСТІ ТА КОЕФІЦІЄНТА УЩІЛЬНЕННЯ ПРИ РІЗНИХ МЕТОДАХ УЩІЛЬНЕННЯ ДЛЯ ДРІБНОЗЕРНИСТИХ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ

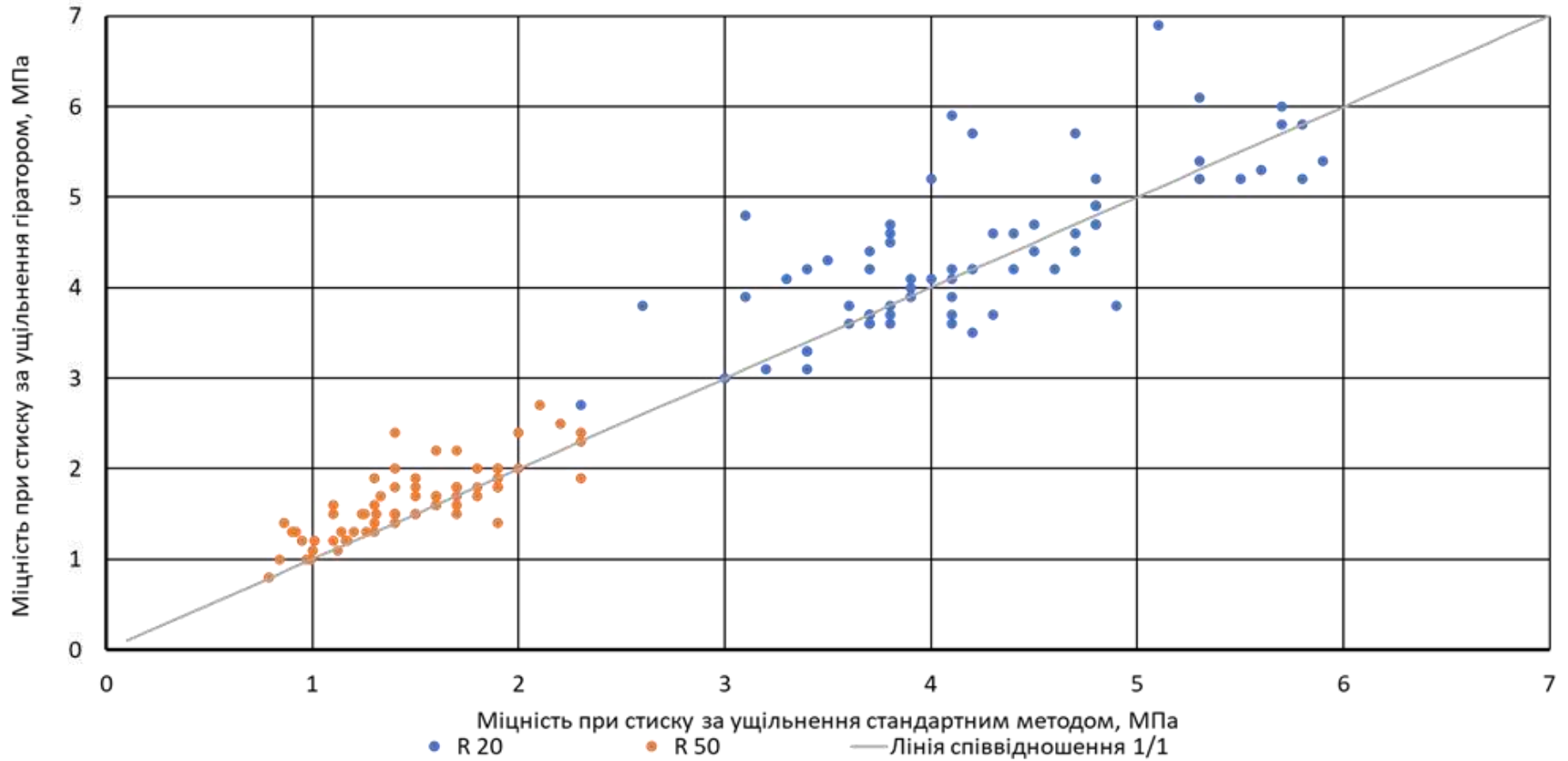


ПОРІВНЯННЯ ПОКАЗНИКІВ ЗАЛИШКОВОЇ ПОРИСТОСТІ ТА ВОДОНАСИЧЕННЯ ЗА РІЗНИХ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ

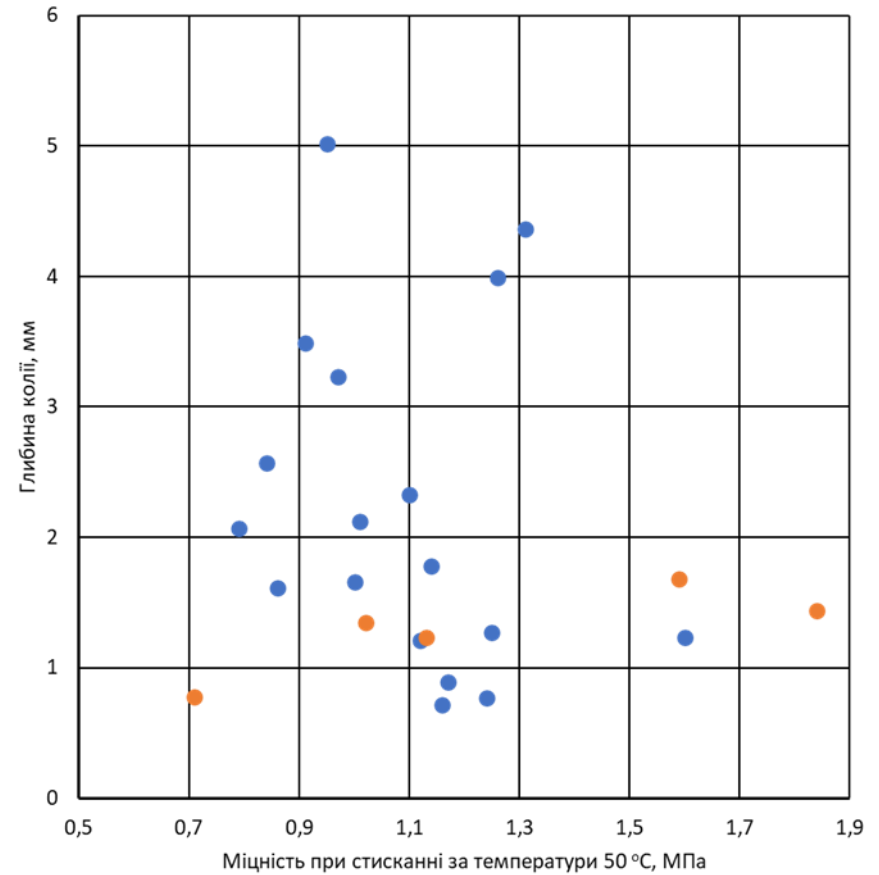
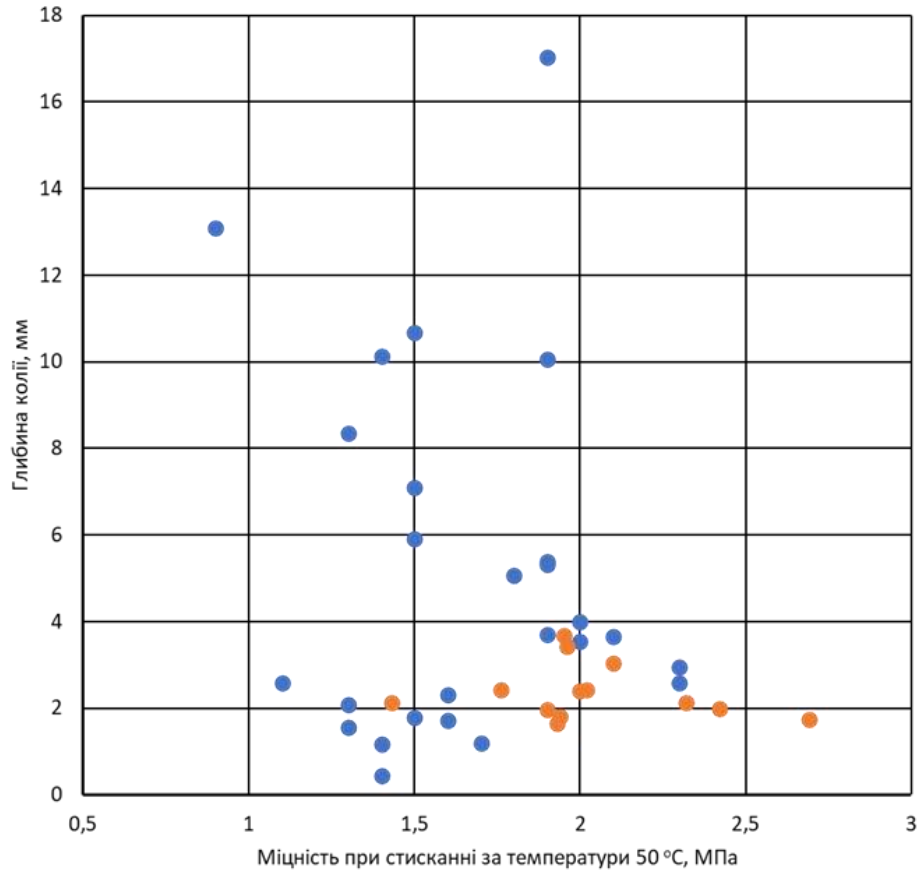


Вміст в'язучого за результатами визначення в лабораторії, %	Залишкова пористість, %			Вимоги нормативних документів України/ Supergrave	Водонасичення, %			Вимоги нормативних документів України
	при стандартному ущільненні	при ущільненні гіраторним ущільнювачем	при ущільненні в покритті		при стандартному ущільненні	при ущільненні гіраторним ущільнювачем	при ущільненні в покритті / K_u	
4,4	3,3	0,5	2,9	2-5/ 4 для гіраторного ущільнювача	2,5	0,39	2,3 / 1,00	не більше 3,5 (4,0) для зразків з покриття +1,5 %
4,5	3,3	0,9	1,3		2,6	0,42	0,6 / 1,02	
4,5	3,7	1	3,7		2,6	0,46	2,6 / 1,00	
4,4	4,7	1,58	5,8		2,2	0,89	3,8 / 0,99	
4,4	4,8	2	2,0		3,9	1,18	0,8 / 1,03	
4,3	3,8	1,5	4,6		2,7	0,68	3,0 / 0,99	
4,5	3,2	2	0,6		2,8	1,37	0,9 / 1,03	
4,5	4,8	2,5	1,5		4,5	2,10	1,1 / 1,03	
4,5	6,3	3,9	8,1		3,2	0,67	4,2 / 0,98	
4,5	5	3	2,1		3,2	1,57	1,3 / 1,03	
4,2	3,5	3,9	4,9		2,6	0,33	0,6 / 1,01	
4,5	4,5	2,1	-		3,8	1,65	-	
4,5	4,2	1,8	-		3,2	1,33	-	
4,5	4	2,4	3,2		2,3	0,47	1,2 / 1,01	
3,9	6	4,6	-		5,1	2,86	-	
4,5	4,5	1,4	-		3,5	1,15	-	

ПОРІВНЯННЯ ЗНАЧЕНЬ МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКАННІ АСФАЛЬТОБЕТОНІВ ЗА РІЗНИХ МЕТОДІВ УЩІЛЬНЕННЯ



ПОШУК ЗАЛЕЖНОСТІ МІЖ ПОКАЗНИКОМ МІЦНОСТІ ПРИ СТИСКАННІ ЗА ТЕМПЕРАТУРИ 50 °С ТА ПОКАЗНИКОМ ГЛИБИНИ КОЛІЇ



ВИСНОВКИ

За результатами аналізу результатів моніторингу, що виконаний на замовлення агентства автомобільних доріг України протягом 2020 та 2021 років можна зробити наступні висновки:

1. Стандартне ущільнення асфальтобетонів в лабораторних умовах методом пресування та комбінованим методом не дозволяє прогнозувати властивості асфальтобетонів шарах дорожнього одягу та призводить до хибної оцінки властивостей асфальтобетонів в лабораторних умовах.
2. Показник водонасичення недостатньо інформативний і може призвести до хибного трактування результатів випробувань, замість нього необхідно використовувати показник залишкової пористості, за яким опосередковано можна прогнозувати показник колієстікості. Слід зазначити необхідність контролювання показника залишкової пористості при прийманні робіт, тобто для зразків відібраних з шарів дорожніх одягів влаштованих з використанням асфальтобетонів.
3. Використання показника міцності при стисканні за температури 50 °C для прогнозування стійкості асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій є не об'єктивним. Для прогнозування стійкості асфальтобетонів до накопичення пластичних деформацій необхідно використовувати показник глибини колії після завданої кількості проходів колеса з завданним навантаженням та при завданій температурі.