

Міністерство освіти і науки України

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА  
ТА АРХІТЕКТУРИ

**КОРЮК ВОЛОДИМИР ПАВЛОВИЧ**

УДК 625.7/.8:624.01

**ОБҐРУНТУВАННЯ І РОЗРОБКА ЛАБОРАТОРНОГО  
МЕТОДУ УЩІЛЬНЕННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ  
СУМШЕЙ УКОЧУВАННЯМ**

05.23.05 – будівельні матеріали та вироби  
(192 – Будівництво та цивільна інженерія)

Автореферат дисертації  
на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті Міністерства освіти і науки України на кафедрі технології дорожньо-будівельних матеріалів і хімії імені М.І. Волкова.

**Науковий керівник:** доктор технічних наук, професор,  
заслужений діяч науки і техніки України  
**Золотарьов Віктор Олександрович**,  
Харківський національний автомобільно-  
дорожній університет, завідувач кафедри  
ТДБМіХ імені М.І. Волкова.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук  
**Онищенко Артур Миколайович**,  
Національний транспортний університет  
професор кафедри дорожньо-будівельних  
матеріалів і хімії, м. Київ;

кандидат технічних наук  
**Сідун Юрій Володимирович**,  
Національний університет «Львівська  
політехніка», асистент кафедри «Автомобільні  
дороги та мости»; ТОВ «Пролог ТД»,  
начальник вимірювальної лабораторії, м. Львів.

Захист відбудеться «1» листопада 2018 року о 12<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.056.04 Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: 61002, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету будівництва та архітектури за адресою: вул. Сумська, 40, м. Харків, 61002, та на сайті університету: <http://www.kstuca.kharkov.ua>

Автореферат розісланий «20» вересня 2018 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради, к. т. н., доцент

О.В. Доброходова

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Ущільнення асфальтобетонної суміші є однією з найбільш важливих технологічних операцій, яка забезпечує отримання асфальтобетону із заданими властивостями. Працездатність конструкцій дорожніх одягів безпосередньо залежить від якості та довговічності асфальтобетонного покриття, яке в процесі роботи піддається механічному, хімічному, фізичному, та їх спільному впливу. Неякісне ущільнення призводить до зниження довговічності асфальтобетонних покриттів, значних фінансових витрат на відновлення, утримання в належному експлуатаційному стані автомобільних доріг.

**Актуальність теми.** Експлуатаційні властивості асфальтобетонних покриттів закладаються на етапі лабораторного проектування складу асфальтобетонних сумішей і визначення властивостей асфальтобетонів. Надійність прогнозування цих властивостей залежить від того, наскільки лабораторні критерії та методи відповідають виробничим. Поряд з розрахунком складів асфальтобетонних сумішей важливим фактором якості асфальтобетону є лабораторне ущільнення. Його невідповідність виробничому відображується на реальній несучій здатності і довговічності асфальтобетонних покриттів. У зв'язку з цим актуальною є задача з вивчення процесів ущільнення асфальтобетонних сумішей в лабораторних умовах і розробка методів ущільнення, максимально наближених до виробничих.

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційні дослідження виконані відповідно до планів науково-дослідних робіт кафедри технології дорожньо-будівельних матеріалів ХНАДУ і тематичними планами науково-дослідних робіт Державного агентства автомобільних доріг України:

– тема 92/38-12-11 «Розробка СОУ на метод визначення мінімально допустимих температур ущільнення асфальтобетонних сумішей» (№ державної реєстрації 0111U005506).

– тема № 1/38-28-13 ««Розробка ДСТУ «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань»» (№ державної реєстрації 0111U009693).

**Мета і задачі дослідження:** теоретично обґрунтувати та експериментально встановити закономірності формування показників фізико-механічних властивостей асфальтобетону в процесі лабораторного ущільнення, ідентичних тим, що відповідають умовам виробничого ущільнення;

– виконати аналіз існуючих літературних джерел, що стосуються впливу лабораторного і виробничого ущільнення на показники фізико-механічних властивостей асфальтобетонів і довговічність покриттів з них;

– обґрунтувати доцільність використання методу лабораторного укочування асфальтобетонних сумішей та встановити температурні, швидкісні і вантажонапружені режими його виконання;

– порівняти показники фізико-механічних властивостей асфальтобетонів, отриманих шляхом ущільнення стандартним пресуванням і укочуванням секторним пресом;

– вивчити вплив вмісту та консистенції в'язучого на ущільнювальність і властивості різних за структурою і складом асфальтобетонів при прийнятих режимах ущільнення пресуванням і укочуванням;

– встановити взаємозв'язок між технологічними швидкостями та якістю ущільнення;

– розробити метод лабораторного укочування асфальтобетонних сумішей і використати його для встановлення мінімально допустимих температур ущільнення;

– порівняти значення коефіцієнтів ущільнення асфальтобетонів по співвідношенню щільності асфальтобетону з покриття і переформованого лабораторним укочуванням та пресуванням.

*Об'єкт дослідження* – процес ущільнення асфальтобетонних сумішей та формування структури асфальтобетону при різних схемах ущільнення.

*Предмет дослідження* – ущільнення асфальтобетонних сумішей пресуванням та укочуванням.

**Методи дослідження.** Для отримання показників фізико-механічних властивостей асфальтобетонів в лабораторних умовах, які мають відповідати виробничому ущільненню, використані стандартні методи оцінки якості ущільнення асфальтобетонних сумішей. Для здійснення поглиблених досліджень використані розроблені на кафедрі ТДБМіХ ХНАДУ методи і прилади для визначення: дробимості кам'яного матеріалу; площі контакту котка з шаром, що ущільнюється; кінетики усадки асфальтобетонних сумішей при ущільненні. В якості ущільнюючого засобу використано модернізований на кафедрі ТДБМіХ ХНАДУ секторний прес НТУ – «Дор'якість».

#### **Наукова новизна отриманих результатів.**

*Вперше:*

– встановлено закономірності формування структури і властивостей асфальтобетонів в процесі лабораторного укочування асфальтобетонних сумішей;

– відтворено ступеневе збільшення навантажень в процесі укочування і показана стадійність (інтенсивний ріст і стабілізація) ущільнення;

– доведена можливість усунення зміни складу (дробимості) асфальтобетонних сумішей в процесі їх ущільнення укочуванням;

– вивчено вплив лінійного тиску, ущільнюючого навантаження та температури ущільнення на властивості асфальтобетонів з сумішей різних складів;

– встановлено, що кожному лінійному тиску секторного пресу відповідають зони стабілізації, які обумовлені зростанням опору асфальтобетонної суміші до рівня зовнішнього тиску;

– встановлено, що кожному типу асфальтобетонної суміші відповідає притаманний йому режим ущільнення, що забезпечує рівень мінімального водонасичення і максимальної міцності при стиску. Показана доцільність ступеневого збільшення навантаження при ущільненні асфальтобетону секторним пресом, що відповідає виробничому ущільненню суміші;

- показано вплив швидкості ущільнення асфальтобетонних сумішей на показники фізико-механічних властивостей асфальтобетону;
- виявлено різницю оптимального вмісту в'язучого в асфальтобетонах, визначеного при пресуванні і укочуванні зразків.

*Отримали подальший розвиток:*

- теоретичні передумови ущільнення асфальтобетонних сумішей з врахуванням впливу мінерального остову та в'язкості бітумного в'язучого, які були підтверджені отриманими експериментальними результатами;
- уявлення про переміщення зерен щебеню та усадку шару суміші при ступеневому режимі укочування асфальтобетонного шару на секторному пресі.

Обґрунтованість і достовірність забезпечена: використанням сучасних методів дослідження фізико-механічних властивостей; статистичною обробкою отриманих результатів; використанням електронної тензометрії та комп'ютерних технологій вимірювання; співставленням показників якості асфальтобетонів, ущільнених в лабораторії та на виробництві.

**Практичне значення отриманих результатів** полягає у розробці методу лабораторного ущільнення, що моделює технологію ущільнення асфальтобетонного шару гладковальцовими котками. Показано можливість регулювання ущільнення зміною ущільнюючих лінійних тисків, швидкістю укочування і температури, зміною консистенції бітуму і його вмісту в суміші, застосуванням енергозберігаючих добавок. Розроблено метод встановлення мінімально допустимих температур ущільнення асфальтобетонних сумішей, який покладено в основу СОУ 42.1-37641918-092:2014 «Суміші асфальтобетонні. Метод визначення мінімально допустимих температур ущільнення». Метод ущільнення секторним пресом включено до стандарту ДСТУ Б В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні и асфальтобетон дорожній та аеродромні. Методи випробувань». Практична користь матеріалів дисертаційних досліджень підтверджена сертифікаційними випробуваннями вирубок, отриманих з покриттів автомобільних доріг у м. Харкові.

**Особистий внесок здобувача:**

- теоретичне передбачення механізму ущільнення і схеми ступеневого збільшення навантаження по аналогії з ущільненням асфальтобетонних сумішей в виробничих умовах;
- визначення переваг укочування в порівнянні з пресуванням асфальтобетонних сумішей тиском за дробильністю і оптимальним вмістом в'язучого;
- встановлення закономірностей впливу швидкості укочування на якість ущільнення;
- встановлення режимів і температур ущільнення укочуванням сумішей з енергозберігаючими добавками, полімером типу СБС і поверхнево-активних речовин (ПАР);
- участь у розробці методу ущільнення секторним пресом, включеного в СОУ 42.1-37641918-092:2014 «Суміші асфальтобетонні. Метод визначення мінімально допустимих температур ущільнення» та ДСТУ Б В.2.7-319:2016

«Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромні. Методи випробувань».

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наступних конференціях і семінарах: Міжнародна науково-практична конференція «Модифіковані бітуми і асфальтобетони на їх основі» м. Харків, ХНАДУ, 2011 р.; Международная научно-практическая конференция «Ассоциация исследователей асфальтобетона» г. Москва, 2012 г.; Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні технології будівництва та експлуатації автомобільних доріг» м. Харків, ХНАДУ, 2013 р.; Международная научно-практическая конференция «Ежегодная XXVI научная сессия «Ассоциация исследователей асфальтобетона»» г. Москва, 2014 г.; Международная научно-практическая конференция «Ежегодная XXVI научная сессия «Ассоциация исследователей асфальтобетона»» г. Москва, 2015 г.; науково-технічних і науково-методичних конференціях викладачів і співробітників ХНАДУ – 76-й у 2013 р.; 77-й у 2014 р.; 78-й у 2015 р.; 79-й у 2016 р.; 80-а Міжнародна науково-практична конференція «Бітумні в'язучі та асфальтобетони: досягнення і проблеми» м. Харків, ХНАДУ, 2017 р.

**Публікації.** Основний зміст дисертаційної роботи викладено у 12-ти друкованих працях, з них 5 статей у фахових виданнях, рекомендованих МОН України, з яких 4 статті у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз (Scholar Google); 7 публікацій апробаційного характеру з них: 1 стаття в збірнику матеріали науково-технічної конференції; 1 патент України на корисну модель; 1 підрозділ в галузевому (СОУ), 1 метод в державному стандарті України (ДСТУ), що додатково відображають зміст дисертаційної роботи.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел із 174 найменувань та 4 додатків на 30 сторінках. Повний обсяг дисертації становить 215 сторінок, містить 69 рисунків, 13 таблиць, 10 формул.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**У вступі** обґрунтовано актуальність роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів.

**У першому розділі** викладено аналіз наукових публікацій і праць, які присвячені вивченню лабораторних та виробничих методів ущільнення асфальтобетонних сумішей.

Лабораторні методи ущільнення створюються з ціллю прогнозування фізико-механічних властивостей матеріалу, ущільненого в покритті. На різних етапах розвитку технології асфальтобетонів були зроблені спроби створення способів і механізмів для ущільнення асфальтобетонних суміші в лабораторії, з метою отримання асфальтобетону еквівалентного виробничому. Лабораторні

методи хронологічно розвивалися від пресування, ударно-вібраційної та обертово-стискаючої дії до ущільнення металевими та пневматичними вальцями котків. Вибір методів ущільнення передбачає максимальне наближення лабораторного ущільнення до виробничого.

У другому розділі викладено теоретичні уявлення про процеси структуроутворення при ущільненні асфальтобетонних сумішей з врахуванням впливу вмісту та якості бітумного в'язучого, гранулометричного складу, тиску, швидкості і температури ущільнення асфальтобетонних сумішей.

Суттю процесу ущільнення є забезпечення максимально компактного розташування в дорожньому шарі поліфракційних зерен, покритих бітумною плівкою. До початку ущільнення міжзернова плівка має велику товщину, відповідно бітум на великій відстані від поверхні кам'яних матеріалів знаходиться в об'ємному стані, а кам'яні зерна зберігають значну рухливість. У процесі ущільнення крупні зерна мають переміщатися в менш щільний простір, або огинати близькі за розміром зерна, чи сколювати та роздрібнювати їх (рис. 1). При цьому бітум витискається в міжзерновий простір настільки, що в контактних зонах він стає структурованим.

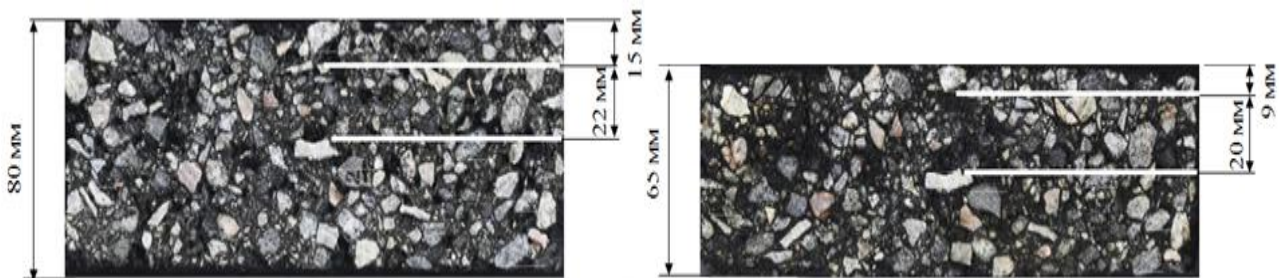


Рис. 1. Взаємне розташування зерен кам'яних матеріалів в асфальтобетонній суміші до ущільнення (ліво) і після ущільнення (право)

По мірі стоншення шару, зближення зерен і підвищення щільності асфальтобетонної суміші її опір подальшому ущільненню зростає, досягаючи рівня напруження, що виникає в асфальтобетонному шарі під дією ущільнювача. Відповідно умова ущільнення відображається рівнянням:

$$\sigma_{\text{ущ}} \geq \sigma_3 + \sigma_6, \quad (1)$$

де  $\sigma_{\text{ущ}}$  – ущільнюючий тиск;  $\sigma_3$  – опір переміщенню зерен;  $\sigma_6$  – опір бітуму видавлюванню.

Опір зерен переміщенню у першому наближенні може бути враховано рівнянням Кулона, що використовується для опису процесу ущільнення ґрунтів і зсувостійкості асфальтобетонів:

$$\sigma_c = D \cdot \text{tg}\varphi + C, \quad (2)$$

де  $\varphi$  – кут тертя в асфальтобетонній суміші;  $P$  – ущільнюючий тиск;  $C$  – зчеплюванність зерен.

Опір шарів бітуму видавлюванню в першому наближенні може бути враховано формулою Ньютона:

$$\sigma_6 = \eta \cdot \dot{\epsilon}, \quad (3)$$

де  $\eta$  – в'язкість бітуму;  $\dot{\epsilon}$  – швидкість видавлювання бітуму з зазорів між мінеральними зернами

В результаті загальна умова ущільнення може бути представлено сумою опорів:

$$\sigma_{\text{ущ}} = \eta \cdot \dot{\epsilon} + P \cdot \text{tg}\varphi + C. \quad (4)$$

Якщо ущільнюючий тиск буде менше або дорівнювати сумі опорів, набутих асфальтобетонною сумішшю при укоченні, то подальше ущільнення не відбувається. Для продовження ущільнення і збереження умови рівняння (4) необхідно збільшити ущільнюючий тиск за рахунок збільшення вертикального навантаження по аналогії з виробничим ущільненням легкими, середніми і важкими котками. Ущільнення можна покращити за рахунок зменшення в'язкості в'язучого, зменшення розміру мінеральних зерен та шорсткості їх поверхні, зниження швидкості навантаження на деформування, підвищення температури.

**У третьому розділі** описано об'єкти, методи, прилади та матеріали, використанні у дослідженнях. В якості в'язучих прийняті бітуми марок: БНД 40/60, БНД 60/90, і БНД 90/130; БМП з 6 % мас. полімеру типу СБС (Kraton D-1101); БМП з добавкою 0,5 % мас. ПАР (Wetfix BE і Cecabase RT<sup>975</sup>); бітуми з вмістом енергозберігаючих добавок (SASOBIT і REDISSET WMX). Для дослідження були прийняті різні типи асфальтобетонів: «А»; «Б»; «В» і «Г» (згідно ДСТУ Б В.2.7-119:2011 «Суміші асфальтобетонні и асфальтобетон дорожній та аеродромні. Методи випробувань») і асфальтополімербетони, відповідно до СОУ 45.2-00018112-057:2010 «Будівельні матеріали. Асфальтобетонні суміші та асфальтобетон на основі модифікованих полімерами бітумів» складені з гранітного щебеню, відсіву дроблення і вапнякового мінерального порошку. Для визначення властивостей бітумів і БМП використовували методи випробування, передбачені ДСТУ 4044:2001 «Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови» і ДСТУ Б В.2.7-135:2014 «Бітуми дорожні, модифіковані полімерами. Технічні умови». Визначення основних фізико-механічних властивостей асфальто- і асфальтополімербетонів виконували за методам, викладеними в ДСТУ Б В.2.7-319:2016 «Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва».

В роботі було використано метод ущільнення асфальтобетонних сумішей за стандартною методикою – (пресування під тиском 30 та 40 МПа), та укочуванням суміші на модернізованому секторному пресі НТУ – Дор'якість (рис. 2).

Ущільнення секторним пресом здійснювали наступним чином. На дно нагрітої і змащеної маслом форми (розміром 230 × 160 × 80 мм) укладали паперову прокладку, щоб уникнути прилипання до неї зразка-плити. Зважену на вагах суміш укладали в форму двома шарами. Перший, укладали до половини висоти форми від кутів до центру та штикували нагрітим шпателем



або спеціальною штирковою. Другий – засипали до країв форми і розгладжували нагрітою кельмою. Температура суміші при укладанні приймалась на 3–5 °С вище температури ущільнення. Час завантаження форми сумішшю не перевищував 3 хвилини.

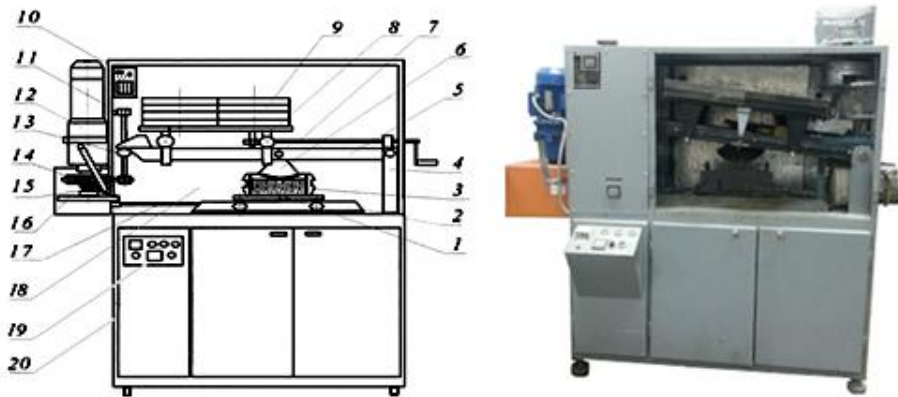


Рис. 2. Конструкція модернізованого секторного пресу (НТУ – Дор'якість): 1 – рухомий візок під форму; 2 – напрямні; 3 – форма; 4 – кронштейн; 5 – балка; 6 – сектор; 7 – гвинтова передача пересувного візка навантаження; 8 – пересувний візок навантаження; 9 – вантаж; 10 – регулятор швидкості; 11 – гвинтова передача підйому / опускання балки; 12 – двигун-редуктор; 13 – гайка; 14 – маховик гвинтової передачі підйому / опускання балки; 15 – муфта зчеплення; 16 – головний маховик; 17 – тяга; 18 – робоча камера секторного преса; 19 – панель управління; 20 – шафа секторного преса

Форму з сумішшю встановлювали в шафу секторного преса (20) на рухомий візок (1) (рис. 2). Змащений маслом, сектор (6) із заздалегідь встановленою масою, що складається з маси пересувного візка навантаження (8) і вантажу (9), за допомоги гвинтової передачі підйому / опускання балки (11) розміщували на суміші посередині форми (3). Загальну масу навантаження регулювали відповідно до необхідного лінійного тиску. За допомогою панелі управління задавали число проходів та швидкість пересування візку (1). Ущільнюючу дію сектора визначали по відношенню маси до ширини сектору. В процесі випробувань було використано три рівня лінійного тиску: 2,8 кгс/см; 8,4 кгс/см; 14,0 кгс/см. Суміш укочували зі швидкістю 0,35 км/год, 1,0 км/год та 1,75 км/год. Температури ущільнення змінювались в межах від 100 до 180 °С.

Після заданої кількості проходів форму з ущільненим зразком виймали з шафи і витримували при кімнатній температурі до повного її охолодження. Вилучення плити з форми здійснювали не раніше ніж 15 годин. Після цього асфальтобетонну плиту розпилювали на зразки-куби розміром 50 × 50 × 50 мм.

Була визначена однорідність розподілу фізико-механічних властивостей по поверхні плити. Найменший розкид щільності і водонасичення відповідає зразкам, що їх було вирізано ближче до центру плити. Враховуючи це, плити обрізали по периметру, потім розрізали на 9 зразків-кубів. Тим самим, досягалось

однорідність показників фізико-механічних властивостей. Середньоквадратичне значення показників водонасичення 9 зразків дорівнювало  $v_9 = \pm 0,12 \%$ , що в п'ять разів менше значення, отриманого при дослідженні 12 зразків, коли розпилювали всю плиту –  $v_{12} = \pm 0,59 \%$ .

У четвертому розділі показано, що при ущільненні асфальтобетонної суміші секторним пресом існують стадії (Р) наростаючого активного ущільнення і стабілізації (С) режиму ущільнення, що відповідають кожному рівню лінійного тиску (рис. 3).

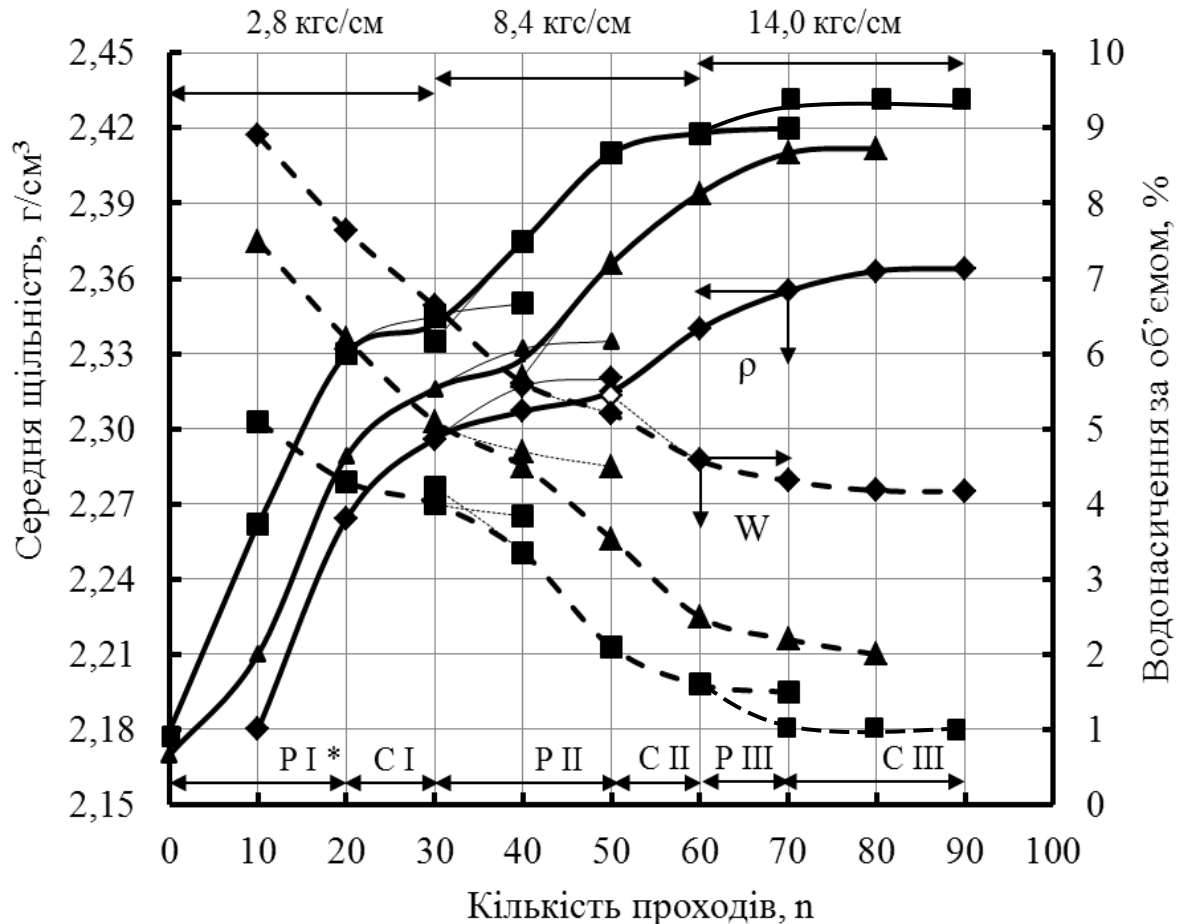


Рис. 3. Вплив кількості проходів сектора на щільність і водонасичення асфальтобетону типу «А», з вмістом бітуму:  $\blacklozenge$  – 4,0 %;  $\blacktriangle$  – 4,5 %;  $\blacksquare$  – 5,0 %. Стадійне ущільнення лінійним тиском: 2,8 кгс/см, 8,4 кгс/см, 14,0 кгс/см

Результати випробувань (рис. 3) свідчать про те, що найбільше зростання щільності і зниження водонасичення відповідає малому тиску. При середньому тиску приріст щільності становить  $0,08 \text{ г/см}^3$ , а зниження водонасичення – 2,3 %. При підвищеному тиску спостерігається дуже слабкий приріст щільності і зниження водонасичення. Отже, кожному тиску відповідає рівноважний рівень опору ущільнюваного шару, вище якого, подальше ущільнення прийнятим тиском недоцільно.

Високий вміст в'язучого сприяє кращому ущільненню суміші і підвищенню щільності асфальтобетону за меншу кількість проходів. Для досягнення однакового рівня водонасичення асфальтобетону з меншим вмістом

бітуму в суміші її необхідно ущільнювати більшою кількістю проходів. Так, стабілізація щільності асфальтобетону типу «А» з вмістом бітуму 5,0 % настає після 20 проходів сектора під тиском 2,8 кгс/см, а з вмістом бітуму 4,5 % і 4,0 % відповідно після 30 і 40 проходів (рис. 3).

Залежності ступеня ущільнення від вмісту бітуму в суміші типу «Б» при переході від лінійного тиску 2,8 кгс/см до 8,4 кгс/см (розділені вертикальною лінією) наведені на рис. 4.

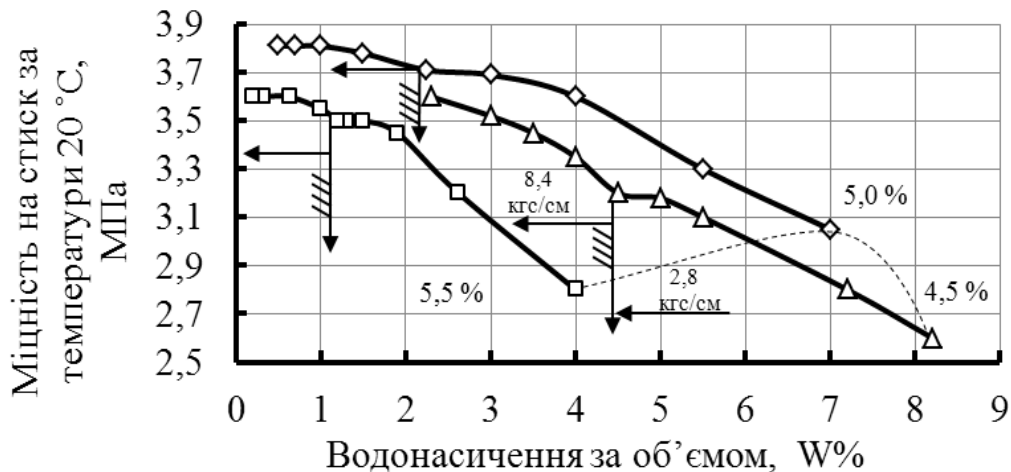


Рис. 4. Взаємозв'язок між міцністю і водонасиченням при ущільненні асфальтобетонів з вмістом бітуму: □ – 5,5 %; ◇ – 5,0 %; △ – 4,5 %, лінійним тиском 2,8 кгс/см і 8,4 кгс/см (відповідно праворуч і ліворуч від розділових ліній)

Вони, кількісно показують, що, чим вищий вміст бітуму, тим більший ефект від ущільнення, але при цьому високий вміст бітуму зменшує показник міцності на стиск. При вмісті бітуму 5,5 % спостерігається практично повне ущільнення, що відповідає тиску 2,8 кгс/см. При цьому міцність і водонасичення дорівнюють 3,5 МПа і 1,3 %. При вмісті бітуму 5,0 % на першому етапі ущільнення досягається міцність 3,7 МПа і водонасичення 2,5 %, при вмісті бітуму 4,5 % показники цих властивостей відповідають міцності 3,2 МПа і водонасиченню 4,5 %. У той же час міцність асфальтобетону з вмістом бітуму 5,0 % при різних рівнях водонасичення вище, ніж в двох інших випадках. Таким чином, співвідношення між тривалістю ущільнення легкими і більш важкими навантаженнями повинні узгоджуватися з вмістом бітуму в сумішах.

Щодо оптимального вмісту бітуму в асфальтобетоні, то для досягнення рівної щільності при укоченні зі швидкістю 0,35 км/год необхідно на 10 проходів менше ніж при укочуванні зі швидкістю 1,75 км/год. Існує залежність, яка, полягає в тому що чим вище в'язкість бітуму (нижче penetрація), тим він більший. При цьому, зазвичай, нижче водонасичення. Випробування асфальтобетонів типу «Б» на бітумах різної в'язкості ущільнених секторним пресом при режимі 25 проходів лінійним тиском 2,8 кгс/см і 25 проходів – 8,4 кгс/см, показують, що зі зменшенням penetрації від  $117 \times 0,1$  мм до  $71 \times 0,1$  мм і потім до  $56 \times 0,1$  мм оптимальний вміст бітуму

відповідно збільшується від 4,75 % до 5,0 % і потім до 5,25 %, при цьому водонасичення падає від 1,5 % до 0,5 %.

Однією з причин цього є більший ступінь структурування більш в'язких бітумів, тобто зростання товщини їх структурованих шарів. До цього можна додати, що масла малов'язких бітумів дифундують в тіло кам'яного матеріалу, зменшуючи обсяг бітуму в міжзерновому просторі.

З дослідів аналогічно проведеним вище (рис. 3) витікає, що при стадійному режимі ущільнення лінійним тиском 2,8 кгс/см та 8,4 кгс/см кожному типу асфальтобетону відповідає оптимальний вміст в'язучого («А» – 4,5 %; «Б» – 5,0 %; «В» – 5,5 %; «Г» – 7,0 %) за умови відповідності показників зразків, що лежать в межах норм ДСТУ, при їх максимальній міцності (рис. 4).

За комплексом отриманих характеристик оптимальні показники фізико-механічних властивостей для асфальтобетону типу «А» досягаються при вмісті бітуму 4,5 % за 30 проходів секторного преса з лінійним тиском 2,8 кгс/см і 40 проходів лінійним тиском 8,4 кгс/см. В той час як для типу «Б» достатньо 25 проходів лінійним тиском 2,8 кгс/см і 25 проходів лінійним тиском 8,4 кгс/см. Це свідчить про більшу жорсткість асфальтобетонної суміші типу «А» порівняно з типом «Б», що може бути пов'язано зі зміною характеру контакту зерен щебеню в цих асфальтобетонах. В той же час для ущільнення піщаного асфальтобетону типу «Г» потрібно 35–40 проходів лінійним тиском 2,8 кгс/см і стільки ж проходів тиском 8,4 кгс/см, що може бути обумовлено наявністю в ньому значної кількості асфальтов'язучої речовини з високим співвідношенням П/Б та значної площі питомої поверхні: «А» – 13,1 м<sup>2</sup>/кг і «Г» – 19,4 м<sup>2</sup>/кг за методом І. В. Корольова.

У процесі ущільнення зерна мінеральної частини асфальтобетонної суміші зближуються, що супроводжується зменшенням товщини шару (рис. 5). На зміну товщини шару впливає величина навантаження та час дії навантаження, які зі збільшенням опору суміші необхідно збільшувати для продовження стоншення шару, що узгоджується з умовою (4). Цьому відповідає зростання і стабілізація усадки асфальтобетонних сумішей з різним гранулометричним складом в процесі їх ущільнення подібно тому, як це показано на (рис. 3).

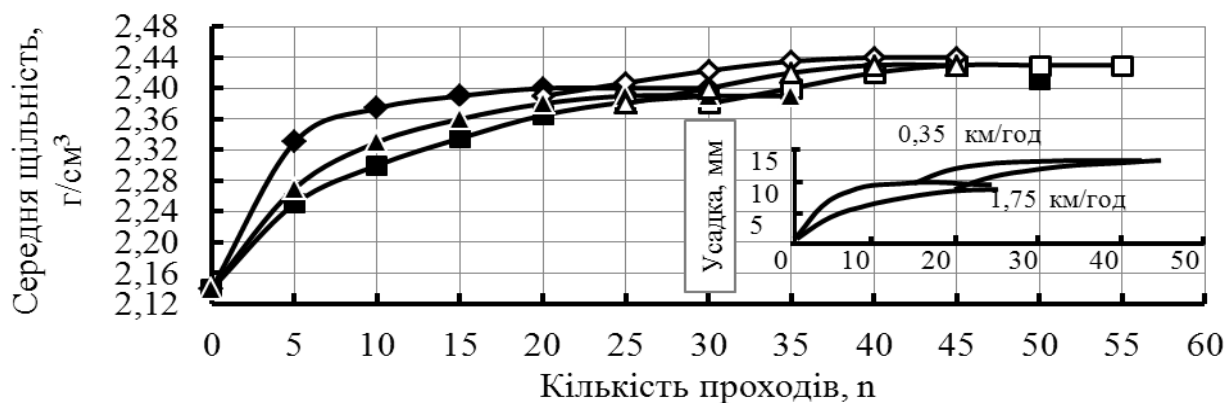


Рис. 5. Залежність показників середньої щільності (усадки) асфальтобетону типу «Б» від параметрів ущільнення: швидкість –  $\blacklozenge$ ,  $\diamond$  – 0,35 км/год;  $\blacktriangle$  – 1,00 км/год;  $\blacksquare$ ,  $\square$  – 1,75 км/год; лінійний тиск –  $\blacklozenge$ ,  $\blacktriangle$ ,  $\blacksquare$  – 2,8 кгс/см;  $\diamond$ ,  $\triangle$ ,  $\square$  – 8,4 кгс/см

Тому швидкість укочення має значний вплив на формування властивостей асфальтобетону. Згідно з експерименту (рис. 5), рівна щільність отримана при, укоченні зі швидкістю 0,35 км/год, може бути на 10–15 проходів менше, ніж при укоченні швидкістю 1,75 км/год при легкому тиску, і на 5–10 проходів менше на другій стадії ущільнення тиском 8,4 кгс/см.

В той же час, щільність, досягнута за 25 секунд ущільнення зі швидкістю 1,75 км/год більша за щільність досягнуту при ущільненні зі швидкістю укочення 0,35 км/год. При цьому, кількість проходів сектора по суміші зі швидкістю 1,75 км/год складає 25, в той час як при швидкості 0,35 км/год – 5. Відповідно, чим більше проходів здійснить сектор при максимально високій температурі суміші, тим щільність зразків буде вище. Отже, для досягнення значного ефекту ущільнення при малій швидкості необхідно значно збільшити час ущільнення, що може бути не прийнятним у виробничому процесі в зв'язку зі збільшення в'язкості при остиганні суміші.

Ущільнюваність асфальтобетонної суміші можна регулювати шляхом підвищення або зменшення її температури (рис. 6).

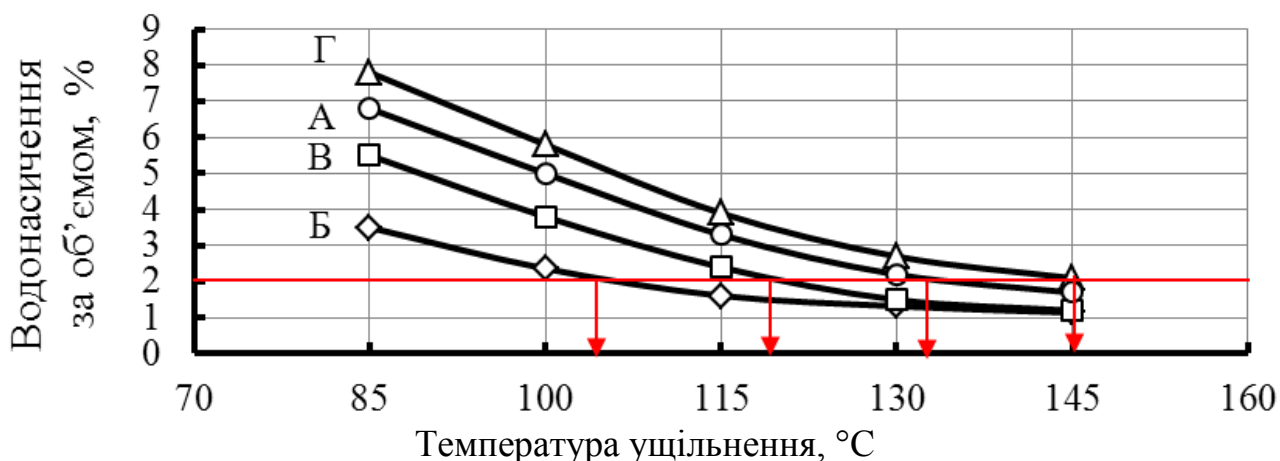


Рис. 6. Залежність водонасичення від температури ущільнення для асфальтобетонних сумішей типу:  $\triangle$  – Г (піщаний);  $\circ$  – А (50 % щебеню);  $\square$  – В (30 % щебеню);  $\diamond$  – Б (40 % щебеню)

При цьому температура досягнення однакового рівня ущільнення залежить від типу суміші. Це, як підкреслювалось вище, може бути пов'язано зі ступенем структурованості бітуму в них і відповідно різним опором ущільненню згідно (4). Так, для забезпечення заданого рівня водонасичення (2 %), суміш типу «Г» необхідно ущільнювати при температурі не нижче 145 °C, тип «В» – 135 °C, тип «А» – 120 °C і «Б» – 105 °C (рис. 6).

У зв'язку з недостатньо високими показниками фізико-механічних властивостей асфальтобетону, виготовленому на чистому бітумі, все більшого розповсюдження набувають модифіковані бітуми. Найбільше розповсюдження отримали бітумополімерні в'язучі. Введення в бітум полімеру в кількості 6 % мас. знижує ущільнюваність суміші (рис. 7) з причини підвищення еквів'язкої температури.

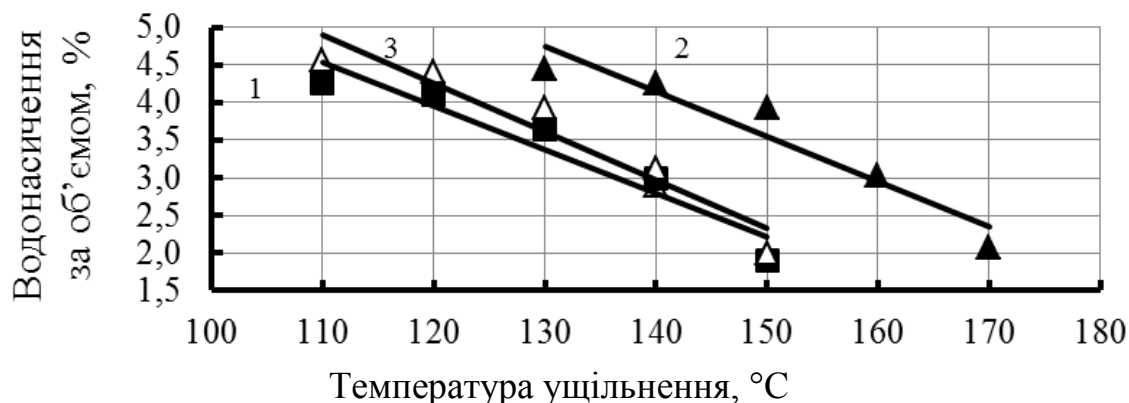


Рис. 7. Залежність водонасичення асфальто- та асфальтополімербетону: ■ (1) – БНД 60/90 – 5,0 %; ▲ (2) – БНД 60/90 + 6 % СБС – 5,0 %; △ (3) – БНД 60/90 + 6 % СБС + 0,5 ПАР – 5,0 % від температури ущільнення секторних пресом

Необхідність ущільнення асфальтополімербетонних сумішей при дуже високих температурах, що впливає з підвищення в'язкості бітуму при введенні в бітум полімеру є одним з головних недоліків цієї технології. Порівняно з асфальтобетонною сумішшю асфальтополімербетонні суміші треба ущільнювати за температури на 20 °C вищій. Усунути цей недолік можна завдяки використанню ПАР в БМП. При введенні ПАР температуру ущільнення можна знизити до температури ущільнення сумішей на вихідному бітумі (на 15–20 °C). При одночасному використанні БМП та ПАР збільшується коефіцієнт довготривалої водостійкості від 0,90 – у випадку з чистим бітумом до 0,98 при додаванні СБС і до 1,0 при використанні добавок БМП з ПАР. Ці результати погоджуються з отриманим раніше в дослідженнях С.В. Нурієвої та С.В. Єфремова.

Друга тенденція полягає в використанні асфальтобетонів з енергозберігаючими добавками (рис. 8), суть дії яких полягає в зниженні в'язкості в діапазоні технологічних температур і зниженні в'язкісної складової в рівнянні Кулона (4). Безпосередню перевірку технологічного ефекту здійснювали з використанням суміші типу «Б», що містила 5,0 % мас. бітуму БНД 60/90 з penetрацією  $71 \times 0,1$  мм, а також цього ж бітуму з добавками: 0,4 % мас. Sescabase RT<sup>975</sup>; 3 % мас. REDISSET WMX і 3 % мас. SASOBIT. Добавка Sescabase RT<sup>975</sup> не суттєво змінила penetрацію бітуму ( $P_{25} = 69 \times 0,1$  мм), REDISSET WMX знизила penetрацію до  $56 \times 0,1$  мм, а SASOBIT до  $47 \times 0,1$  мм. Діапазон температур ущільнення складав 85–145 °C (рис. 8). Була використана ступенева схема ущільнення: 25 проходів з тиском 2,8 кгс/см і 25 проходів з тиском 8,4 кгс/см.

За представленими на рис. 8 температурними залежностями водонасичення від температури ущільнення витікає, що в разі встановлення межі водонасичення рівній 2,0 % використання SASOBIT дозволяє знизити температуру ущільнення в порівнянні з температурою ущільнення суміші на чистому бітумі на 7 °C, з Sescabase RT<sup>975</sup> на 13 °C, з REDISSET WMX на 22 °C.

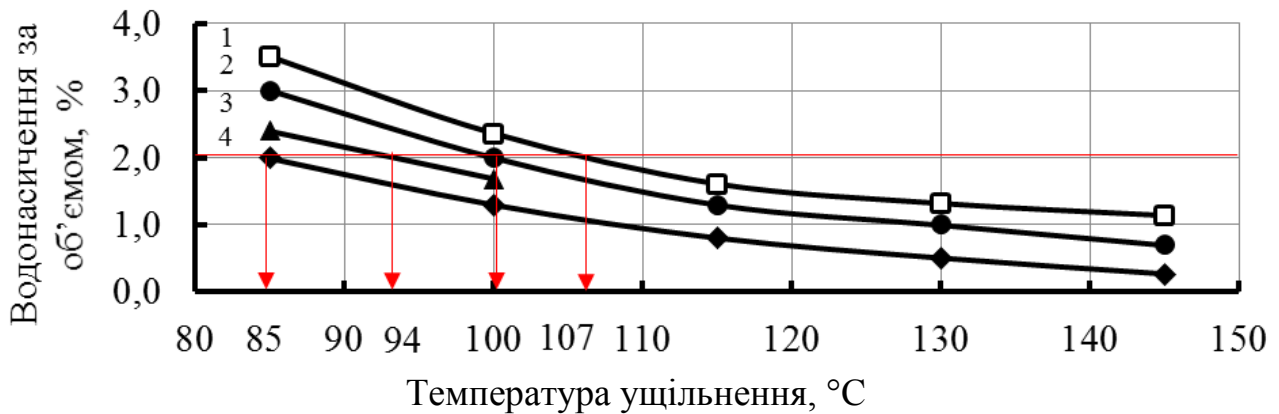


Рис. 8. Вплив енергозберігаючих добавок: (1) □ – БНД 60/90 – 5,0 %; (2) ● – БНД 60/90 + SASOBIT – 3 % – 5,0 %; (3) ▲ – БНД 60/90 + Cецabase RT<sup>975</sup> – 0,4 % – 5,0 %; (4) ◆ – БНД 60/90 + REDISSET WMX – 3 % – 5,0 % і температури ущільнення на водонасичення асфальтобетону типу «Б»

В процесі роботи здійснено порівняння лабораторних методів ущільнення асфальтобетонних сумішей укочуванням і пресуванням. В результаті дослідження дробильності мінеральної частини асфальтобетонної суміші типу «А» при ущільненні її секторним пресом було встановлено, що після 10 перших проходів максимальним навантаженням 14,0 кгс/см спостерігається втрата маси щебеню фракції 5–20 мм на 6,2 %. Збільшення проходів, при максимальному ущільнюючому тиску, сприяє зниженню маси фракції 5–20 мм до 40-го проходу до 12 % з подальшим виходом на плато. Зниження навантаження на сектор від 14 до 4,2 кгс/см знижує значення дробильності від 6,2 % до 1,0 %. З введенням в мінеральну суміш бітуму в кількості 4,5 % при 3-х стадійному режимі ущільнення лінійним тиском 2,8 кгс/см, 8,4 кгс/см та 14,0 кгс/см дробильність зерен фракції 5–20 дорівнює 2,8 %. Звідси, впливає, що ущільнення необхідно починати відносно малим тиском і поступово збільшувати його зі збільшенням щільності суміші. У той же час, ущільнення тієї ж суміші (без додавання бітуму) тиском 30 МПа протягом 3 хвилин, призводить до втрати 29 % фракції 5–20 мм. При введенні в'язучого в суміш дробильність в циліндрі знижується до 20 %.

Порівняння ущільнення асфальтобетонних сумішей тиском і укочуванням свідчить про те, що дробильність, отримана в результаті укочування сухої суміші в 2,4 рази менше дробильності отриманої при пресуванні мінеральної частини (12,2 % проти 29,0 %). А при додаванні бітуму ця різниця становить 20 % проти 2,8 %. Це можна пояснити малою рухливістю зерен при ущільненні пресуванням асфальтобетонної суміші. У випадку ущільнення укочуванням одночасно з вертикальним мають місце горизонтальні переміщення зерен, які в 12–14 разів менше ніж вертикальні (відповідно 8,4 мм і 0,8 мм)

Крім того різниця в укочуванні і пресуванні зразків призводить до зміни вмісту оптимальної кількості бітуму при ущільненні суміші одного і того ж гранулометричного складу асфальтобетону (рис. 9).



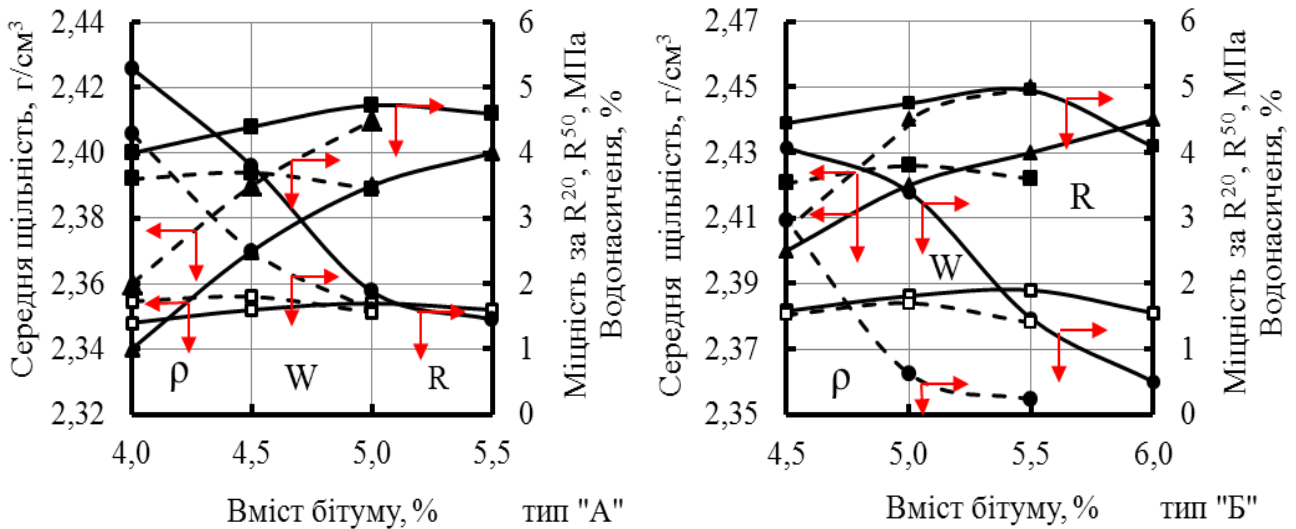


Рис. 9. Фізико-механічні властивості асфальтобетону типу «А» і «Б» ущільненого секторним (-----) і гідралічним (—) пресом: ▲ – щільність; ● – водонасичення; ■ і □ – міцність на стиск за 20 °С і 50 °С

Характерною особливістю є те, що зміна оптимального вмісту бітуму притаманна сумішам з високим вмістом щебеню. Що стосується малощебених і піщаних сумішей, зміна вмісту оптимальної кількості бітуму при ущільненні укочуванням і пресуванням для них практично не спостерігається. У випадку асфальтобетону типу «А» ущільненого пресуванням оптимальний вміст відповідає 5,0 %. При ущільненні того ж гранулометричного складу суміші укочуванням оптимальний вміст бітуму дорівнює 4,5 %. При цьому водонасичення зразків, ущільнених пресуванням, склало 1,9 %, а зразків ущільнених укочуванням – 2,0 %. Подібна тенденція спостерігається при ущільненні асфальтобетонної суміші типу «Б» з вмістом 40 % щебеню. Різниця оптимального вмісту бітуму за двома методами ущільнення суміші типу «Б» становить 0,5 %. Це може бути пов'язано з малою рухливістю великих зерен в процесі ущільнення тиском сумішей з високим вмістом щебеню. У разі укочування зерна розташовуються таким чином, що кількості бітуму, яка міститься в суміші, достатньо, щоб заповнити пори і порожнечі, тоді як пресування потребує підвищеного вмісту бітуму, який відіграє роль мастила. Таким чином, призначення оптимального вмісту бітуму за результатами випробувань фізико-механічних властивостей зразків ущільнених тиском може бути завищеним для тієї ж суміші, якщо вона укочується дорожніми котками. Це може сприяти прискоренню процесів коліс- і хвилеутворення, що в подальшому прискорює руйнування покриття автомобільної дороги.

#### **Практична корисність досліджень.**

До неї перш за все можна віднести розробку методу ущільнення асфальтобетонних сумішей, що внесений в державний стандарт ДСТУ Б В.2.7-319:2016.



Ефективність методу доведена результатами порівняння показників міцності та водонасичення асфальтобетонів, ущільнених в покритті дорожніми котками, і асфальтобетонів, з тих же сумішей, переформованих секторним пресом. Отримані результати (рис. 10) свідчать, що показники фізико-механічних властивостей отриманні при випробуванні зразків з кернів в більшій мірі відповідають значенням показників, отриманим після випробувань зразків, ущільнених секторним пресом.

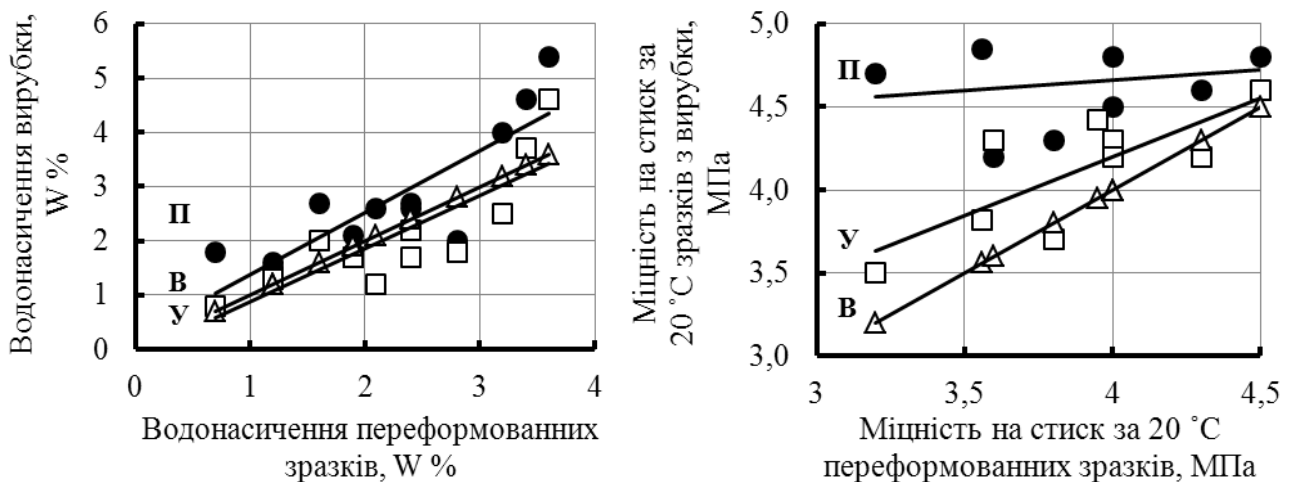


Рис. 10. Фізико-механічні властивості зразків з вирубки ( $\Delta$ ,  $\bullet$ ) і переформованих: ( $\square$ ,  $\circ$ ) – укочуванням і ( $\bullet$ ,  $\Pi$ ) – пресуванням

Застосування на практиці методу ущільнення асфальтобетонних сумішей укочуванням, дозволить більш об'єктивно, ніж в разі ущільнення тиском, прогнозувати властивості асфальтобетону при розрахунку його складу, призначати оптимальний вміст в'язучого в ньому, контролювати виробниче ущільнення асфальтобетонних сумішей, оптимізувати температурні режими ущільнення.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Відповідно до принципів реології в'язко-текучих рідин і опору зсуву сипучих середовищ показано, що в основі ущільнення асфальтобетону лежить взаємодія і співвідношення ущільнюючого напруження і опору деформуванню асфальтобетонного шару. Опір переміщенню зерен чинять шари в'язучого, внутрішнє тертя мінеральних зерен, покритих бітумом, і зачеплення мінеральних зерен між собою. Внаслідок цього ущільнення має стадійний характер, що полягає в його стабілізації, коли діюче напруження і опір йому шару суміші близькі один до одного. Кожна наступна стадія ущільнення вимагає більшого напруження і викликає зворотній йому опір. Відповідно до цього кінетика ущільнення при різних напруженнях складається з ділянки активно зростаючої щільності і ділянки стабілізації.

2. Укочування сумішей секторним пресом більшою мірою відповідає виробничому ущільненню металевими котками. При цьому рівень напруження в суміші може змінюватися завдяки зміні лінійного тиску. Використаний метод

дозволяє ступенево збільшувати лінійний тиск від 2,8 кгс/см до 8,4 кгс/см і до 14 кгс/см. Опір ущільненню знижується при підвищенні температури, збільшенні вмісту в'язучого і зниженні консистенції в'язучого.

3. В процесі ущільнення зерна щебеню переміщаються вертикально тим більше, чим ближче вони розташовані до поверхні шару. При цьому горизонтальні переміщення в 12–14 рази менші за амплітудою, ніж вертикальні переміщення. За цією особливістю ущільнення укоченням принципово відрізняється від ущільнення тиском, що передбачається діючими стандартами. Примусове вертикальне переміщення зерен веде до їх подрібнення, яке практично відсутнє при укоченні секторним пресом, що дозволяє отримати асфальтобетон з незмінним в процесі ущільнення гранулометричним складом. Подрібнення зерен крупніше 5 мм для багатощебеневого складу типу «А» при ущільненні укоченням не перевищує 6 %, тоді як у разі пресування воно досягає 20–29 %.

4. Щільність асфальтобетону досягається при двох або трьохстадійному ущільненні зростаючим лінійним тиском; кожне наступне збільшення лінійного тиску здійснюється після досягнення виходу показника ущільнення на плато стабілізації. Інтенсивність ущільнення залежить від швидкості укочування. Чим нижче швидкість, тим вище ефект ущільнення, який пов'язаний зі зменшенням співвідношення між швидкістю руху котка і релаксації напружень. Зниження швидкості укочування забезпечує більший рівень релаксації і відповідно менший опір зсуву в'язучого. Регулювання швидкості руху котка з метою поліпшення ущільнення приходить в суперечність з витратами часу, знижуючи продуктивність укочування.

5. Ущільнюваність залежить від гранулометричного типу асфальтобетонної суміші. При цьому суміші типу «Б» досягають максимальної щільності при кількості проходів в 1,28 разів менше ніж асфальтобетону типу «А» і «Г», і в 1,1 рази меншою, ніж асфальтобетони типу «В». Більша кількість проходів котка в разі суміші «А» викликана значним вмістом щебеню (55 %) (значний опір переміщення зерен відносно одне одного), а піщаної суміші типу «Г» значним опором мінеральної складової і бітумного в'язучого, яке структуровано великим вмістом мінерального порошку.

6. Оптимальний вміст в'язучого, що визначається на стадії лабораторного підбору суміші перед укладанням в покриття, в разі ущільнення тиском на 0,4–0,6 % вище, ніж при ущільненні укочуванням. Завищені рекомендації щодо вмісту в'язучого можуть привести до зайвих фінансових витрат і зростання пластичних деформацій шару (колії і хвилі) в літню пору року.

7. Модифікація бітумів істотно змінює ущільнюваність асфальтобетонних сумішей. Введення 6 % мас. полімеру типу СБС погіршує ущільнюваність і призводить до необхідності підвищення температури ущільнення для досягнення еквів'язкості в'язучого на 20 °С. Введення ПАР (Wetfix BE), енергозберігаючих добавок (SASOBIT, Sekabase, REDISSET WMX) покращує і знижує температуру ущільнення відповідно на: 20 °С, 10 °С, 13 °С і 24 °С, що майже у всіх випадках (крім SASOBIT) відповідає рекомендаціям виробників.

8. Результати дослідження покладено в основу відповідного НТД – СОУ 42.1-37641918-092:2014 «Розробка СОУ на метод визначення мінімально допустимих температур ущільнення асфальтобетонних сумішей». Метод ущільнення включений в ДСТУ Б В.2.7-319:2016 «Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромній. Методи випробувань». Запропонований метод ущільнення використано при сертифікаційних випробуваннях вирубок при контролі якості ущільнення покриттів на дорогах м. Харкова.

### СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ:

#### *Наукові статті у фахових виданнях*

1. Золотарев В.А., Корюк В.П., Контратьев П.С. Использование укатки для лабораторного уплотнения асфальтобетонных смесей. *Автошляховик України*. 2013. № 4. С. 22–28.

#### *Особистий внесок автора – виконання експериментальних досліджень.*

2. Корюк В.П. Дробимость минеральной и асфальтобетонной смеси при лабораторном уплотнении секторным прессом. *Вестник ХНАДУ*: сб. науч. тр. 2013. Вып. 63. С. 51–55.

3. Корюк В.П. Ступенчатое уплотнение секторным прессом. *Автомобильный транспорт ХНАДУ*. 2014. Вып. 34. С. 120–126.

4. Асфальтополімербетони, виготовлені шляхом введення полімеру безпосередньо в суміш / Пиріг Я.І. та ін. *Вестник ХНАДУ*: сб. науч. тр. 2015. Вып. 68. С. 85–91.

*Особистий внесок автора – виконання експериментальних досліджень та аналіз результатів експерименту.*

5. Золотарев В.А., Корюк В.П. Качественная оценка влияния структурных и технологических факторов на уплотнение асфальтобетонных смесей. *Вестник ХНАДУ*: сб. науч. тр. 2017. Вып. 79. С. 94–100.

#### *Особистий внесок автора – виконання експериментальних досліджень.*

#### *Праці апробаційного характеру*

6. Корюк В.П. Метод определения температур уплотнения асфальтобетонных смесей по результатам испытаний на секторном прессе. «Сучасні технології будівництва й експлуатації автомобільних доріг». Харків ХНАДУ, 2013. С. 263–266.

7. Високоміцні щебенево-мастикові асфальтобетони без волокнистого адсорбенту / Золотарьов В.О., Корюк В.П., Єфремов С.В., Свинарьов М.О. *Дорожня галузь*. 2015. № 1. С. 41–48.

*Особистий внесок автора – визначення стандартних показників якості та встановлення оптимальних параметрів ущільнення щебенево-мастикових асфальтобетонів методом укочування в лабораторних умовах.*

8. Визначення вмісту в щебені зерен пластинчастої форми за EN 933-3 / Золотарьов В.О. Маляр В.В. Корюк В.П. Свинарьов М.О. *Автошляховик України*. 2017. № 3. С. 51–54.

*Особистий внесок автора – визначення режимів ущільнення сумішей методом укочування.*

9. Золотарьов В.А. Перший досвід оцінки сегрегації асфальтобетонних сумішей за європейським методом / Золотарьов В.А., Корюк В.П., Єфремов С.В. *Автошляховик України*. 2017. № 4. С. 21–28.

*Особистий внесок автора – виконання досліджень на АБЗ.*

*Наукові праці, що додатково відображають зміст дисертаційної роботи.*

*Нормативні документи:*

10. СОУ 42.1-37641918-092:2014 Суміші асфальтобетонні. Метод визначення мінімально допустимих температур ущільнення. Видавництво Укравтодор. – 2013. – 14 с.

*Особистий внесок автора – проведення експериментальних досліджень.*

11. ДСТУ Б В.2.7-319:2016. «Суміші асфальтобетонні и асфальтобетон дорожній та аеродромні. Методи випробувань» [Чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2017. 70 с. (Національний стандарт України).

*Особистий внесок автора – проведення експериментальних досліджень.*

*Патент:*

12. Контактний вимірювач площі: пат. 95211 Україна: МПК G01 В 7/16 (2006.01); заявник і власник патенту Корюк В.П. і ХНАДУ. № U 201407756; заявл. 10.07.14 ; опубл. 10.12.14, Бюл. № 23.

## АНОТАЦІЯ

**Корюк В. П. Обґрунтування і розробка лабораторного методу ущільнення асфальтобетонних сумішей укочуванням.** – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за фахом 05.23.05 – «Будівельні матеріали та виробництво» (192 – Будівництво та цивільна інженерія) – Харківський національний університет будівництва та архітектури, Харків, 2018 р.

Виконано аналіз існуючих лабораторних та виробничих методів ущільнення асфальтобетонної суміші. Показано, що існує різниця схем ущільнення у лабораторії і на виробництві. Запропоновано метод ущільнення секторним пресом в лабораторії, як аналог виробничого укочування.

Розроблена методика ущільнення асфальтобетонних сумішей різного типу, яка передбачає ступеневе збільшення лінійного тиску та зміну швидкості руху сектора. Встановлено оптимальний вміст бітуму, температури ущільнення асфальтобетонів з введенням енергозберігаючих добавок, полімерів і ПАР.

Результати дослідження покладено в основу НТД, та методи ущільнення, які включено до ДСТУ Б В.2.7-319. Метод використано в випробуванні вирубків при контролі якості ущільнення покриттів на дорогах м. Харкова.

**Ключові слова:** асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, ущільнення, секторний прес, гідравлічний прес, укочування, пресування.

## АННОТАЦИЯ

**Корюк В. П. Обоснование и разработка лабораторного метода уплотнения асфальтобетонных смесей укатыванием.** – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (доктора философии) по специальности 05.23.05 – «Строительные материалы и изделия» (192 – Строительство и гражданская инженерия) – Харьковский национальный университет строительства и архитектуры, Харьков, 2018 г.

Выполнен анализ существующих лабораторных и производственных методов уплотнения асфальтобетонных смесей. Показано, что существует различие схем их уплотнения в лаборатории и на производстве. Предложен метод уплотнения смеси секторным прессом в лаборатории, который воспроизводит производственную укатку.

Разработанная методика уплотнения асфальтобетонных смесей различного типа предполагает ступенчатое увеличение линейного давления и изменение скорости движения сектора. Установлены оптимальные содержания битумов, температуры уплотнения асфальтобетонных смесей с введением энергосберегающих добавок, полимеров и ПАВ.

Результаты исследования положены в основу НТД, и методы уплотнения, которые включены в ДСТУБ В.2.7-319. Метод использован в испытании вырубок при контроле качества уплотнения покрытий на дорогах м. Харьков.

**Ключевые слова:** асфальтобетон, асфальтобетонная смесь, уплотнения, секторный пресс, гидравлический пресс, укатки, прессования.

## SUMMARY

**Koryuk V. Substantiation and development of the laboratory method of asphalt-concrete mixtures compaction by rolling.** – Qualification scientific work as manuscript.

The thesis submitted for a PhD degree in specialty 05.23.05 – Construction materials and products (192 – Construction and Civil Engineering) – Kharkov National University of Civil Engineering and Architecture, Kharkiv, 2018.

The thesis is devoted to the development of the method of laboratory compaction of asphalt-concrete mixtures by rolling. In work the analysis of existing laboratory and industrial methods of consolidation of asphalt-concrete mix is provided. It is shown that the most common method of compacting layers of pavement is the method of rolling by road smooth-roller wheels. In the laboratory, the compaction is carried out using a hydraulic press with a pressure of 30 MPa or 40 MPa. Thus, the results of the physical and mechanical properties of asphalt concretes, compacted in the laboratory and at the production site, can differ due to different compaction schemes.

Therefore, the use of compaction of laboratory slabs with a sector press as an analog of industrial rolling has been suggested. The distribution of properties along the compaction plate is studied. It is shown that the maximum high properties of

asphalt concrete samples are concentrated in the center of the compacted plate. It was found that the distribution of properties over the height of the sample is different and, as the layer deepens into the layer, the properties deteriorate, which agrees with the samples taken from the coating.

The rate of crushing stone material was established. The mixture of stone materials was sealed with a predetermined number of passes and line pressures of the sector press. Linear pressure was defined as the ratio of the mass acting on the sector roller to its length. The contents of the mold were scattered on control sieves 5 and 10 mm. The residues on the sieves were weighed and compared with the initial mass. Also, the rock material crushing index was established when the mixture was compacted with a pressure of 30 MPa. The result obtained as a result of the inspection showed that the granularity of stone materials is higher for pressing than for rolling twice (28% versus 12%). However, it was found that the introduction of bitumen into the mineral mixture reduces the granularity of the stone material.

In this work, we observed the movement of grains of crushed stone when compacting mixtures by rolling and pressing. The observation was carried out through a window cut in the side part of the mold by means of a camera. Recorded video, after each pass cut into slides and traced out the contours of the «labeled» grains and at the control point the contours were superimposed on each other. As a result of superposition, the trajectory of the grain transfer was determined.

So the vertical movement of grains during rolling is higher than the vertical movement of grains during compaction by pressure. along the vertical displacement when rolling the mixture by the sector there are horizontal movements, which are 10 times smaller than vertical ones. When compressing the mixture by pressure, the vertical movement of the grains does not exceed 5 mm and horizontal displacements are practically absent. This indicates that a greater density of coagulated mixtures is achieved by greater mobility of the mineral part.

The effectiveness of the method is proved by the results of comparison of the strength and water saturation indexes of asphalt concretes compacted in the road with compactors and asphaltic concrete from the same mixtures that were reformed by the sector press. The practical application of the method of compaction of asphalt-concrete mixtures by rolling, will allow to predict the properties of asphalt concrete in calculation of its composition more objectively than in the case of pressure compaction, to design the optimum binder content in it, to control the industrial compaction of asphalt-concrete mixtures.

The results of the research were taken as the basis for SOU 42.1-37641918-092:2014 «Method for determining the minimum acceptable sealing temperatures» and sealing methods included in DSTU B V.2.7-319:2016 «Asphalt mixtures and road and airfield asphalt concrete. Test methods». The proposed method of compaction is used in certification tests of felling when controlling the quality of sealing coatings on roads in Kharkov.

**Key words:** asphaltic concrete, asphalt-concrete mixture, compaction, sector press, hydraulic press, road roller, rolling, pressing, physical and mechanical properties.