

УДК 691.16

Копинець І. В., канд. техн. наук, <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>**Желтобрюх А. Д.**, д-р. філос. з будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>**Соколов О. В.**, д-р. філос. з будівництва та цивільної інженерії, <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>**Соколова О. Б.**, <https://orcid.org/0000-0003-4202-8661>**Юнак А. Л.**, <https://orcid.org/0000-0002-5294-5554>

Державне підприємство «Національний інститут розвитку інфраструктури» (ДП «НІРІ»), м. Київ, Україна

ЛАБОРАТОРНЕ УЩІЛЬНЕННЯ КРУПНОЗЕРНИСТИХ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ГІРАТОРНОГО УЩІЛЬНЮВАЧА

Анотація

Вступ. В Україні процедурою проєктування складу асфальтобетонних сумішей передбачено підбирання співвідношення між мінеральними матеріалами, підбирання оптимального вмісту бітуму, випробування асфальтобетону з підібраним вмістом бітуму та, за потреби, уточнення складу асфальтобетонної суміші. Відповідну процедуру застосовують в Сполучених Штатах Америки, країнах Європейського Союзу, Австралії тощо. Однак відмінність полягає у обладнанні, яке використовують для виготовлення зразків асфальтобетону.

Проблематика. В останні роки використовуваний в Україні метод виготовлення зразків асфальтобетону за ущільнення асфальтобетонної суміші стисненням піддають ґрунтовній критиці, оскільки наразі чітко не визначено швидкість навантажування, під час виготовлення зразків можливим є подрібнення зерен мінерального матеріалу, а також у ряді випадків ущільнення асфальтобетонних сумішей в шарі дорожнього одягу є більшим за їх ущільнення в лабораторних умовах. Ці чинники можуть стати причиною неоптимальності підбраного складу асфальтобетонних сумішей та передчасного утворення дефектів під час експлуатування. Вищенаведене вимагає проведення досліджень з оптимізування лабораторного ущільнення асфальтобетонних сумішей, зокрема з використанням гіраторного ущільнювача.

Мета. Впровадити гіраторний ущільнювач для лабораторного ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей.

Матеріали і методи. Аналізування літературних джерел та проведення лабораторних досліджень.

Результати. Об'ємні властивості асфальтобетонів залежать від вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші. Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші, зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі, а також збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язучим. Об'ємні властивості асфальтобетонів суттєво залежать від ущільнювального зусилля. Із збільшенням кількості обертів має місце збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язучим, а також зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі. Зміна показників об'ємних властивостей асфальтобетонів має згасаючий характер із збільшенням кількості обертів. Потрібний уміст повітряних пор може бути досягнуто в широкому діапазоні вмісту бітуму та ущільнювального зусилля. Використання принципу «точки блокування» дозволило визначити оптимальну кількість обертів на рівні 80. Порівняльні дослідження асфальтобетонів, виготовлених ущільненням за 80 обертів та стисненням за тиску 30 МПа, показали що отримувані асфальтобетони типу А-Б мають близькі показники об'ємних та механічних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення є дещо ефективнішим. У випадку асфальтобетонів типу А1 має місце суттєвіша відмінність в показниках об'ємних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення також є ефективнішим. Метод ущільнення практично не впливає на показники механічних властивостей асфальтобетонів.

Висновки. Для виготовлення зразків асфальтобетону під час підбирання складу крупнозернистих асфальтобетонних сумішей та контролювання їх вироблення доцільно використовувати ущільнювальне зусилля у 80 обертів, яке є ефективнішим за ущільнення пресуванням під тиском 30 МПа, сприятиме отримуванню більш «жорстких» асфальтобетонних сумішей та належному ущільненню асфальтобетонних сумішей у виробничих умовах, яке не буде ефективнішим за лабораторне ущільнення та не буде призводити до отримання асфальтобетону з низьким умістом повітряних пор. Ураховуючи загальні тенденції щодо зменшення ущільнювального зусилля із зменшенням кількості прикладань розрахункової навантаги, для підбирання складу крупнозернистих асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з незначною кількістю прикладань розрахункової навантаги може бути використано ущільнювальне зусилля у 60 обертів.

Ключові слова: асфальтобетон, асфальтобетонна суміш, бітум, гіраторне ущільнення, заповнювач, механічні властивості, об'ємні властивості, оптимальний вміст бітуму, ущільнення стисненням.

Вступ

В Україні процедурою проектування складу асфальтобетонних сумішей передбачено:

- підбирання співвідношення між мінеральними матеріалами, за якого б зерновий склад їх суміші відповідав певним вимогам залежно від виду асфальтобетонної суміші за найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача, типу асфальтобетонної суміші за вмістом крупного заповнювача, різновиду асфальтобетонної суміші за зерновим складом та групи асфальтобетону за показником умісту повітряних пор;

- підбирання оптимального вмісту бітуму;

- випробування асфальтобетону з підібраним вмістом бітуму та, за потреби, уточнення складу асфальтобетонної суміші.

Відповідні процедури застосовують у Сполучених Штатах Америки, країнах Європейського Союзу, Австралії тощо [1 – 5]. Основна відмінність у проектуванні складу асфальтобетонних сумішей полягає в обладнанні, яке використовують для виготовлення зразків асфальтобетону. В Україні з цією метою використовують ущільнювальні установки, які працюють на стиснення [1], у Сполучених Штатах Америки переважно використовують гіраторний ущільнювач Superpave [4], у країнах Європейського Союзу — ударний ущільнювач Маршала, в Австралії — гіраторний ущільнювач Servopac [5].

В останні роки використовуваний в Україні метод виготовлення зразків асфальтобетону за ущільнення асфальтобетонної суміші стисненням піддають ґрунтовній критиці, оскільки наразі чітко не визначено швидкість навантажування, під час виготовлення зразків можливим є подрібнення зерен мінерального матеріалу, а також у ряді випадків ущільнення асфальтобетонних сумішей в шарі дорожнього одягу є більшим за їх ущільнення в лабораторних умовах. Ці чинники можуть стати причиною неоптимальності підбраного складу асфальтобетонних сумішей та передчасного утворення дефектів у процесі експлуатування.

Виконані порівняльні дослідження зразків асфальтобетону [6], виготовлених з різних асфальтобетонних сумішей, показали, що вітчизняний метод ущільнення пресуванням відповідає ударному методу ущільнення з використанням ущільнювача Маршала, що використовують для проектування складу асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з великою транспортною навантагою. Однак ці порівняльні дослідження не охопили крупнозернисті асфальтобетонні суміші та асфальтобетони у зв'язку з неможливістю виготовлення зразків з крупнозернистих асфальтобетонних сумішей з використанням ударного ущільнювача Маршала. Тому виникла потреба у виконанні відповідних порівняльних досліджень зразків асфальтобетону, виготовлених (стисненням) пресуванням та з використанням гіраторного ущільнювача Superpave.

Гіраторний ущільнювач Superpave є результатом виконання дослідницької програми стратегічного дослідження автомобільних доріг [7]. Відповідно до розробленого методу проєктне ущільнювальне зусилля для виготовлення зразків асфальтобетону залежало від середньої

найбільшої розрахункової температури повітря та кількості прикладань розрахункової навантаги і могло становити від 68 обертів до 172 обертів. У подальшому було проведено ряд досліджень та уточнено ущільнювальне зусилля і наразі ущільнювальне зусилля визначено в [4]. За проєктного ущільнювального зусилля (кількості обертів) вміст повітряних пор у зразках асфальтобетону повинен становити 4,0 % за об'ємом. Також в [4] визначено найбільшу кількість обертів за якої вміст повітряних пор у зразках асфальтобетону повинен бути не менше ніж 2,0 % за об'ємом включно. Установлене в [4] проєктне ущільнювальне зусилля та найбільше ущільнювальне зусилля показано в **табл. 1**.

Таблиця 1

Параметри ущільнювального зусилля

Ч. ч.	Кількість прикладань розрахункової навантаги, млн	Проєктна кількість обертів	Найбільша кількість обертів
1	менше ніж 0,3	50 / 30	75 / 40
2	від 0,3 до 3,0	75 / 30	115 / 40
3	від 3,0 до 30,0	100 / 50	160 / 75
4	більше ніж 30,0 включно	125 / 50	205 / 75
Примітка. Перед скісною ризикою надано основні положення [4] щодо ущільнювального зусилля, після скісної ризи – додаткову інформацію щодо ущільнювального зусилля згідно з системою Superpave5.			

Виконаний в [5] аналіз показав, що положень [4] щодо проєктного ущільнювального зусилля та вмісту повітряних пор дотримують тільки в 30 % штатів. У 50 % штатів використовують меншу кількість обертів, у 2 % штатів — менший рівень умісту повітряних пор, а у 12 % штатів — меншу кількість обертів та менший рівень умісту повітряних пор. Цікавим є те, що досі у 6 % штатів використовують ударне ущільнення за методом Маршала. Такі дані можуть свідчити про те, що дослідження з уточнення ущільнювального зусилля тривають, а також те, що у кожному зі штатів ущільнювальне зусилля та проєктний уміст повітряних пор уточнюють залежно від кліматичних умов та транспортної навантаги. Варто зазначити й те, що в [4] додатково надано інформацію щодо використання принципів системи Superpave5, відповідно до якої проєктний уміст повітряних пор становить 5,0 % за об'ємом, а проєктна кількість обертів – не більше ніж 50 (див. **табл. 1**).

Отже з вищенаведеного випливає, що з моменту розроблення системи SUPERPAVE параметри проєктного ущільнювального зусилля зазнали суттєвих змін, при цьому уточнені параметри ущільнювального зусилля використовують тільки в 30 % штатів, а фактично використовуване ущільнювальне зусилля у більше ніж 60 % штатів є меншим за встановлене. Це обумовлює потребу у встановленні вимог до параметрів лабораторного ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей з використанням гіраторного ущільнювача Superpave з урахуванням існуючих проблем лабораторного ущільнення крупнозернистих асфальтобетонних сумішей пресуванням.

Основна частина

Складники

Для проведення дослідження використовували пісок із відсівів подрібнення фракції понад 0 мм до 2,5 мм включно та фракції понад 2,5 мм до 5 мм включно, щебінь фракції понад 5 мм до 10 мм включно, понад 10 мм до 20 мм включно та понад 20 мм до 40 мм включно, а також наповнювач. Показники властивостей щебеню наведено в **табл. 2**.

Таблиця 2

Результати визначення показників властивостей щебеню

Ч. ч.	Назва властивості	Фактичні значення показників властивостей
1	Марка щебеню за міцністю	1 200
2	Марка щебеню за стиратністю	Ст-I
3	Марка щебеню за морозостійкістю	F150
4	Група за формою зерен	окатана

У якості бітумного в'язучого було прийнято бітум марки БНД 70/100, показники властивостей якого наведено в **табл. 3**.

Таблиця 3

Результати визначення показників властивостей бітуму

Ч. ч.	Назва властивості, одиниця вимірювання	Фактичні значення показників властивостей
1	Пенетрація за температури 25 °С, 0,1 мм	78
2	Температура розм'якшеності за кільцем і кулею, °С	47
3	Температура крижкості, °С	мінус 23
4	Інтервал пластичності, °С	70
5	Зміна маси після прогрівання, % за масою	0,12
6	Залишкова пенетрація, %	65
7	Зміна температури розм'якшеності, °С	3,5
8	Індекс пенетрації	мінус 0,91

Склад асфальтобетонних сумішей

Для проведення досліджень було прийнято асфальтобетонні суміші з найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача 40 мм типу А1 (далі — асфальтобетонна суміш типу А1) та А-Б (далі асфальтобетонна суміш типу А-Б). Обидві суміші мали непереривчастий зерновий склад. Підібраний зерновий склад асфальтобетонних сумішей наведено в **табл. 4**.

Таблиця 4

Зерновий склад асфальтобетонних сумішей

Тип асфальтобетонної суміші	Уміст зерен мінерального матеріалу, % за масою, менших заданого розміру, мм											
	40	25	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071
А1	100,0	80,0	71,1	63,1	56,1	45,2	30,2	21,4	14,0	9,8	6,1	5,2
А-Б	100,0	—	73,1	67,1	61,1	50,2	32,2	23,0	15,4	11,0	6,7	6,1

Вироблення асфальтобетонних сумішей

Для отримання якісних асфальтобетонних сумішей бітум треба перевести в такий стан, за якого він легко та рівномірно обволікає мінеральний матеріал. Для цього бітум та інші складники асфальтобетонної суміші нагрівають до певної температури, що залежить від марки використовуваного бітуму.

У ДСТУ EN 12697-35 [8] зазначено, що найвища лабораторна температура змішування (температура вироблення асфальтобетонних сумішей у лабораторних умовах) повинна бути не більше ніж на 20 °С вищою за опорну температуру ущільнення. Значення заданої лабораторної температури змішування потрібно обирати так, щоб на момент початку процесу ущільнення суміш охолола до опорної температури ущільнення з допуском до ± 5 °С, та не перевищувала найвищу лабораторну температуру змішування. При цьому зазначено, що задана лабораторна температура змішування є температурою за якої в'язуче має динамічну в'язкість $(0,17 \pm 0,02)$ Па·с, а опорну температуру ущільнення може бути визначено як температуру, за якої в'язуче має динамічну в'язкість $(0,28 \pm 0,03)$ Па·с.

У цьому дослідженні температуру нагрівання бітуму під час змішування з мінеральним матеріалом та температуру асфальтобетонної суміші на початку ущільнення було встановлено на основі температурно-в'язкісної залежності (**рис. 1**).

Для встановлення температури вироблення та ущільнення застосовано критерії відповідно до ДСТУ EN 12697-35 [8]. Результати визначення відповідних температур наведено в **табл. 5**.

Таблиця 5

Результати визначення температури вироблення та ущільнення асфальтобетонної суміші

Марка бітуму	Опорна температура ущільнення асфальтобетонної суміші, °C	Визначена температура ущільнення асфальтобетонної суміші, °C	Задана температура змішування бітуму з мінеральним матеріалом, °C	Визначена температура змішування бітуму з мінеральним матеріалом, °C
БНД 70/100	145 ± 5	від 143,5 до 148,5	не вище ніж 165	від 154,5 до 160

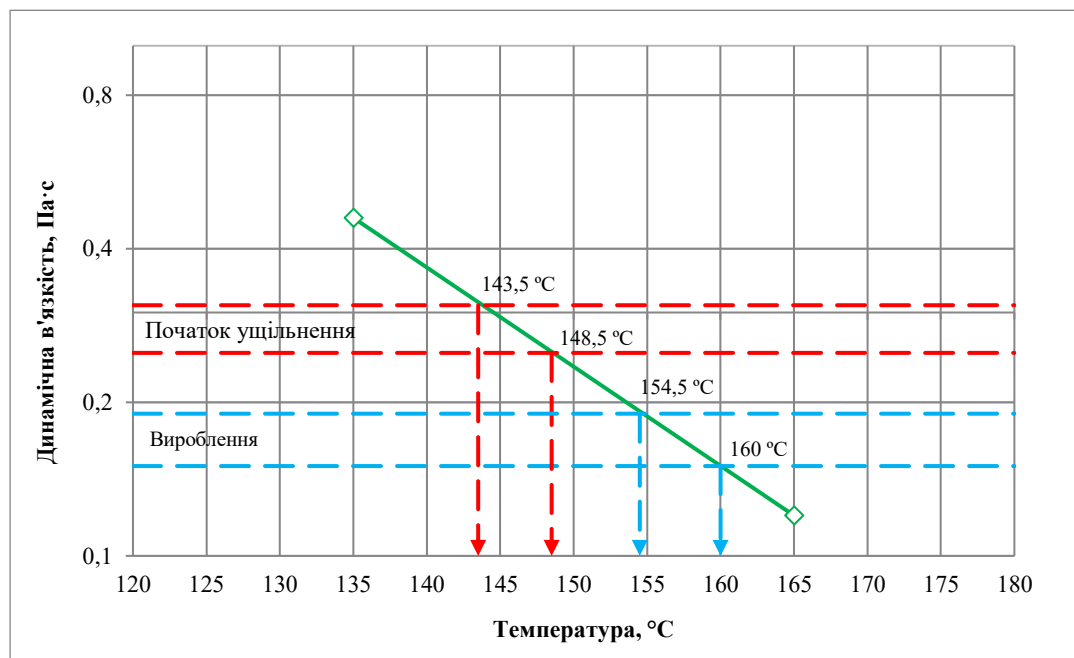


Рисунок 1 — Залежність в'язкості бітуму марки БНД 70/100 від температури

Визначені температури вироблення та ущільнення асфальтобетонної суміші добре узгоджені з установленими в ДСТУ EN 12697-35 [8] опорними температурами.

Ущільнення асфальтобетонних сумішей

Ущільнення асфальтобетонних сумішей з метою отримання досліджуваних зразків асфальтобетону виконували відповідно до ДСТУ EN 12697-31 [9] з використанням гіраторного ущільнювача. Відповідно до цього методу для виготовлення зразків брали термостабілізовану асфальтобетонну суміш вироблену в лабораторії згідно з ДСТУ EN 12697-35 [8] та розміщували її у спеціальній сталевій формі для ущільнення. Асфальтобетонну суміш ущільнювали за різної кількості обертів. Після чого виймали зразок асфальтобетону з форми.

З метою встановлення впливу методу ущільнення на об'ємні властивості асфальтобетонів також виконували ущільнення асфальтобетонних сумішей методом пресування за тиску $(30,0 \pm 0,3)$ МПа згідно з вимогами ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [11].

Методи випробування

Об'ємна густина асфальтобетону

Об'ємну густину асфальтобетону визначали за його масою та об'ємом відповідно до методу В ДСТУ EN 12697-6 [10] (водонасичений стан із осушеною поверхнею). Масу зразка визначали зважуванням сухого зразка в повітряному середовищі (у повітрі). Об'єм зразка встановлювали за його масою в повітряному середовищі та воді.

Визначення об'ємної густини асфальтобетону виконували в такій послідовності:

а) визначали масу сухого зразка (m_1);

б) визначали густину води (ρ_w) за температури випробування з точністю до 0,0001 Мг/м³ відповідно до формули (1):

$$\rho_w = 1,00025205 + \left(\frac{7,59 \cdot t - 5,32 \cdot t^2}{10^6} \right), \quad (1)$$

де t — температура води, в градусах Цельсія (°C);

ρ_w — густина води за температури випробування, в мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

в) зразок занурювали у водяну баню, у якій підтримували температуру випробування та витримували впродовж не менше ніж 30 хв;

г) визначали масу насиченого зразка у воді (m_2), стежачи за тим, щоб під час зважування бульбашки повітря не прилипали до поверхні зразка чи не виходили із нього;

д) виймали зразок з води та осушували його поверхню від залишків води, протираючи його вологою тканиною;

е) одразу після осушування поверхні зразка визначали масу насиченого зразка з осушеною поверхнею у повітряному середовищі (m_3);

є) розраховували об'ємну густину зразка (ρ_{bssd}) з точністю до 0,001 Мг/м³ відповідно до формули (2):

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{m_3 - m_2} \cdot \rho_w, \quad (2)$$

де ρ_{bssd} — об'ємна густина, в мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

m_1 — маса сухого зразка, у грамах (г);

m_2 — маса насиченого зразка у воді, у грамах (г);

m_3 — маса насиченого зразка з осушеною поверхнею, у грамах (г);

ρ_w — густина води за температури випробування, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³).

Уміст повітряних пор

Повітряні пори є пустотами між зернами заповнювача, які вкриті бітумом, в ущільненому зразку асфальтобетону.

Уміст повітряних пор є об'ємом повітряних пор у зразку асфальтобетону, визначений у відсотках від загального об'єму цього зразка.

Уміст повітряних пор в зразку асфальтобетону обчислювали з використанням найбільшої густини асфальтобетонної суміші та об'ємної густини асфальтобетону з точністю до 0,1 % за формулою (3):

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100, \quad (3)$$

де V_m — уміст повітряних пор, % за об'ємом;

ρ_m — найбільша густина асфальтобетонної суміші, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

ρ_b — об'ємна густина зразка асфальтобетону, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³).

Пори, заповнені в'язучим

Пори, заповнені в'язучим, є відсотком пор у мінеральному заповнювачі, що заповнені в'язучим.

Відсоток пор у мінеральному заповнювачі, заповнених в'язучим, обчислювали за вмістом в'язучого та пор у мінеральному заповнювачі, а також об'ємної густини асфальтобетону та густини в'язучого з точністю до 0,1 % за формулою (4):

$$VFB = \left(\left(B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B} \right) \cdot VMA \right) \cdot 100 \%, \quad (4)$$

де VFB — відсоток пор в мінеральному заповнювачі, заповнених в'язучим, % за об'ємом;

B — відсоток в'язучого в зразку асфальтобетону (в 100 % суміші), % за об'ємом;

ρ_b — об'ємна густина зразка асфальтобетону, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

ρ_B — густина в'язучого, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);

VMA — уміст пор в мінеральному заповнювачі, % за об'ємом.

Уміст пор у мінеральному заповнювачі

Уміст пор в мінеральному заповнювачі є об'ємом міжзернових пустот між зернами заповнювача ущільненої асфальтобетонної суміші, що складається з об'єму повітряних пор та об'єму бітумного в'язучого у зразку асфальтобетону, визначений у відсотках від загального об'єму зразка. Уміст пор в мінеральному заповнювачі з точністю до 0,1 % розраховували за формулою (5):

$$VMA = V_m + B \cdot \rho_b / \rho_B, \quad (5)$$

- де VMA — уміст пор в мінеральному заповнювачі, % за об'ємом;
 V_m — уміст повітряних пор в зразку, % за об'ємом;
 B — уміст в'язучого в зразку асфальтобетону (у 100 % суміші), % за масою;
 ρ_b — об'ємна густина зразка асфальтобетону, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 ρ_B — густина в'язучого, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³).

Найбільша густина

Найбільшою густиною є маса асфальтобетонної суміші на одиницю об'єму без повітряних пустот за заданої температури випробування. Найбільшу густину у поєднанні з об'ємною густиною використовують для обчислення вмісту повітряних пор в ущільненому зразку та інших об'ємних властивостей ущільненої асфальтобетонної суміші.

Найбільшу густину обчислювали з точністю до 0,001 Мг/м³ за формулою (6):

$$\rho_{mc} = \frac{100}{(p_{a1} / \rho_{a1}) + (p_{a2} / \rho_{a2}) + \dots + (p_b / \rho_{b1})}, \quad (6)$$

- де ρ_{mc} — найбільша густина, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 p_{a1} — уміст у суміші мінерального заповнювача 1, % за масою;
 ρ_{a1} — об'ємна густина мінерального заповнювача 1, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 p_{a2} — уміст у суміші мінерального заповнювача 2, % за масою;
 ρ_{a2} — об'ємна густина мінерального заповнювача 2, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 p_b — вміст у суміші в'язучого, % за масою;
 ρ_b — густина бітумного в'язучого, у мегаграмах на кубічний метр (Мг/м³);
 $p_{a1} + p_{a2} + \dots + p_b = 100,0$ % (за масою).

Водонасичення

Водонасичення визначали згідно з розділом 14 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [11]. Це випробування полягає у визначенні кількості води, яку поглинає зразок асфальтобетону за заданого режиму насичення.

Міцність на стиск

Міцність на стиск визначали згідно з розділом 16 ДСТУ Б В.2.7-319:2016 [11]. Це випробування полягає у визначенні граничної напруги, яка призводить до руйнування зразка асфальтобетону за заданих умов випробування.

Дослідження впливу ущільнювального зусилля та вмісту бітуму на властивості асфальтобетонів типу А1

Для цього дослідження було прийнято асфальтобетони, виготовлені з використанням гіраторного ущільнювача за кількості обертів від 40 до 160 та вмісту бітуму від 3,8 % за масою до 5,0 % за масою.

Результати випробування показали, що із збільшенням вмісту бітуму має місце зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші (**рис. 2**). Залежність зменшення найбільшої густини від вмісту бітуму має лінійний характер.

Зворотну тенденцію має залежність об'ємної густини асфальтобетону від вмісту бітуму (**рис. 3**). У даному випадку збільшення вмісту бітуму призводить до зростання об'ємної густини асфальтобетону. За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до зростання об'ємної густини на 0,052 Мг/м³ з 2,293 Мг/м³ до 2,345 Мг/м³. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зростання

об'ємної густини на $0,097 \text{ Мг/м}^3$ з $2,293 \text{ Мг/м}^3$ до $2,390 \text{ Мг/м}^3$. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни об'ємної густини асфальтобетону від кількості обертів.

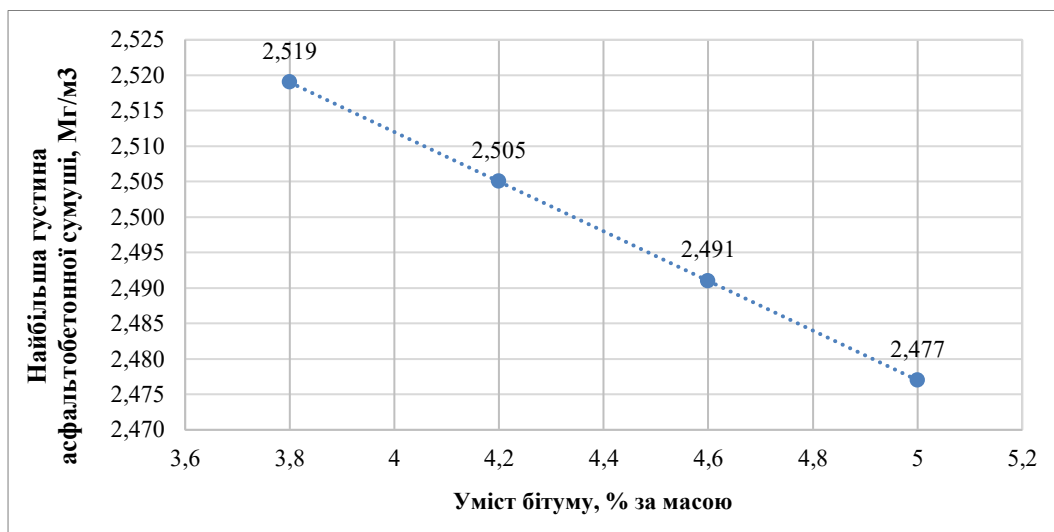


Рисунок 2 — Залежність найбільшої густини асфальтобетонної суміші типу А1 від умісту бітуму

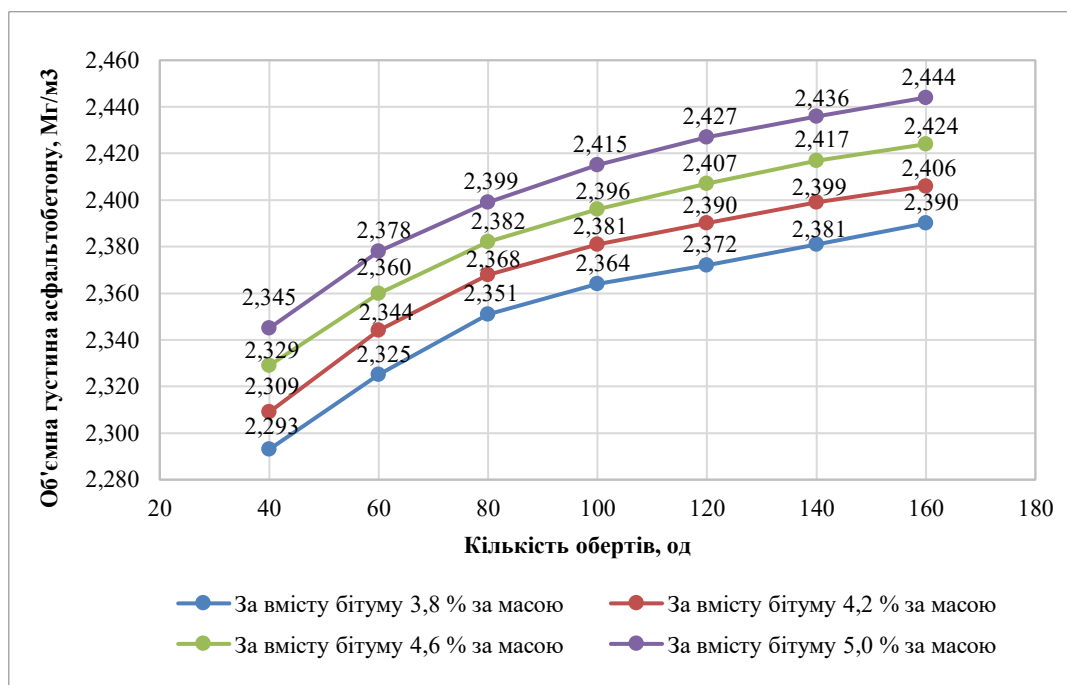


Рисунок 3 — Залежність об'ємної густини асфальтобетону типу А1 від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

Збільшення об'ємної густини асфальтобетону пов'язано як із поліпшенням ущільнення асфальтобетонної суміші в результаті збільшення вмісту бітуму, так і з більшим заповненням повітряних пор, про що свідчать значення вмісту пор у мінеральному заповнювачі (рис. 4).

За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 0,9 % за об'ємом з 17,2 % за об'ємом до 16,3 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 3,5 % за об'ємом з 17,2 % за об'ємом до 13,7 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту пор у мінеральному заповнювачі від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що обсяг пор в мінеральному заповнювачі (пористість мінерального кістяка) в асфальтобетоні типу А1 повинен становити від 15 % за об'ємом до 19 % за об'ємом. З **рис. 4** видно, що за 40 обертів всі випробувані асфальтобетони відповідають цим вимогам. Однак із збільшенням кількості обертів всі асфальтобетони вже не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. Для вмісту бітуму 3,8 % за масою така невідповідність настає за більше ніж 80 обертів, для вмісту бітуму 4,2 % за масою та 4,6 % за масою — за більше ніж 70 обертів, а для вмісту бітуму 5,0 % за масою — за більше ніж 60 обертів. Однак у цьому діапазоні ущільнювального зусилля практично всі випробувані асфальтобетони не відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] за вмістом повітряних пор (залишковою пористістю). Це може свідчити про необґрунтованість встановлених вимог. Аналізування літературних джерел показало, що ні обсяг пор у мінеральному заповнювачі, ні вміст повітряних пор не були предметом досліджень вітчизняних вчених. Усі досліджування були обмежені визначенням об'ємної густини та водонасичення асфальтобетону. Відповідно до таблиці 6.5 [2] обсяг пор у мінеральному заповнювачі залежить від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача у складі асфальтобетонної суміші. У випадку асфальтобетонної суміші з найбільшим номінальним розміром зерен заповнювача 37,5 мм обсяг пор у мінеральному заповнювачі повинен становити не менше ніж 11,0 % за об'ємом, а у разі зменшення найбільшого номінального розміру зерен заповнювача до 9,5 мм — не менше ніж 15,0 % за об'ємом. Отже обсяг пор у мінеральному заповнювачі залежить від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та може становити менше ніж 15,0 % за об'ємом.

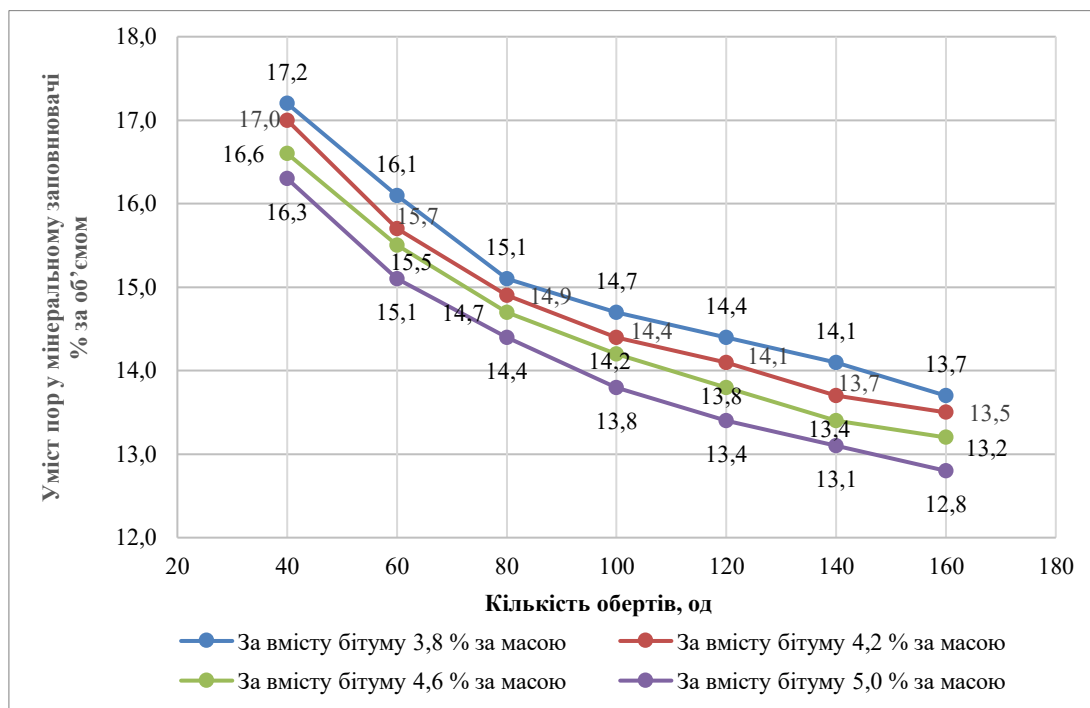


Рисунок 4 — Залежність вмісту пор у мінеральному заповнювачі асфальтобетону типу А1 від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

Схожою є залежність зміни вмісту повітряних пор від вмісту бітуму та кількості обертів (рис. 5), що є логічним, оскільки вміст повітряних пор фактично є різницею між умістом пор у мінеральному заповнювачі та об'ємом бітуму у складі асфальтобетонної суміші. За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 3,7 % за об'ємом з 9,0 % за об'ємом до 5,3 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 3,9 % за об'ємом з 9,0 % за об'ємом до 5,1 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту повітряних пор від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що вміст повітряних пор в асфальтобетоні типу А1 повинен становити від 2,0 % за об'ємом до 5,0 % за об'ємом. З рис. 5 видно, що за вмісту бітуму 3,8 % за масою у всьому діапазоні ущільнювального зусилля вміст повітряних пор є більшим за показники, встановлені ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення вмісту повітряних пор, тому вже за вмісту бітуму 4,2 % за масою та ущільнювального зусилля близько 100 обертів може бути отримано показники вмісту повітряних пор, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. У разі збільшення кількості обертів має місце зменшення вмісту повітряних пор, однак навіть після 160 обертів показник умісту повітряних пор відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] та становить 3,9 % за об'ємом.

За подальшого збільшення вмісту бітуму до 4,6 % за масою та 5,0 % за масою має місце зменшення вмісту повітряних пор. Для випробуваного асфальтобетону найменше можливе значення вмісту повітряних пор 2,0 % за об'ємом досягнуто за вмісту бітуму 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля в 120 обертів. Отже, потрібних показників умісту повітряних пор можна досягнути в діапазоні вмісту бітуму від 4,2 % за масою до 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля від майже 40 до 160 обертів. Якщо орієнтуватися на середній показник умісту повітряних пор 3,5 % за об'ємом, то за вмісту бітуму 4,2 % за масою його можна досягнути за ущільнювального зусилля більше ніж 160 обертів, за вмісту бітуму 4,6 % за масою — майже в 120 обертів, а за вмісту бітуму 5,0 % за масою — більше ніж 70 обертів.

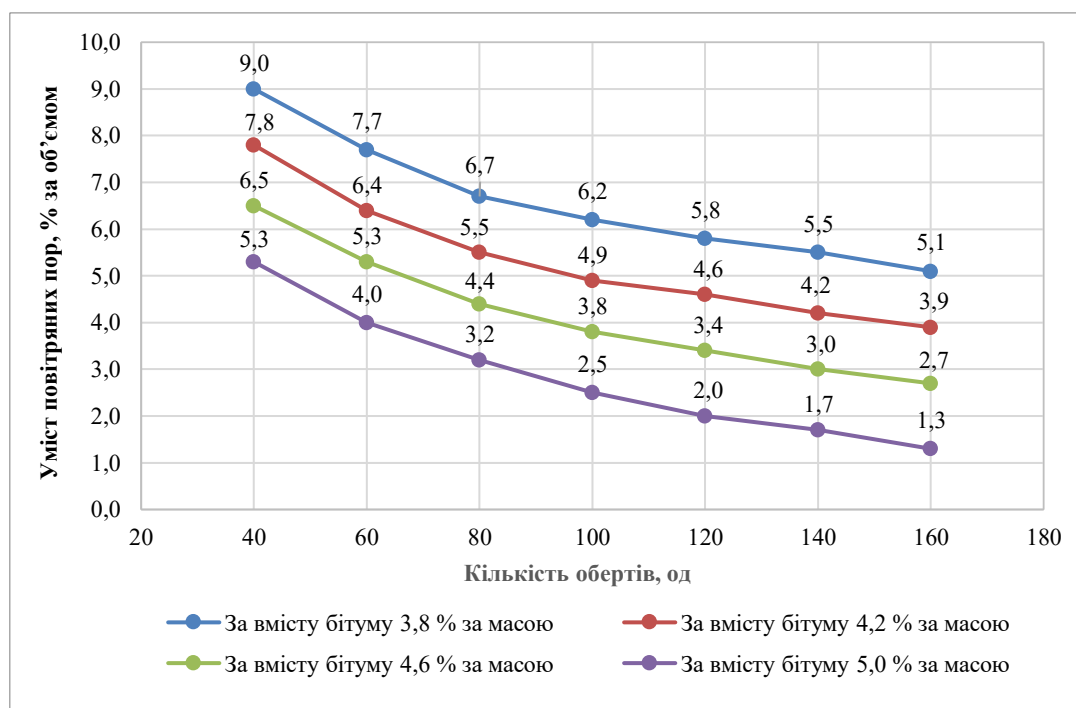


Рисунок 5 — Залежність вмісту повітряних пор асфальтобетону типу А1 від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Має місце збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, у міру збільшення вмісту бітуму та ущільнювального зусилля (**рис. 6**). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 5,0 % за масою призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 3,7 % з 47,9 % до 52,1 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 14,8 % з 47,9 % до 62,7 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму.

Наразі в Україні не встановлені вимоги до показників обсягу пор, заповнених в'язучим. Відповідно до таблиці 6.5 [2] обсяг пор, заповнених в'язучим, може становити від 65 % до 80 %. За вмісту бітуму 3,8 % за масою потрібного показника обсягу пор, заповнених в'язучим, не було досягнуто. За вмісту бітуму 4,2 % за масою потрібного показника обсягу пор, заповнених в'язучим, досягнуто майже за 100 обертів, за вмісту бітуму 4,6 % за масою — майже за 60 обертів, а за вмісту бітуму 5,0 % за масою – менше ніж за 40 обертів. Показників обсягу пор, заповнених в'язучим, понад 80 % отримано тільки для асфальтобетону з умістом бітуму 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля понад 90 обертів. Отже, потрібних показників обсягу пор, заповнених в'язучим, можна досягнути в діапазоні вмісту бітуму від 4,2 % за масою до 5,0 % за масою та ущільнювального зусилля від майже 40 до 160 обертів.

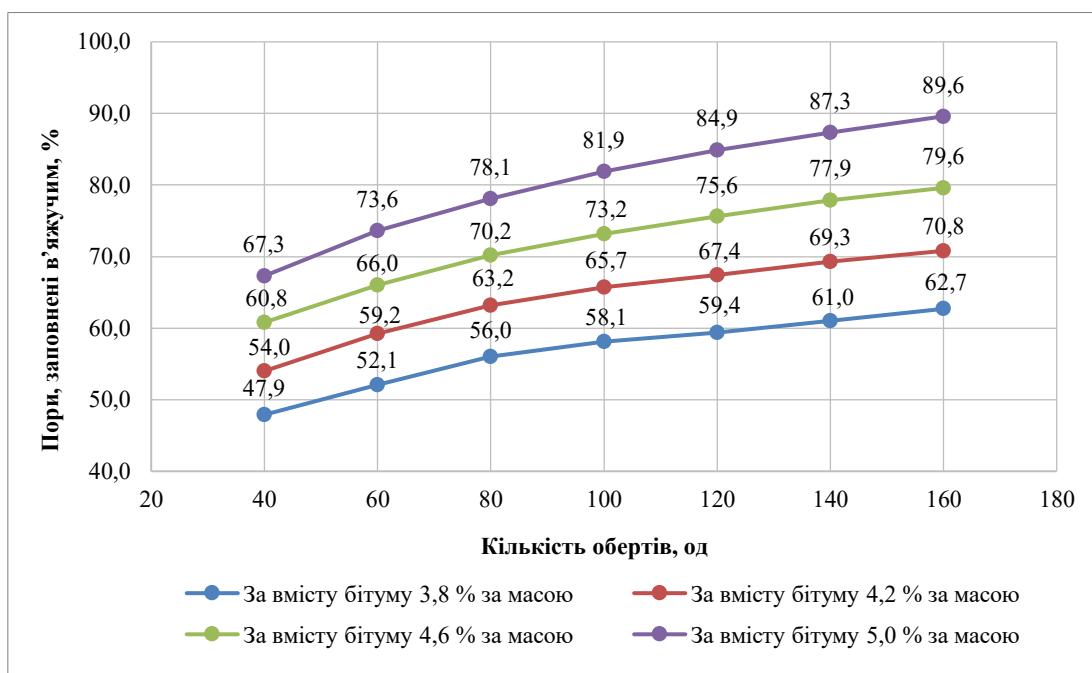


Рисунок 6 — Залежність пор, заповнених в'язучим, асфальтобетону типу А1 від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Унормованих показників властивостей асфальтобетону типу А1 може бути отримано в широкому діапазоні вмісту бітуму та ущільнювального зусилля. Навіть у разі орієнтування на середні показники вмісту повітряних пор 3,5 % діапазони вмісту бітуму та ущільнювального зусилля є надто широкими. Очевидно ущільнювальне зусилля в 160 обертів та 120 обертів може бути відкинуто у зв'язку з тим, що відповідно до таблиці 6.4 [2] найбільша кількість обертів для досягнення проєктного значення вмісту повітряних пор може становити 125 обертів, хоча в цьому випадку проєктне значення вмісту повітряних пор становить 4,0 % за об'ємом, а не 3,5 % за об'ємом, у разі застосування асфальтобетонної суміші для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з кількістю прикладання розрахункової навантаги від 30 млн за 20 років. Отже для випробуваного асфальтобетону кількість обертів для досягнення потрібних показників властивостей

буде становити понад 70 обертів. Ураховуючи, що в ДСТУ EN 12697-31 [9] кількість обертів прийнято кратною 20, потрібну кількість обертів потрібно встановити рівною 80. За такої кількості обертів та вмісту бітуму 5,0 % за масою об'ємна густина асфальтобетону становить з 2,399 Мг/м³, обсяг пор в мінеральному заповнювачі — 14,4 % за об'ємом, уміст повітряних пор — 3,2 % за об'ємом, а обсяг пор, заповнених в'язучим, — 78,1 %.

Для уточнення потрібного ущільнювального зусилля було використано принцип «точки блокування», запропонованого в [13]. Відповідно до цього принципу за потрібну кількість обертів приймають перший з трьох послідовних обертів, що призводять до зміни висоти зразка під час його виготовлення менше ніж на 0,1 мм, які йдуть щонайменше після двох серій з двох обертів, які призводять до зміни висоти зразка менше ніж на 0,1 мм (рис. 7). За вмісту бітуму 3,8 % за масою точка блокування відповідає 72 обертам. У разі збільшення вмісту бітуму потрібна кількість обертів до досягнення точки блокування поступово збільшується і за вмісту бітуму 5,0 % за масою становить 77 обертів.

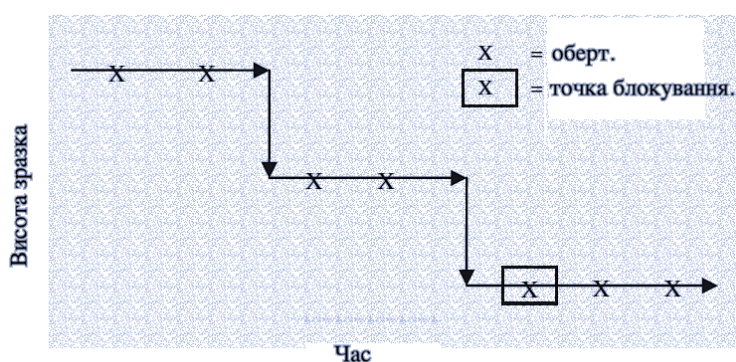


Рисунок 7 — Графічне зображення принципу «точки блокування»

Для порівняння існуючого методу ущільнення та гіраторного ущільнення було виготовлено зразки з асфальтобетонної суміші типу А1 з вмістом бітуму 5,0 % за масою. Отримані результати наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Результати випробування асфальтобетонів типу А1

Ч. ч.	Характеристика, одиниця вимірювання	Показники характеристик асфальтобетону, виготовлених	
		за 80 обертів	пресуванням
1	Уміст бітуму (понад 100 %), % за масою	5,000	5,000
2	Ущільнювальне зусилля	80 обертів	30 МПа
3	Найбільша густина асфальтобетонної суміші, Мг/м ³	2,477	2,477
4	Об'ємна густина асфальтобетону, Мг/м ³	2,399	2,363
5	Найбільша густина суміші мінеральних матеріалів, Мг/м ³	2,669	2,669
6	Пори у мінеральному заповнювачі, % за об'ємом	14,400	15,700
7	Уміст повітряних пор, % за об'ємом	3,200	4,600
8	Пори, заповнені в'язучим, %	78,100	70,600
9	Водонасичення, % за об'ємом	2,500	3,800
10	Міцність на стиск за температури 0 °С, МПа	8,200	7,600
11	Міцність на стиск за температури 20 °С, МПа	3,200	3,000
12	Міцність на стиск за температури 50 °С, МПа	1,500	1,400

Об'ємна густина асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші пресуванням, є меншою за об'ємну густину асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші за 80 обертів. Відношення відповідних об'ємних густин становить 0,985. Такі результати можна вважати позитивними, оскільки зазвичай коефіцієнт ущільнення асфальтобетонної суміші типу А1 у шарі дорожнього одягу становить понад 1,00, що свідчить про недостатнє ущільнення асфальтобетонної суміші за лабораторних умов. У разі застосування 80 обертів для лабораторного ущільнення можна очікувати, що коефіцієнт ущільнення асфальтобетонної суміші типу А1 у шарі дорожнього одягу не буде перевищувати 1,00. Нижчий показник об'ємної густини призводить до збільшення вмісту повітряних пор та обсягу пор у мінеральному заповнювачі, а також до зменшення обсягу пор, заповнених в'язким. Важливим є те, що метод ущільнення не призводить до суттєвих змін міцності асфальтобетону на стиск. За всіх температур випробування різниця між міцністю асфальтобетонів на стиск становить менше ніж 10 % та ймовірно пов'язана з більшим ущільненням асфальтобетонної суміші за гіраторного ущільнення.

Дослідження впливу ущільнювального зусилля та вмісту бітуму на властивості асфальтобетонів типу А-Б

Для цього дослідження було прийнято асфальтобетони, виготовлені з використанням гіраторного ущільнювача за кількості обертів від 40 до 160 та вмісту бітуму від 3,8 % за масою до 4,4 % за масою.

Результати випробування показали, що як і у випадку асфальтобетонної суміші типу А1 із збільшенням вмісту бітуму має місце зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші (рис. 8). Залежність зменшення найбільшої густини від вмісту бітуму має лінійний характер.

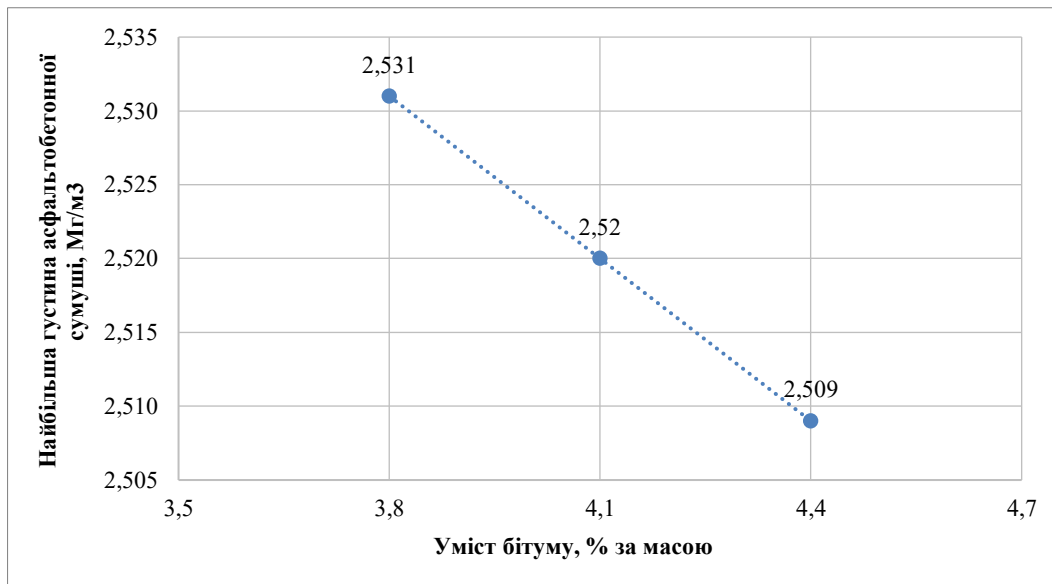


Рисунок 8 — Залежність найбільшої густини асфальтобетонної суміші типу А-Б від вмісту бітуму

Зворотну тенденцію має залежність об'ємної густини асфальтобетону від вмісту бітуму (рис. 9). У цьому випадку збільшення вмісту бітуму призводить до зростання об'ємної густини асфальтобетону. За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до зростання об'ємної густини на 0,049 Мг/м³ з 2,269 Мг/м³ до 2,318 Мг/м³. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зростання об'ємної густини на 0,104 Мг/м³ з 2,269 Мг/м³ до 2,373 Мг/м³. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Вміст бітуму не впливає на залежність зміни об'ємної густини асфальтобетону від кількості обертів.

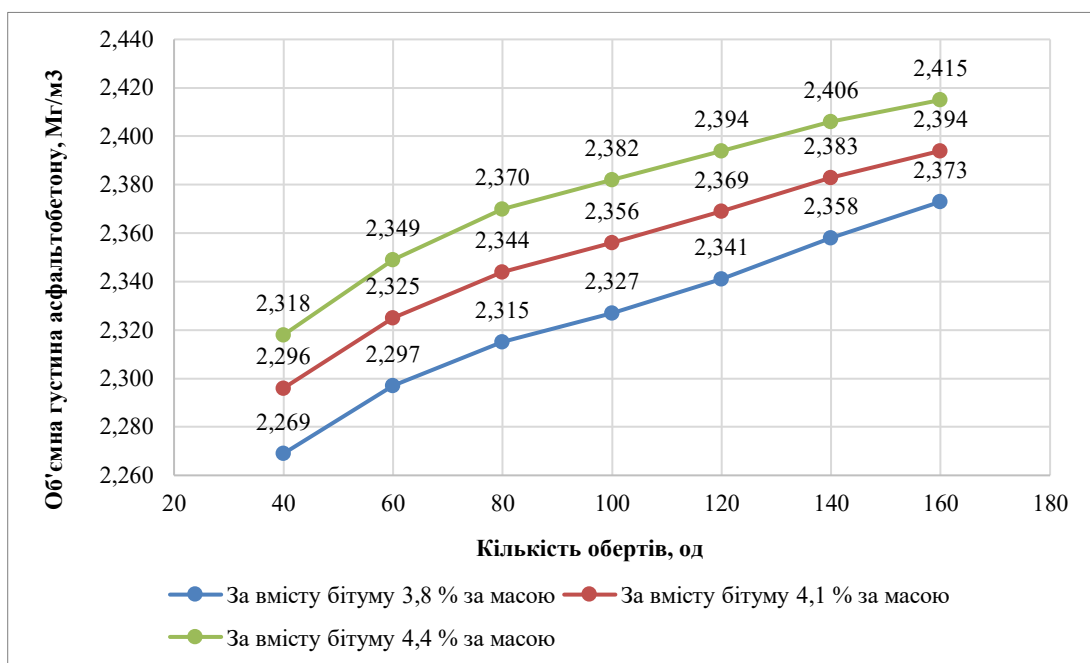


Рисунок 9 — Залежність об'ємної густини асфальтобетону типу А-Б від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

Збільшення об'ємної густини асфальтобетону пов'язано як із поліпшенням ущільнення асфальтобетонної суміші в результаті збільшення вмісту бітуму, так і з більшим заповненням повітряних пор, про що свідчать значення вмісту пор у мінеральному заповнювачі (**рис. 10**). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 1,3 % за об'ємом з 18,5 % за об'ємом до 17,2 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту пор у мінеральному заповнювачі на 3,7 % за об'ємом з 18,5 % за об'ємом до 14,8 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту пор у мінеральному заповнювачі від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що обсяг пор в мінеральному заповнювачі в асфальтобетоні типу А-Б повинен становити не більше ніж 23 % за об'ємом. З **рис. 10** видно, що всі випробувані асфальтобетони мали обсяг пор у мінеральному заповнювачі менше ніж 23 % за об'ємом.

Схожою є залежність зміни вмісту повітряних пор від вмісту бітуму та кількості обертів (**рис. 11**). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 2,7 % за об'ємом з 10,3 % за об'ємом до 7,6 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до зменшення вмісту повітряних пор на 4,1 % за об'ємом з 10,3 % за об'ємом до 6,2 % за об'ємом. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму. Уміст бітуму не впливає на залежність зміни вмісту повітряних пор від кількості обертів.

Наразі в ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12] встановлено, що вміст повітряних пор в асфальтобетоні типу А-Б повинен становити не більше ніж 10,0 % за об'ємом. Нижній показник умісту повітряних пор не встановлено, хоча відповідно до класифікації цей асфальтобетон повинен мати вміст повітряних пор не менше ніж 5,0 % за об'ємом. З **рис. 11** видно, що за вмісту бітуму 3,8 % за масою у діапазоні ущільнювального зусилля понад 40 обертів до понад 80 обертів уміст повітряних пор відповідає встановленим показникам.

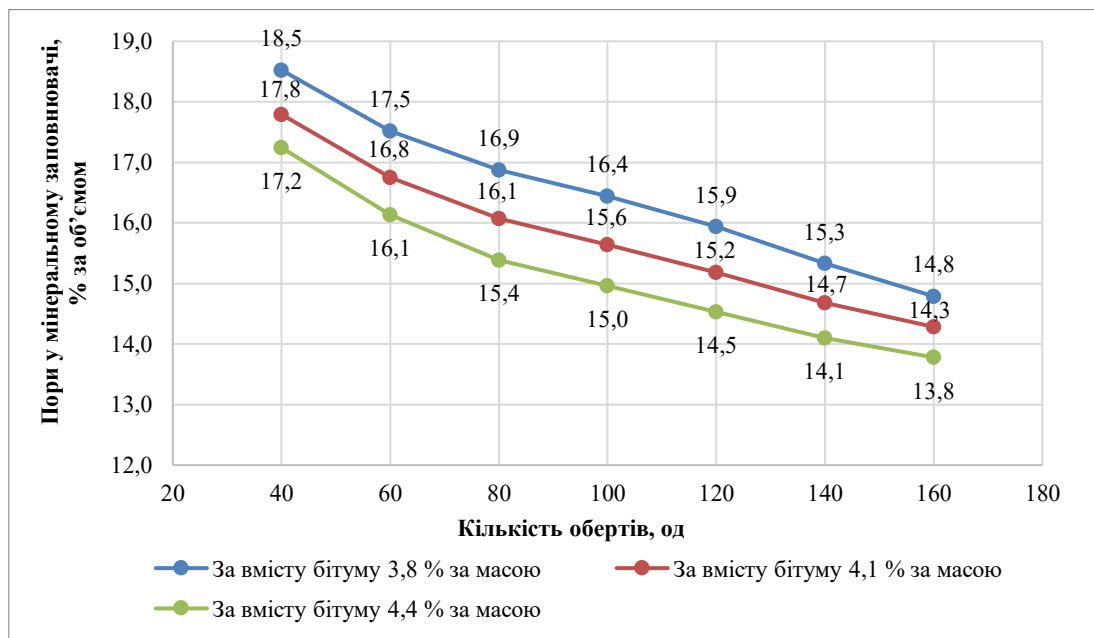


Рисунок 10 — Залежність обсягу пор у мінеральному заповнювачі асфальтобетону типу А-Б від умісту бітуму та ущільнювального зусилля

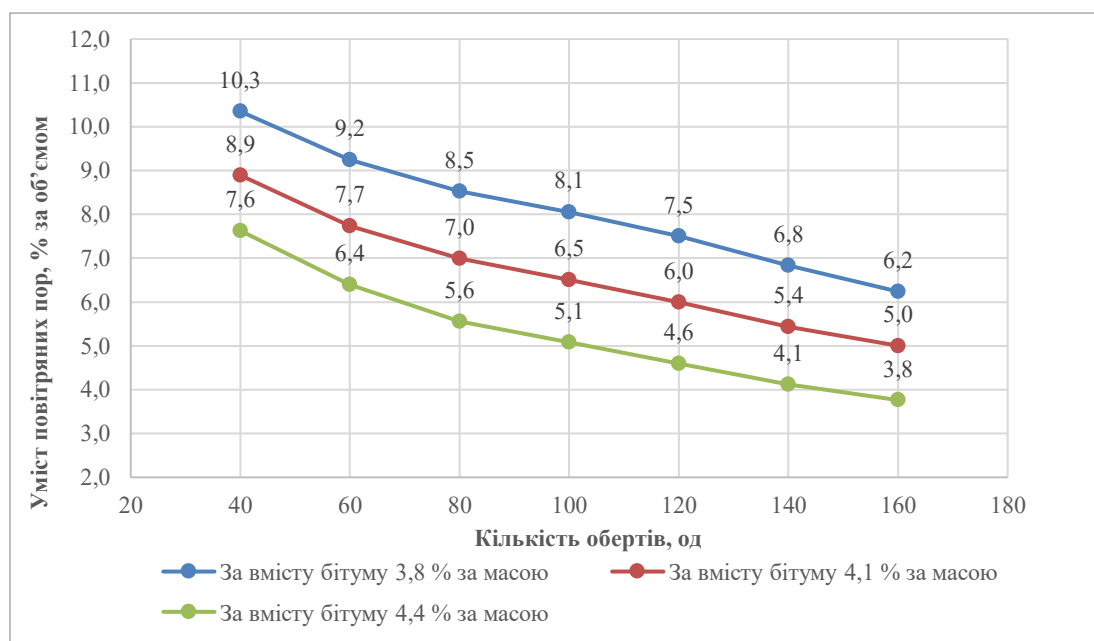


Рисунок 11 — Залежність вмісту повітряних пор асфальтобетону типу А-Б від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення вмісту повітряних пор, за вмісту бітуму 4,1 % за масою, ущільнювального зусилля менше ніж 40 обертів та більше ніж 160 обертів може бути отримано показники вмісту повітряних пор, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12], за вмісту бітуму 4,4 % за масою, ущільнювального зусилля менше ніж 40 обертів та близько 100 обертів може бути отримано показники вмісту повітряних пор, які відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12]. Отже, потрібних показників вмісту повітряних

пор можна досягнути в діапазоні вмісту бітуму від 3,8 % за масою до 4,4 % за масою та ущільнювального зусилля від менше ніж 40 обертів до більше ніж 160 обертів. Якщо орієнтуватися на середній показник умісту повітряних пор 7,5 % за об'ємом, то за вмісту бітуму 3,8 % за масою його можна досягнути за ущільнювального зусилля 120 обертів, за вмісту бітуму 4,1 % за масою — майже 60 обертів, а за вмісту бітуму 4,4 % за масою — майже 40 обертів.

Має місце збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, у міру збільшення вмісту бітуму та ущільнювального зусилля (рис. 12). За 40 обертів збільшення вмісту бітуму з 3,8 % за масою до 4,4 % за масою призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 11,7 % з 44,1 % до 55,8 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні ущільнювального зусилля від 40 обертів до 160 обертів. За вмісту бітуму 3,8 % за масою збільшення кількості обертів з 40 до 160 призводить до збільшення обсягу пор, заповнених в'язучим, на 13,7 % з 44,1 % до 57,8 %. Відповідна тенденція має місце у всьому діапазоні вмісту бітуму.

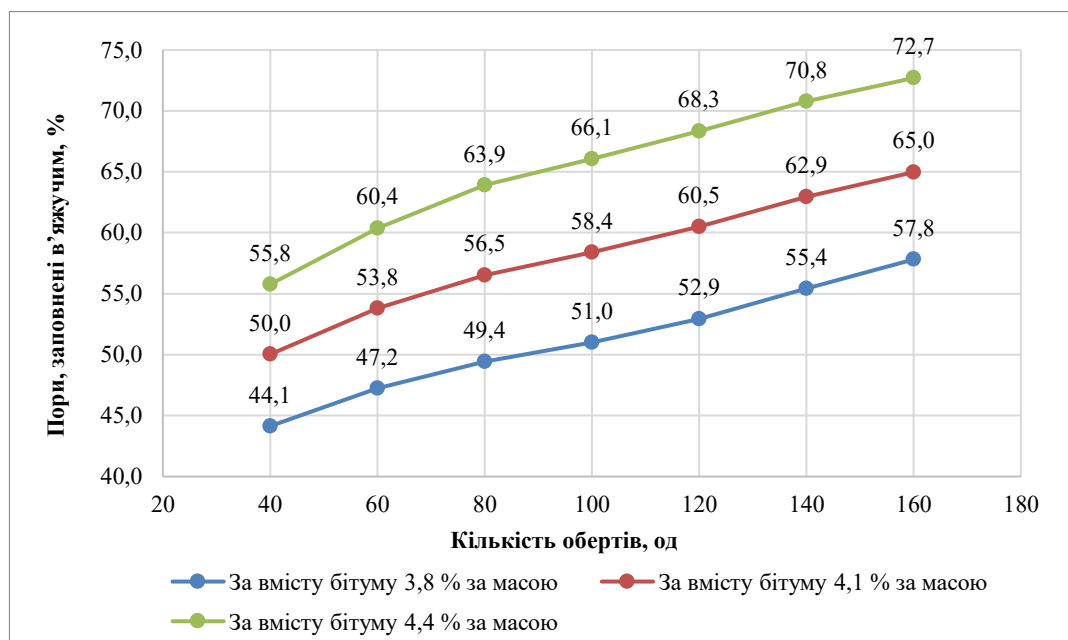


Рисунок 12 — Залежність пор, заповнених в'язучим, асфальтобетону типу А-Б від вмісту бітуму та ущільнювального зусилля

Вимоги [2] щодо обсягу пор, заповнених в'язучим, застосовні до асфальтобетону з проектним значенням умісту повітряних пор 4,0 % за об'ємом або ж до щільного асфальтобетону відповідно до класифікації ДСТУ Б В.2.7-119:2011 [12], тому на них не доцільно орієнтуватися під час оцінювання показника обсягу пор, заповнених в'язучим, пористого асфальтобетону. Можна констатувати, що за ущільнювального зусилля у 80 обертів для випробуваного асфальтобетону показники вмісту повітряних пор становлять від 5,6 % за об'ємом до 8,5 % за об'ємом, а показники пор, заповнених в'язучим, — від 49,4 % до 63,9 %. Ймовірно оптимальний діапазон показників вмісту пор, заповнених в'язучим, для пористого асфальтобетону буде наближеним до вказаного діапазону показників.

Як і в попередньому випадку потрібну кількість обертів доцільно встановити рівною 80. За такої кількості обертів та вмісту бітуму 4,1 % за масою об'ємна густина асфальтобетону становить з 2,344 Мг/м³, обсяг пор в мінеральному заповнювачі — 16,1 % за об'ємом, уміст повітряних пор — 7,0 % за об'ємом, а обсяг пор, заповнених в'язучим — 56,5 %.

Використавши концепцію «точки блокування» встановлено, що за вмісту бітуму 4,1 % за масою «точка блокування» відповідає 67 обертам, тобто отримана асфальтобетонна суміш типу А-Б є більш легкоущільнюваною ніж асфальтобетонна суміш типу А1.

Для порівняння існуючого методу ущільнення та гіраторного ущільнення було виготовлено зразки з асфальтобетонної суміші типу А-Б з вмістом бітуму 4,1 % за масою. Отримані результати наведені в табл. 7.

Таблиця 7

Результати випробування асфальтобетонів типу А-Б

Ч. ч.	Характеристика, одиниця вимірювання	Показники характеристик асфальтобетону, виготовлених	
		за 80 обертів	пресуванням
1	Уміст бітуму (понад 100 %), % за масою	4,1	4,1
2	Ущільнювальне зусилля	80 обертів	30 МПа
3	Найбільша густина асфальтобетонної суміші, Мг/м ³	2,520	2,520
4	Об'ємна густина асфальтобетону, Мг/м ³	2,344	2,331
5	Найбільша густина суміші мінеральних матеріалів, Мг/м ³	2,683	2,683
6	Пори у мінеральному заповнювачі, % за об'ємом	16,1	16,5
7	Уміст повітряних пор, % за об'ємом	7,0	7,5
8	Пори, заповнені в'язким, %	56,5	54,6
9	Міцність на стиск за температури 20 °С, МПа	2,5	2,3
10	Міцність на стиск за температури 50 °С, МПа	1,2	1,1

Об'ємна густина асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші пресуванням, є меншою за об'ємну густину асфальтобетону, виготовленого ущільненням асфальтобетонної суміші за 80 обертів. Відношення відповідних об'ємних густин становить 0,994, що свідчить про близькість отриманих значень об'ємної густини. Нижчий показник об'ємної густини призводить до незначного збільшення вмісту повітряних пор та обсягу пор у мінеральному заповнювачі, а також до зменшення обсягу пор, заповнених в'язким. Важливим є те, що метод ущільнення не призводить до суттєвих змін міцності асфальтобетону на стиск.

Висновки

Об'ємні властивості асфальтобетонів залежать від вмісту бітуму в асфальтобетонній суміші. Збільшення вмісту бітуму призводить до зменшення найбільшої густини асфальтобетонної суміші, зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі, а також збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язким.

Об'ємні властивості асфальтобетонів суттєво залежать від ущільнювального зусилля. Із збільшенням кількості обертів має місце збільшення об'ємної густини асфальтобетону та вмісту пор, заповнених в'язким, а також зменшення вмісту повітряних пор та обсягу пор в мінеральному заповнювачі. Зміна показників об'ємних властивостей асфальтобетонів має згасаючий характер із збільшенням кількості обертів.

Потрібний уміст повітряних пор може бути досягнуто в широкому діапазоні вмісту бітуму та ущільнювального зусилля. Використання принципу «точки блокування» дозволило визначити оптимальну кількість обертів на рівні 80.

Порівняльні дослідження асфальтобетонів, виготовлених ущільненням за 80 обертів та пресуванням за тиску 30 МПа, показали що отримувані асфальтобетони типу А-Б мають близькі показники об'ємних та механічних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення є дещо ефективнішим. Різниця між показниками вмісту повітряних пор становить 0,5 % за об'ємом, різниця між показниками міцності — менше ніж 10 %, а відношення показників об'ємної густини становить 0,994.

У випадку асфальтобетонів типу А1 має місце суттєвіша відмінність в показниках об'ємних властивостей, при цьому гіраторне ущільнення є ефективнішим. Різниця між показниками вмісту повітряних пор становить 1,4 % за об'ємом, різниця між показниками міцності — менше ніж 10 %, а відношення показників об'ємної густини становить 0,985.

Отримані відмінності можна пов'язати з процедурою наповнення форми за використання пресування. Відповідно до якої виконують пошарове штикування асфальтобетонної суміші, яке призводить до переміщення дрібного заповнювача донизу та, відповідно, концентрування крупного заповнювача у верхній частині проштикованого шару. У разі гіраторного ущільнення таке штикування не виконують. Також отримані відмінності можна пов'язати з умовами нерівномірного навантажування у процесі ущільнювання, яке суттєвого зростає з часом навантажування та може призводити до подрібнення крупного заповнювача на завершальній стадії ущільнення.

Для виготовлення зразків асфальтобетону під час підбирання складу крупнозернистих асфальтобетонних сумішей та контролювання їх вироблення доцільно використовувати ущільнювальне зусилля у 80 обертів, яке є ефективнішим за ущільнення пресуванням під тиском 30 МПа, сприятиме отриманню більш «жорстких» асфальтобетонних сумішей та належному ущільненню асфальтобетонних сумішей у виробничих умовах, яке не буде ефективнішим за лабораторне ущільнення, та не буде призводити до отримання асфальтобетону з низьким умістом повітряних пор. Ураховуючи загальні тенденції щодо зменшення ущільнювального зусилля із зменшенням кількості прикладань розрахункової навантаги, для підбирання складу асфальтобетонних сумішей для влаштування шарів дорожнього одягу автомобільних доріг з незначною кількістю прикладань розрахункової навантаги може бути використано ущільнювальне зусилля у 60 обертів.

Проведення наступних лабораторних досліджень потрібно спрямувати на встановлення оптимального ущільнювального зусилля для дрібнозернистих та піщаних асфальтобетонних сумішей за використання гіраторного ущільнення, а також на оптимізування лабораторного ущільнення пресуванням.

Список літератури

1. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С. Огляд методів проектування складу асфальтобетонних сумішей. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 81–90. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081>.
2. Asphalt Design Mix Methods. 7th Edition. USA, 2014. 188 p.
3. The Shell Bitumen Handbook, Sixth edition, Dr Robert N. Hunter, Andy Self and Professor John Read, Shell International Petroleum Company Ltd, 2015.
4. AASHTO R 35-22 Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022. (Інформація та документація).
5. AP-T376-24 Validation of Superpave™ Method of Asphalt Compaction for Australasia. ISBN: 978-1-922994-24-0. (Інформація та документація).
6. Копинець І. В., Соколов О. В., Желтобрюх А. Д., Головченко В. С. Залежність об'ємних властивостей асфальтобетону від найбільшого номінального розміру зерен заповнювача та методу ущільнення. *Дороги і мости*. Київ, 2023. Вип. 27. С. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091>.
7. T. W. Kennedy et al., Superior performing asphalt pavements, superpave: the product of the SHRP asphalt research program. Washington, DC, USA: Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994.
8. ДСТУ EN 12697-35:2019 Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 35. Лабораторне змішування. Київ, 2019. (Інформація та документація).
9. ДСТУ EN 12697-31:2021 Бітумінеральні суміші. Методи випробування. Частина 31. Підготування зразка гіраторним ущільнювачем. Київ, 2022. 19 с. (Інформація та документація).
10. ДСТУ EN 12697-6:2019 Бітумінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 6. Визначення об'ємної щільності бітумінеральних зразків. Київ, 2019. 13 с. (Інформація та документація).
11. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2016. 87 с. (Інформація та документація).
12. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 49 с. (Інформація та документація).
13. Vavrik, W. R. 2000. Asphalt mixture design concepts to develop aggregate interlock. Champaign, IL: Univ. of Illinois at Urbana-Champaign.

References

1. Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov, Anton Zheltobriukh, Vasyl Holovchenko. Review of methods for asphalt mixtures design. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 81–90. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.081> [in Ukrainian].
2. Asphalt Design Mix Methods. 7th Edition. USA, 2014. 188 p. [in English].
3. The Shell Bitumen Handbook, Sixth edition, Dr Robert N. Hunter, Andy Self and Professor John Read, Shell International Petroleum Company Ltd, 2015 [in English].
4. AASHTO R 35-22 Standard Practice for Superpave Volumetric Design for Asphalt Mixtures. American Association of State Highway and Transportation Officials, 2022. (Information and documentation) [in English].
5. AP-T376-24 Validation of Superpave™ Method of Asphalt Compaction for Australasia. ISBN: 978-1-922994-24-0 [in English].
6. Ivan Kopynets, Oleksii Sokolov, Anton Zheltobriukh, Vasyl Holovchenko. Dependence of asphalt concrete volumetric properties on the largest nominal aggregate grain size and compaction method. *Dorogi i mosti* [Roads and bridges]. Kyiv, 2023. Issue 27. P. 91–110. DOI: <https://doi.org/10.36100/dorogimosti2023.27.091> [in Ukrainian].
7. T. W. Kennedy et al., Superior performing asphalt pavements, superpave: the product of the SHRP asphalt research program. Washington, DC, USA: Strategic Highway Research Program, National Research Council, 1994 [in English].
8. DSTU EN 12697-35:2019 Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuvannya. Chastyna 35. Laboratorne zmishuvannya. Kyiv, 2019. (Information and documentation) [in Ukrainian].
9. DSTU EN 12697-31:2021 Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuvannya. Chastyna 31. Pidhotuvannya zrazka hiratornym ushchil'nyuvachem. Kyiv, 2022. 19 p. (Informatsiya ta dokumentatsiya) [in Ukrainian].
10. DSTU EN 12697-6:2019 Bitumomineral'ni sumishi. Metody vyprobuvannya haryachykh asfal'tobetonnykh sumishey. Chastyna 6. Vyznachennya ob'yemnoyi shchil'nosti bitumomineral'nykh zrazkiv. Kyiv, 2019. 13 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
11. DSTU B V.2.7-319:2016 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Metody vyprobuvannya. Kyiv, 2016. 87 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
12. DSTU B V.2.7-119:2011 Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy. Kyiv, 2011. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].
13. Vavrik, W. R. 2000. Asphalt mixture design concepts to develop aggregate interlock. Champaign, IL: Univ. of Illinois at Urbana-Champaign [in English].

Ivan Kopynets, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-0908-4795>

Anton Zheltobriukh, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0003-0764-8793>

Oleksii Sokolov, Ph.D., <https://orcid.org/0000-0002-4694-9647>

Oksana Sokolova, <https://orcid.org/0000-0003-4202-8661>

Alina Yunak, <https://orcid.org/0000-0002-5294-5554>

State Enterprise "National Institute for Infrastructure Development" (SE "NIDI"), Kyiv, Ukraine

**LABORATORY COMPACTION OF COARSE-GRAINED
ASPHALT MIXTURES USING A GYRATORY COMPACTOR****Abstract**

Introduction. In Ukraine, the procedure for designing asphalt mixtures includes selecting the ratio of aggregates, determining the optimal bitumen content, testing the asphalt concrete with the selected bitumen content, and refining the mix design if necessary. A similar procedure is used in the United States, the European Union, Australia, and other countries. However, the key difference lies in the equipment used to prepare asphalt concrete samples.

Problem Statement. In recent years, the method of asphalt concrete sample preparation in Ukraine using compression compaction has been subject to criticism. The main concerns include the lack of a clearly defined loading rate, potential crushing of mineral aggregate grains during sample preparation, and the fact that the compaction achieved in laboratory conditions is often lower than that in road pavement layers. These factors may lead to suboptimal asphalt mixture design and premature defect formation during operation. This necessitates research to optimize laboratory compaction of asphalt concrete mixtures, particularly through the use of a gyratory compactor.

Objective. To implement a gyratory compactor for laboratory compaction of coarse-grained asphalt mixtures.

Materials and Methods. Literature analysis and laboratory research.

Results. The volumetric properties of asphalt concrete depend on the bitumen content in the asphalt mixture. An increase in bitumen content leads to a decrease in the maximum density of the asphalt mixture, a reduction in air voids and voids in the mineral aggregate, as well as an increase in the bulk density of asphalt concrete and the volume of voids filled with binder. The volumetric properties of asphalt concrete are significantly influenced by compaction effort. With an increasing number of gyrations, bulk density and the volume of binder-filled voids increase, while air voids and the volume of voids in the mineral aggregate decrease. Changes in volumetric properties follow a diminishing trend with an increasing number of gyrations. The required air void content can be achieved over a wide range of bitumen content and compaction effort. The "locking point" principle helped determine the optimal number of gyrations at 80. Comparative studies of asphalt concrete samples compacted at 80 gyrations and under a compression pressure of 30 MPa showed that type A-B asphalt concretes exhibit similar volumetric and mechanical properties, with gyratory compaction being slightly more effective. In the case of type A1 asphalt concretes, a more significant difference in volumetric properties was observed, with gyratory compaction proving to be more effective. The compaction method had minimal impact on the mechanical properties of asphalt concretes.

Conclusions. For asphalt concrete sample preparation during the design of coarse-grained asphalt mixtures and quality control, it is advisable to use a compaction effort of 80 gyrations. This method is more effective than compression under a pressure of 30 MPa, promotes the production of "stiffer" asphalt mixtures, and ensures adequate field compaction that does not exceed laboratory compaction, thereby preventing the formation of asphalt with excessively low air void content. Considering the general trend of reducing compaction effort with decreasing applied traffic loads, a compaction effort of 60 gyrations may be used for designing coarse-grained asphalt mixtures intended for pavement layers subjected to low traffic loads.

Keywords: asphalt concrete, asphalt mixture, bitumen, gyratory compaction, aggregate, mechanical properties, volumetric properties, optimal bitumen content, compression compaction.