https://doi.org/10.36100/dorogimosti2019.19.094

УДК 625.7/.8

Желтобрюх А. Д., *https://orcid.org/0000-0003-0764-8793*
Малій П. Р., *https://orcid.org/0000-0002-2039-5973*
Одегова Т. С., *https://orcid.org/0000-0002-2008-8164*
Тимощук О. Ю., *https://orcid.org/0000-0002-9230-1200*

Державне підприємство «Державний дорожній науково-дослідний інститут імені М.П. Шульгіна»(ДП «ДержДорНДІ»), м. Київ, Україна

ВИКОРИСТАННЯ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ СПІНЕНОГО БІТУМУ

Анотація

Вступ. Надано хронологічний аналіз використання технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму за кордоном. Визначено переваги використання цієї технології.

Проблематика. Асфальтобетонні суміші, виготовлені з використанням спінених бітумів, широко використовуються, зокрема в таких країнах як Великобританія, США, Нідерланди, Австралія, де вже прийнято стандарти щодо застосування спіненого бітуму під час процесу виготовлення асфальтобетонних сумішей, оскільки їх застосування за рахунок особливої технології дозволяє знизити кількість енерговитрат, необхідних для виготовлення суміші, та підвищити якість та довговічність дорожнього покриття. Удорожчання енергоресурсів та необхідність підвищення техніко-експлуатаційних показників автомобільних доріг вимагає від дорожньої галузі України постійного розвитку та запровадження кардинальних змін щодо технології виконання будівельно-ремонтних робіт. Саме з цих причин впровадження технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму є важливим галузевим завданням. На теперішній час в Україні відсутні нормативні документи, які б регламентували виконання робіт за даною технологією, що унеможливлює її практичне використання та обмежує оптимізацію та розвиток дорожньої галузі України.

Мета. Мета роботи полягала у дослідженні доцільності використання в Україні асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів.

Матеріали і методи. Проведено експериментальні випробування традиційних гарячих асфальтобетонних сумішей з та без додавання регенерованого асфальтобетонуз різним вмістом як вихідного, так і спіненого бітуму.

Результати. Встановлено доцільність використання асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму. Надано рекомендації щодо технологічних параметрів приготування, транспортування, укладання та ущільнення таких сумішей.

Висновки. Проведені дослідження показали, що за фізико-механічними показниками асфальтобетони як на вихідному, так і на спіненому бітумі відповідають вимогам чинних нормативних документів України. Відзначено переваги використання спіненого бітуму, а саме: зниження температури приготування та ущільнення суміші, економія оптимального вмісту бітуму та енергоресурсів. Отримані результати вказують на доцільність застосування технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів в Україні.

Ключові слова: асфальтобетон, асфальтобетонні суміші, бітум, в'яжуче, дорожнє будівництво, спінений бітум, температура, фізико-механічні показники.

Вступ

Технологія приготування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів, що мають підвищену поверхневу активність, меншу умовну в'язкість і більшу питому поверхню, дає змогу знизити енерговитрати, зменшити шкідливий вплив на довкілля за рахунок зниження викидів у повітря, розширити сезон улаштування сумішей, збільшити відстань транспортування, підвищити довговічність покриттів.

Вперше почали застосовувати спінені бітуми у 1957 році на інженерно-експериментальній станції університету штату Айова. Професором університету L. Csanyi було запропоновано використовувати спінений бітум в якості в'яжучого для ґрунтів. [1]. Для спінення було використано водяну пару. У 1960-х роках австралійською компанією Mobileoil було придбано права на технологію, запропоновану L. Csanyi з деякими удосконаленнями. Замість спінення за технологією із використанням пари гарячій бітум почали спінювати за допомогою холодної води у спеціальній розширювальній камері. Ця компанія не використовувала патент, і тільки із закінченням терміну його дії почалися інтенсивні дослідження у цьому напрямку у різних країнах світу.

Починаючи з 1990-х років лідером використання такої технологіє стала компанія WIRTGEN, якою було розроблено лабораторну установку WLB 10 для отримання спіненого бітуму у лабораторних умовах.

У зв'язку із дефіцитом матеріалів та бажаннях зменшити грошові витратина дорожнє будівництво така технологія знайшла свою реалізацію у ПАР [2]. У 2002 році було розроблено Тимчасовий технічний посібник TG2 із застандартизованою методологією добору складу суміші, її оптимізація, проектування шарів дорожнього одягу із сумішей на основі спінених бітумів [3].

На даний час ця технологія знайшла широке розповсюдження з відповідним удосконаленням на підставі попередньо отриманого досвіду у таких країнах як Нідерланди, Нова Зеландія, Великобританія, США, Австралія та інші [4-12].

Американською компанією AstecInc. розроблено систему підготовки теплих асфальтобетонних сумішей GreenPac. У США приблизно 90 % теплих сумішей отримують саме цим способом. На даний час кількість заводів, що працюють за цією технологією, більше 800 у всьому світі. Особливою популярністю така технологія користується у Казахстані. У 2014 році на підставі лабораторних випробувань тадослідного застосування технічний інститут АО «КАЗДОРНИИ» розробив відомчій нормативно-технічний документ щодо приготування та застосуванню асфальтобетонних сумішей з енергозберігаючими добавками («теплі суміші») [13].

Оскільки технологія приготування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів має значні переваги, які підтверджено світовим досвідом, необхідно було дослідження можливості застосування даної технології в Україні. Для цього необхідно було визначити можливість застосування цієї технології в рамках існуючих будівельних норм України.

Основна частина

Дослідження можливості застосування технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі спіненого бітуму було виконано в ДП «ДерждорНДІ» [14]. Ці дослідження передбачали проведення ряду експериментів щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів.

На першому етапі експериментальних досліджень виготовляли контрольні зразки з традиційної гарячої асфальтобетонної сумішіз додаванням регенерованої асфальтобетонної суміші (РАП) у кількості 25 % та без неї на звичайному (вихідному) бітумі та з традиційної гарячої асфальтобетонної суміші з додавання РАП та без неї на спіненому бітумі. Кількість бітуму варіювалась в інтервалі від 4,0 % до 5,5 %.

Для приготування асфальтобетонів на основі вихідних та спінених бітумів використовували: щебінь фракції (20 – 40) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75 [15]; щебінь фракції (10 – 20) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75[15]; щебінь фракції (5 – 10) мм згідно з ДСТУ Б В.2.7-75 [15]; пісок із відсівів подрібнення виверженних гірських порід фракції (0 – 5) мм згідно з ДСТУ Б.В.2.7-210 [16]; мінеральний порошок згідно з ДСТУ Б В.2.7-121 [17]; РАП; бітум марки БНД 60/90 згідно з ДСТУ 4044 [18].

Під час виконання дослідження були проведені випробування таких асфальтобетонів:

– гарячий дрібнозернистий пористий асфальтобетон неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А-Б (АСГ.Др.П.А-Б.НП.І)на вихідному бітумі БНД 60/90, з вмістом бітуму 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %;

– гарячий крупнозернистий щільний асфальтобетон неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А1 (АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І) на вихідному бітумі БНД 60/90, з вмістом бітуму 5,0 %, 5,5 %, 6,0 %;

– гарячий крупнозернистий щільний асфальтобетон неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А1 (+РАП 25%) (АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І + РАП) на вихідному бітумі БНД 60/90, з вмістом бітуму 4,5 %, 5,0%, 5,5 %;

– гарячий дрібнозернистий пористий асфальтобетон неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А-Б (АСГ.Др.П.А-Б.НП.І) на спіненому бітумі БНД 60/90, з вмістом бітуму 4,0 %, 4,5 %, 5,0 %;

– гарячий крупнозернистий щільний асфальтобетон неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А1 (АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І) на спіненому бітумі БНД 60/90, з вмістом бітуму 4,5 %, 5,0 %, 5,5 %;

– гарячий крупнозернистий щільний асфальтобетон неперервчастої гранулометрії, марки І, типу А1 (+РАП 25%) (АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І + РАП) на спіненому бітумі БНД 60/90, з вмістом бітуму 4,0 %, 4,5%, 5,0 %.

Під час застосування спінених бітумів технологічний процес приготування асфальтобетонних сумішей суттєво не змінювався та здійснювався з дотриманням стандартної послідовності та змісту технологічних операції згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 [19] та ДСТУ Б В.2.7-119 [20]. При використанні спінених бітумів готування мінеральних матеріалів (піску, щебню і мінерального порошку), їх просушування, фракціонування, дозування і подача у змішувач виконувались у такій же послідовності, що і при звичайній технології приготування асфальтобетонних сумішей. Різниця утехнології полягала лише у зміні процесів підготовки і подачі бітуму, які забезпечують його введення у змішувач у спіненому стані. Процес спінення бітуму складався з таких технологічних операцій:

– нагрівання вихідного бітуму до температури 160 °С;

– поступове вприскування під тиском повітря невеликої порції холодної води (від 2 % до 4 % від маси бітуму) у гарячий бітум у спеціальній камері;

– перемішування суміші у камері впродовж (10 – 20) с до появи піни.

Завдяки ефекту спінювання, під час якого бітум переходив у відносно стійку тонкодисперсну гетерогенну систему, яка складалась з в’яжучого, повітря, води, пари, суміш характеризувався пластичністю, полегшувався процес її перемішування, відбувався більш рівномірний розподіл бітуму по поверхні мінеральних матеріалів, що супроводжувався покриттям усіх мінеральних часток тонкою бітумною плівкою. Тим самим зменшувались технологічні температури приготування суміші. Для забезпечення необхідної однорідності асфальтобетонної суміші на спіненому бітумі та потрібного вкриття бітумом кам’яних матеріалів було добрано оптимальні властивості спіненого бітуму, які характеризувались ступенем спінювання та періодом півроспаду. Ступінь спінювання (показник зростання об’єму) оцінювалась збільшенням об’єму

бітуму (ΔV) у спіненому стані відносно початкового об'єму, період піврозпаду ($T_{1/2}$) – здатність спіненого в'яжучого зберігати свій об'єм у часі. У таблиці 1 наведено дані щодо залежності показника зростання об'єму піни та періоду піврозпаду від кількості води.

Таблиця 1

Залежність показника зростання об'єму піни та періоду піврозпаду від кількості води

Кількість води для спінювання, % від кількості в'яжучого	1	2	3	4	5
Показник зростання об'єму (ΔV)	6	16	23	31	33
Період піврозпаду піни ($T_{1/2}$), с	30	20	11	7	7

При додаванні води у кількості (2 - 3) % від кількості в'язного спостерігалися найбільш оптимальні значення показників зростання об'єму та періоду піврозпаду піни. Під час приготування традиційної суміші температура вихідного бітуму під час перемішування становила (140 - 155) °С, мінерального матеріалу – (170 - 180) °С. Температура під час ущільнення знаходилась в межах (135 - 145) °С. Під час приготування суміші на основі спіненого бітуму його температура становила (130 - 145) °С, температура нагрівання мінерального матеріалу – (140 - 160) °С. Температура під час ущільнення зразків становила від 125 °С до 135 °С. Таким чином, використання спіненого бітуму дозволило знизити температуру нагрівання в'яжучого і мінерального матеріалу на (10 - 15) °С, зекономити паливо для виготовлення суміші і знизити емісію CO_2 в оточувальне середовище.

Випробування асфальтобетонів на вихідному та спіненому бітумах проводились за показниками та методами випробувань, наведеними в таблиці 2.

Таблиця 2

Фізико-механічні показники та методи випробувань асфальтобетонів

Назва показника	Методи випробувань
Середня густина, ρ, г/см^3	п.8 ДСТУ Б В.2.7-319 [18]
Водонасичення, W, % за об'ємом	п.14 ДСТУ Б В.2.7-319 [18]
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури: – 20 °С; – 50 °С	п. 16 ДСТУ Б В.2.7-319 [18]
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	п. 23 ДСТУ Б В.2.7-319 [18]

Отримані фізико-механічні показники асфальтобетону АСГ.Др.П.А-Б.НП.І залежно від вмісту бітуму наведено у таблицях 3, 4 та на рисунку 1.

Таблиця 3

Фізико-механічні показники АСГ.Др.П.А-Б.НП.І на основі вихідного бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ, г/см^3	2,32	2,34	2,34
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	3,2	3,3	2,6
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	0,86	0,89	0,89

Таблиця 4

Фізико-механічні показники АСГ.Др.П.А-Б.НП.І на основі спіненого бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,0	4,5	5,0
Середня густина, ρ, г/см^3	2,30	2,34	2,32
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	3,1	3,4	3,3
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	0,89	0,9	0,9

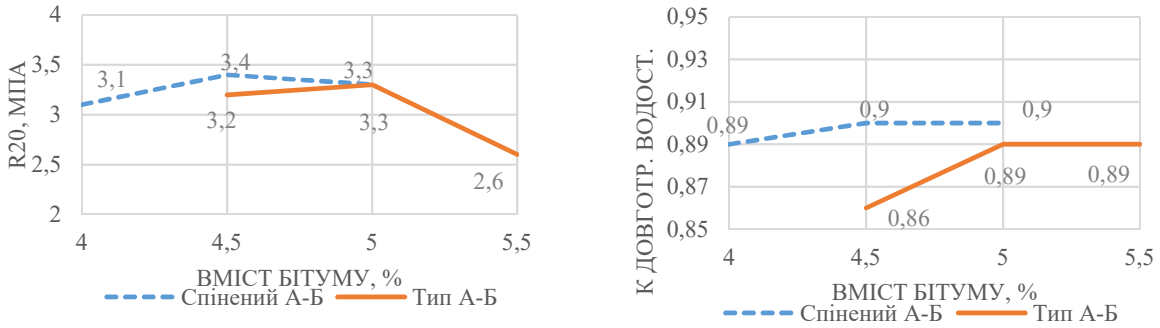

Рисунок 1 – Порівняння фізико-механічних показників АСГ.Др.П.А-Б.НП.І на основі вихідного та спіненого бітумів

Згідно ДСТУ Б В.2.7-119 [20] для пористого асфальтобетону типу А-Б границя міцності при стиску за температури 50 °С та водонасичення не визначалась.

За результатами випробувань границя міцності при стиску за температури 20 °С асфальтобетону типу А-Б при вмісті вихідного бітуму від 4,5 % до 5,5 % змінювалась від 2,6 МПа до 3,3 МПа і була найвищою при вмісті бітуму 5,0 %. Максимального значення середньої густини асфальтобетону типу А-Б на вихідному бітумі досягали при вмісті бітуму 5,0 % і становило 2,34 г/см^3. Найбільше значення коефіцієнту довготривалої водостійкості

асфальтобетону типу А-Б на вихідному бітумі – при вмісті бітуму 5,0 %. Границя міцності при стиску за температури 20 °С асфальтобетону типу А-Б на спіненому бітумі при вмісті бітуму від 4,0 % до 5,0 % змінювалась від 3,1 МПа до 3,4 МПа. При цьому найбільше її значення відповідало 4,5 % вмісту бітуму. Середня густина асфальтобетону типу А-Б на спіненому бітумі була найвищою при вмісті бітуму 4,5 % і становила 2,34 г/см^3. Коефіцієнт довготривалої водостійкості асфальтобетону типу А-Б на спіненому бітумі має найкращий результат при вмісті бітуму (4,5 – 5,0) %, а саме 0,9. Результати випробувань засвідчили, що спінення дозволяє зменшити потрібний вміст бітуму в суміші. Так найкращі результати випробувань в асфальтобетоні на вихідному бітумі мали місце при 5,0 % в'яжучого, а на спіненому бітумі – при 4,5 %. При цьому спостерігалось і певне поліпшення властивостей асфальтобетону при використанні спіненого бітуму як за міцністю, так і за коефіцієнтом довготривалої водостійкості.

Отримані фізико-механічні показникиасфальтобетону АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І залежно від вмісту бітуму наведено у таблицях 5, 6 та на рисунку 2.

Таблиця 5

Фізико-механічні показники АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І на основі вихідного бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	5,0	5,5	6,0
Середня густина, ρ, г/см^3	2,33	2,34	2,33
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,5	2,3	2,2
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	2,5	2,4	2,2
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50 °С	1,00	1,13	1,00
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	0,89	0,93	0,94

Таблиця 6

Фізико-механічні показники АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І на основі спіненого бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ, г/см^3	2,34	2,34	2,35
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,4	1,9	2,1
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	2,6	2,7	2,4
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50 °С	1,05	1,19	1,15
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	0,92	0,96	0,96

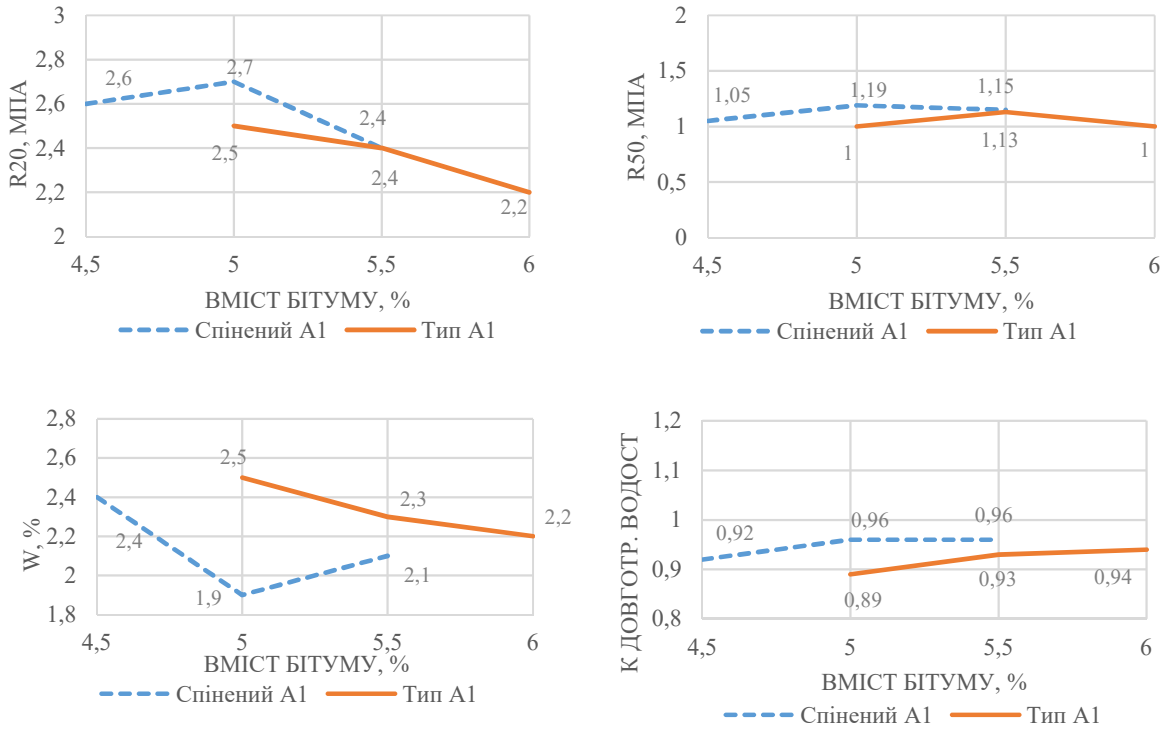

Рисунок 2 – Порівняння фізико-механічних показників АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І на основі вихідного та спіненого бітумів

За результатами випробувань встановлено, що границя міцності при стиску за температури 20 ° С крупнозернистого асфальтобетону типу А1 на вихідному бітумі при вмісті бітуму від 5,0 % до 6,0 % змінювалась з 2,2 МПа до 2,5 МПа. Максимальне значення міцності відповідало 5,0 % бітуму.Границя міцності при стиску за температури 50 °С крупнозернистого асфальтобетону типу А1 при вмісті вихідного бітуму від 5,0 % до 6,0 % становила від 1,0 МПа до 1,13 МПа. Максимальне значення міцності 1,13 МПа асфальтобетону було при 5,5 % бітуму. Середня густина асфальтобетону типу А1 на вихідному бітумі становила від 2,33 г/см^3 до 2,34 г/см^3. Її більше значення досягалось при 5,5 % бітуму. Найменше водонасичення асфальтобетону на вихідному бітумі дорівнювало 2,2 % при вмісті бітуму 6,0 %. Найбільше значення коефіцієнта довготривалої водостійкості на вихідному бітумі крупнозернистий асфальтобетон типу А1 мав при вмісті 5,5 %. При використанні спіненого бітуму границя міцності при стиску за температури 20 °С крупнозернистого асфальтобетону типу А1 змінювалась з 2,4 МПа до 2,7 МПа при вмісті в'яжучого від 4,5 % до 5,0 %. Найбільше значення міцності за температури 20 °С (2, МПа) відповідало 5,0 % в'яжучого. Границя міцності при стиску за температури 50 °С асфальтобетону типу А1 в залежно від вмісту спіненого бітуму становила (1,05 – 1,19) МПа. Найвище значення міцності за температури 50 °С було при 5,0 % спіненого бітуму. Середня густина крупнозернистого асфальтобетону типу А1 була практично незмінною при вмісті спіненого бітуму (4,5 – 5,0) % і становила 2,34 г/см^3, при вмісті 5,5 % – 2,35 г/см^3. При зміні вмісту спіненого бітуму від 4,5 % до 5,5 % найнижче значення водонасичення крупнозернистого асфальтобетону дорівнює 1,9 %, найвище (при 4,5 % бітуму) – 2,4 %. Коефіцієнт довготривалої водостійкості крупнозернистого асфальтобетону типу А1 був найбільшим при вмісті спіненого бітуму 5,0 % і

становив 0,99. Таким чином крупнозернистий асфальтобетон типу А1 на вихідному бітумі показував найкращі результати при вмісті бітуму 5,5 %. На спіненому бітумі асфальтобетон типу А1 мав кращі результати при вмісті бітуму 5,0 %.

Отримані фізико-механічні показники асфальтобетонуАСГ.Кр.Щ.А1.НП.І + РАП залежно від вмісту бітуму наведено у таблицях 7, 8 та на рисунку 3.

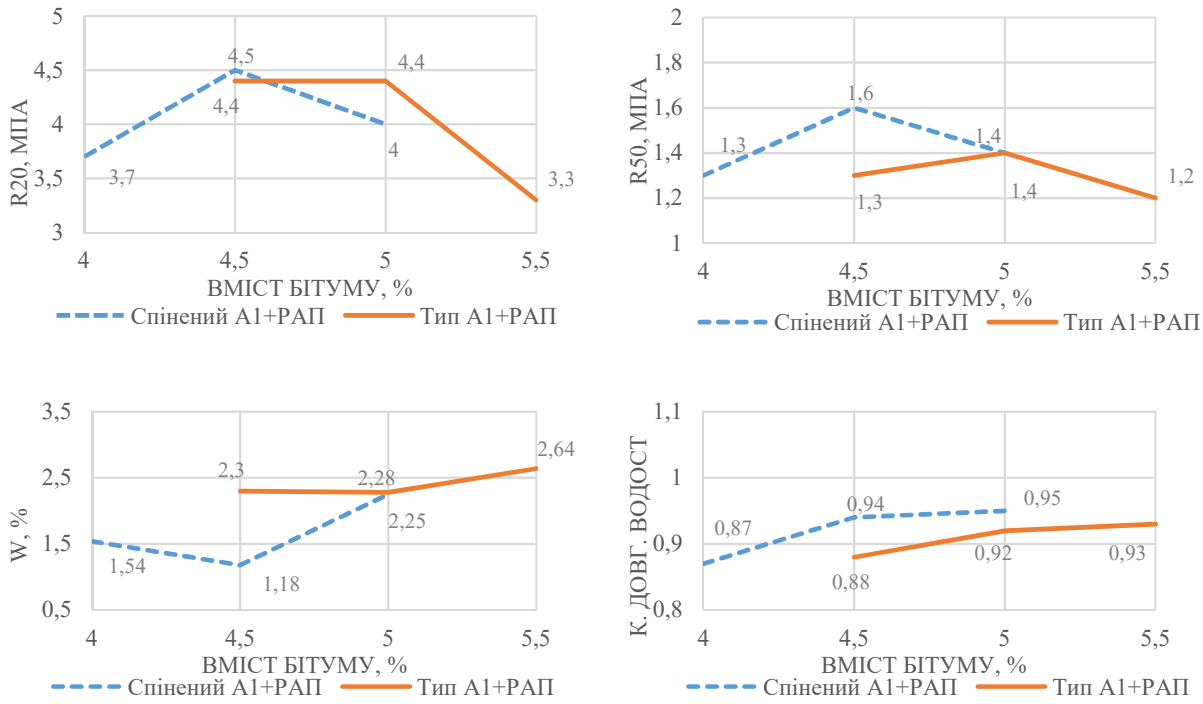

Рисунок 3 – Порівняння фізико-механічних показників АСГ Кр.Щ.А1.НП.І + РАП на основі вихідного та спіненого бітумів

Таблиця 7

Фізико-механічні показники АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І + РАПна основі вихідного бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості вихідного бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,5	5,0	5,5
Середня густина, ρ, г/см^3	2,42	2,41	2,43
Водонасичення, W, % за об'ємом	2,3	2,28	2,64
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	4,4	4,4	3,3
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50 °С	1,3	1,4	1,2
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	0,88	0,92	0,93

Таблиця 8

Фізико-механічні показники АСГ.Кр.Щ.А1.НП.І + РАП на основі спіненого бітуму

Показники	Значення показників залежно від кількості спіненого бітуму, %		
Кількість бітуму, %	4,0	4,5	5,0
Середня густина, ρ, г/см^3	2,42	2,45	2,42
Водонасичення, W, % за об'ємом	1,54	1,18	2,25
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 20 °С	3,7	4,5	4,0
Границя міцності при стиску, R, МПа, за температури 50 °С	1,3	1,6	1,4
Коефіцієнт довготривалої водостійкості, $К_{вд}$	0,87	0,94	0,95

Найкращі результати випробувань в асфальтобетоні на вихідному бітумі мали місце при 5,0 % в'яжучого, а на спіненому бітумі – 4,5 %.

Аналіз отриманих результатів засвідчив не тількивідповідність отриманих фізико-механічних показників вимогам стандарту [19], але і їх поліпшення навіть за меншої кількості бітуму.

Показник зчеплення оцінювався згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 [19]. За результатами випробування зчеплення бітумів з поверхнею різних мінеральних матеріалів (таблиця 9) встановлено, що при використанні спінених бітумів їх зчеплення з поверхнею мінеральних матеріалів на (10-12) % краще, ніж при використанні традиційного в'язкого бітуму марки БНД 60/90.

Таблиця 9

Показники зчеплення бітумів з поверхнею мінеральних матеріалів

Матеріал	Показник зчеплення, %	
	Спінений бітум	БНД 60/90
Вапняк	78	69
Граніт	27	24
Пісок	36	31

Достовірність отриманих результатів підтверджено тим, що експерименти проводились згідно з методиками, встановленими нормативними документами України.

На підставі отриманих результатів розроблено рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів [21].

Висновки

Проведені дослідження використання технології приготування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумівдають змогу зробити такі висновки:

1. Фізико-механічні характеристики цих сумішей, встановлені під час випробувань згідно з затвердженими методиками, відповідають вимогам чинних нормативних документів.

2. Результати вказують на доцільність застосування даної технології в Україні, оскільки відзначаються такі переваги як зниження температури приготування та ущільнення суміші, економія оптимального вмісту бітуму та енергоресурсів.

3. Удосконалено технічну базу для будівництва автомобільних доріг загального користування. Розроблені рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів містять вимоги до вихідних матеріалів та кінцевої продукції, технологію приготування, методи контролювання, порядок укладання та ущільнення асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів.

Список літератури

1. Csanyi L. H. Foamed asphalt in bituminous paving mixes. Highway research record. Washington, 1957. P. 108-122.

2. Muthen K. M. Foamed asphalt mixes: mix design procedure. CR-98/077. CSIR Transportek. Pretoria (South Africa), 1999. URL: https://www.viastrade.it/letteratura/bitume/MUTHEN%20MIX%20DESIGN.pdf (дата звернення: 30.05.2019).

3. Jenkins K., Collings D., Jooste F. The design and use of foamed bitumen treated materials. Shortcomings and imminent revisions. TG2: Recycling and stabilisation conference. Auckland (New Zealand), 2008. URL: https://trid.trb.org/view/882919 (дата звернення: 30.05.2019).

4. Jooste F., Long F., Hefer A. A Method for consistent classification of materials for pavement rehabilitation design. Technical Memorandum. Cullinan (South Africa), 2007. URL: https://www.asphaltacademy.co.za/wp-content/uploads/2016/09/Materials_Classification_Memo_FINAL.pdf (дата звернення: 30.05.2019).

5. Wirtgen Cold Recycling Technology. Cold Recycling. 3nd edition. Germany, 2010. URL: http://media.wirtgengroup.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/kaltrecycling_technologie/kaltrecycling_handbuch/Kaltrecycling_Handbuch_EN.pdf (дата звернення: 30.05.2019).

6. Fu P., Jones D., Harvey J. T., Halles F. A. Investigation of the curing mechanism of foamed asphalt mixes based on micromechanics principles. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2010. 22 (1). P. 29-38.

7. Maccarrone S., Holleran G., Leonard D. J., Hey S. Pavement recycling using foamed bitumen. In 17th australian road research board (ARRB) conference. *Australian Road Research Board*. Queensland, 1994. P. 349-365.

8. White G. Foamed bitumen stabilization for Australian airports. Airfield engineering and maintenance summit. Singapore, 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/324908740_foamed_bitumen_base_for_airport_pavements (дата звернення: 30.05.2019).

9. Design and performance of foamed bitumen stabilised pavements progress: Report 3. AP-T303-15. Sydney (Australia), 2015. URL: https://austroads.com.au/publications/pavement/ap-t303-15 (дата звернення: 30.05.2019).

10. Kendall M., Baker B., Evans P., Ramanujan J. Foamed bitumen stabilisation. The Queensland experience. 20th ARRB conference.

11. Sarvesh Kumrawat, Vinay Deulkar. Foamed Bitumen. *International research journal of engineering and technology*. India, 2018. 5. P. 401-404.

12. D. Alabaster, J. Patrick, Haran Arampamoorthy, Dr. A Gonzalez. The design of stabilized pavements in New Zealand. *NZ Transport Agency research report.* 498. Willington (New Zealand), 2013. URL: https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/498/docs/498.pdf (дата звернення: 30.05.2019).

13. Рекомендации по приготовлению и применению асфальтобетонных смесей с энергосберегающими добавками («теплые смеси») (Р РК 218-120-2014). Алматы. 2014.

14. Асфальтобетон. URL: http://dorndi.org.ua/ua/asfalytobeton (дата звернення: 30.05.2019).

15. ДСТУ Б В.2.7-75-98 Щебінь та гравій щільні природні для будівельних матеріалів, виробів, конструкцій і робіт. Технічні умови. Київ, 1999. 19 с. (Інформація та документація).

16. ДСТУ Б.В.2.7-210:2010 Пісок із відсівів дроблення вивержених гірських порід для будівельних робіт. Технічні умови. Київ, 2011. 17 с. (Інформація та документація).

17. ДСТУ Б В.2.7-121:2014 Порошок мінеральний для асфальтобетонних сумішей. Технічні умови. Київ, 2015. 42 с. (Інформація та документація).

18. ДСТУ 4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. Київ, 2002. 21 с. (Інформація та документація).

19. ДСТУ Б В.2.7-319:2016 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Методи випробувань. Київ, 2017. 75 с. (Інформація та документація).

20. ДСТУ Б В.2.7-119:2011 Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. Київ, 2012. 49 с. (Інформація та документація).

21. Рекомендації щодо приготування та застосування асфальтобетонних сумішей на основі спінених бітумів (Р В.2.7-37641918-894:2018). Київ, 2018, 30 с. (Інформація та документація).

REFERENCES

1. Csanyi L. H. Foamed asphalt in bituminous paving mixes. Highway research record. Washington, 1957. P. 108-122 [in English].

2. Muthen K. M. Foamed asphalt mixes: mix design procedure. CR-98/077. CSIR Transportek. Pretoria, South Africa, 1999. URL: https://www.viastrade.it/letteratura/bitume/muthen%20mix%20design.pdf (last accessed: 30.05.2019) [in English].

3. Jenkins K., Collings D., Jooste F. The designand use of foamed bitumen treated materials. shortcomings and imminent revisions. TG2: Recycling and stabilisation conference. Auckland (New Zealand), June 2008. URL: https://trid.trb.org/view/882919 (last accessed: 30.05.2019) [in English].

4. Jooste F., Long F., Hefer A. A method for consistent classification of materials for pavement rehabilitation design. Technical Memorandum. Cullinan (South Africa), 2007. URL: https://www.asphaltacademy.co.za/wp-content/uploads/2016/09/Materials_Classification_Memo_FINAL.pdf (last accessed: 30.05.2019) [in English].

5. Wirtgen Cold Recycling Technology. Cold Recycling. 3nd edition. Germany, 2010. URL: http://media.wirtgengroup.com/media/02_wirtgen/infomaterial_1/kaltrecycler/kaltrecycling_technologie/kaltrecycling_handbuch/Kaltrecycling_Handbuch_EN.pdf (last accessed: 30.05.2019) [in English].

6. Fu P., Jones D., Harvey J. T., Halles F. A. Investigation of the curing mechanism of foamed asphalt mixes based on micromechanics principles. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2010. 22 (1). P. 29-38. [in English].

7. Maccarrone S., Holleran G., Leonard D. J., Hey S. Pavement recycling using foamed bitumen. in 17th australian road research board (ARRB) conference. *Australian Road Research Board*. Queensland, 1994. P. 349-365. [in English].

8. White G. Foamed bitumen stabilization for Australian airports. Airfield engineering and maintenance summit. Singapore, 2014. URL: https://www.researchgate.net/publication/324908740_foamed_bitumen_base_for_airport_pavements (last accessed: 30.05.2019) [in English].

9. Design and performance of foamed bitumen stabilised pavements progress: Report 3. AP-T303-15. Sydney (Australia), 2015. URL: URL: https://austroads.com.au/publications/pavement/ap-t303-15 (last accessed: 30.05.2019) [in English].

10. Kendall M., Baker B., Evans P., Ramanujan J. Foamed bitumen stabilisation. The Queensland experience. 20th ARRB conference. [in English].

11. Sarvesh Kumrawat, Vinay Deulkar. Foamed Bitumen. International research journal of engineering and technology. India, 2018. 05. P. 401-404 [in English].

12. D. Alabaster, J. Patrick, Haran Arampamoorthy, Dr. A Gonzalez. The design of stabilised pavements in New Zealand. *NZ Transport Agency research report.* 498. Willington (New Zealand), 2013. URL: https://www.nzta.govt.nz/assets/resources/research/reports/498/docs/498.pdf (last accessed: 30.05.2019) [in English].

13. Rekomendatsii po prigotovleniyu i primeneniyu asfaltobetonnyih smesey s energosberegayuschimi dobavkami («teplyie smesi») (R RK 218-120-2014) (Information and documentation) [in Russian].

14. Asphalt concrete. URL: http://dorndi.org.ua/en/asfalytobeton (Last accessed: 30.05.2019).

15. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-75-98) Solid natural crushed stone and gravel for building materials, products, structures and construction works. Specifications. Kyiv, 1999. 19 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

16. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-210:2010) Sand from sereening after crushing of rocks for construction works. Specifications. Kyiv, 2011. 17 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

17. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-121:2014) Mineral filler for asphalt concrete mixtures. Specifications. Kyiv, 2015. 42 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

18. State Standard of Ukraine (DSTU 4044:2001) Viscous oil road bitumen. Specifications. Kyiv, 2002. 21 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

19. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-319:2016) Asphaltic concrete mixtures, road and aerodromes asphaltic concrete. Test methods. Kyiv, 2017. 75 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

20. State Standard of Ukraine (DSTU B V.2.7-119:2011) Asphaltic concrete mixtures, road and aerodromes asphaltic concrete. Specifications. Kyiv, 2012. 49 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

21. Rekomendatsii shchodo pryhotuvannia ta zastosuvannia asfaltobetonnykh sumishei na osnovi spinenykh bitumiv (R V.2.7-37641918-894:2018). Kyiv, 2018. 30 p. (Information and documentation) [in Ukrainian].

Anton Zheltobriukh, *https://orcid.org/0000-0003-0764-8793*
Pavlo Malii, *https://orcid.org/0000-0002-2039-5973*
Tetiana Odehova, *https://orcid.org/0000-0002-2008-8164*
OleksandrTymoshchuk, *https://orcid.org/0000-0002-9230-1200*

M.P. Shulgin State Road Research Institute State Enterprise – «DerzhdorNDI» SE, Kyiv, Ukraine

USING ASPHALT MIXTURES BASED ON FOAMED BITUMEN

Abstract

Introduction. A chronological analysis of using the technology for the preparation of asphalt mixtures based on foamed bitumen abroad was given. The advantages of using this technology were determined.

Problem statement. Asphalt mixtures made using foamed bitumen are widely used in particular in countries such as the United Kingdom, the USA, the Netherlands, Australia, where standards for the use of foamed bitumen during the process of asphalt mixtures production are already adopted, because their using, due to special technology, allows to reduce an amount of energy required for the production of the mixture and to improve the quality and durability of the road pavement. The rising cost of energy

resources and the necessity to increase the technical and operational indicators of roads require the road industry in Ukraine to constantly develop and introduce radical changes in the technology of construction and repair work. Due to the introduction of the technology of preparation of asphalt mixtures based on foamed bitumen is an important task for us. Unfortunately, today in Ukraine there are no normative documents that would regulate the implementation of works based on this technology which makes it impossible to use it and limits optimization and development of the road industry in Ukraine.

Purpose. The purpose of the study is reserch of expendiency of using the asphalt mixtures based on foamed bitumen in Ukraine.

Materials and methods. Experimental tests of traditional hot-mixes of asphalt concrete mixes with and without addition of reclaimed asphalt concrete with different contents of both source and foamed bitumen have been carried out.

Results. The expediency of using asphalt mixtures based on foamed bitumen has been established. The result is the developed recommendations on the processing parameters of preparation, transportation, laying and compaction of these mixtures.

Conclusions**.** The studies showed that physical and mechanical parameters of both asphalt based on original bitumen and foamed bitumen correspond the requirements of the current normative documents.The advantages of their using are noted: reduction of the temperature of preparation and compaction of the mixture, saving of optimum content of bitumen and energy resources. The obtained results indicate the expediency of application of technology of bitumen foaming during the preparation of asphalt concrete mixtures in Ukraine.

Key words**:** asphalt concrete, asphalt mixtures, bitumen, binder, road building, foamed bitumen, temperature, physical and mechanical characteristics.