



CHAPTER 4 / РОЗДІЛ 4

STUDY OF THE INFLUENCE OF MODIFYING ADDITIVES ON THE PROPERTIES OF BITUMEN AND ASPHALT

4.1. Дослідження властивостей вихідних матеріалів та встановлення їх придатності для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

В якості в'язучого для щебенево-мастикових асфальтобетонів було прийнято бітум нафтовий дорожній в'язкий марки БНД 70/100 виробництва Мозирського НПЗ. Основні властивості прийнятого для досліджень бітуму наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого марки БНД 70/100, прийнятого для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ 4044	Бітум БНД 70/100
Глибина проникнення голки, мм ⁻¹ , при температурі 25 °С	71-100	74
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	47-53	49
Розтяжність (дуктильність) при температурі 25 °С, см	не менше 55	95

Для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей згідно [3] використовувався гранітний щебінь кубовидної форми та відсів подрібнення гранітної гірської породи «Гайворонського» спецкар'єру, а також вапняковий мінеральний порошок.

Для оцінки якості та придатності для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей для експериментальних робіт був прийнятий гранітний щебінь фракцій 5-8 мм, 8-11 мм, 11-16 мм.

Результати експериментально визначених показників фізико-механічних властивостей мінерального порошку, щебеню та відсіву подрібнення наведені в таблицях 2-7.



Таблиця 2 – Фізико-механічні властивості мінерального порошку

Найменування показника	Фактичні значення	Норми для марок порошку	
		I	II
Вміст часток, % за масою, не менше:			
– дрібніше 0,071 мм	86	80	70
– дрібніше 0,315 мм	99	90	80
– дрібніше 1,25 мм	100	100	100
Пористість при ущільненні 40 МПа, % за об'ємом	25	не більше 35	не більше 40
Набрякання зразків із суміші порошку з бітумом, % за об'ємом	2,3	не більше 2,5	не більше 3,0
Вологість, % за масою	0,1	не більше 1,0	не більше 2,5

Таблиця 3 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного щебеню фракції 5-8 мм

Найменування випробувань	Одиниці виміру	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1 Насипна щільність	кг/м ³	–	1418
2 Середня щільність	кг/м ³	2,0-2,8	2,76
3 Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
4 Пустотність	%	–	48,60
5 Пористість	%	–	0,40
6 Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	8
7 Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
8 Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
9 Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
10 Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранистю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	3,1/1400 Ст-1
11 Вологість	%	–	0,15
12 Водопоглинання	%	–	0,50



**Таблиця 4 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного
щебеню фракції 8-11 мм**

Найменування випробувань	Одиниці виміру	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1 Насипна щільність	кг/м ³	–	1456
2 Середня щільність	г/см ³	2,0-2,8	2,72
3 Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
4 Пустотність	%	–	46,50
5 Пористість	%	–	1,8
6 Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	12
7 Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
8 Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
9 Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
10 Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранистю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
11 Вологість	%	–	0,12
12 Водопоглинання	%	–	0,49

**Таблиця 5 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного
щебеню фракції 11-16 мм**

Найменування випробувань	Одиниці виміру	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1 Насипна щільність	кг/м ³	–	1496
2 Середня щільність	г/см ³	2,0-2,8	2,68
3 Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
4 Пустотність	%	–	44,50
5 Пористість	%	–	2,6
6 Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	10
7 Вміст пилюватих часток	%	не більше 1,0	0
8 Вміст зерен слабких порід	%	не більше 5,0	0
9 Вміст глини у грудках	%	не більше 0,25	0
10 Марка за міцністю: – за дробимістю – за стиранистю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
11 Вологість	%	–	0,11
12 Водопоглинання	%	–	0,50



**Таблиця 6 – Показники фізико-механічних властивостей піску з відсіву
подрібнення**

Найменування випробувань	Одиниці виміру	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1 Насипна щільність	кг/м ³	не більше 1650	1537
2 Істинна щільність	г/см ³	–	2,77
3 Модуль крупності		більше 2,5 до 3,0 (крупний)	3,18
4 Вміст пилюватих та глинистих часток (метод відмучування)	%	не більше 7,0	6,11
5 Вміст глинистих часток при набуханні	%	не більше 0,5	0
6 Вміст глини в грудках	%	не більше 0,35	0
7 Вологість	%	–	0,8

Таблиця 7 – Гранулометричний склад вихідних мінеральних матеріалів, призначених для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей

Залишки на ситах, %	Вміст мінеральних зерен, %, більше даного розміру, мм											
	40	20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	<0,071
Гранітний щебінь фракції 11-16 мм												
Часткові	–	–	36	56	6	2	–	–	–	–	–	–
Повні	–	–	36	92	98	100	100	100	100	100	100	100
Гранітний щебінь фракції 8-11 мм												
Часткові	–	–	–	54	46	–	–	–	–	–	–	–
Повні	–	–	–	54	100	100	100	100	100	100	100	100
Гранітний щебінь фракції 5-8 мм												
Часткові	–	–	–	–	98	2	–	–	–	–	–	–
Повні	–	–	–	–	98	100	100	100	100	100	100	100
Гранітний відсів подрібнення 0-5 мм												
Часткові	–	–	–	–	3	27	8	18	25	15	3	1
Повні	–	–	–	–	3	30	38	56	81	96	99	100
Вапняковий мінеральний порошок												
Часткові	–	–	–	–	–	–	–	–	1	11	13	75
Повні	–	–	–	–	–	–	–	–	1	12	25	100



Аналіз наведених результатів випробувань показує, що за дослідженими показниками фізико-механічних властивостей мінеральні матеріали відповідають вимогам чинних в Україні нормативних документів [2-4] і можуть бути використані для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей.

4.2. Прийнятий склад мінеральної частини ЩМАС-15 та результати дослідження фізико-механічних властивостей ЩМА-15

Для приготування ЩМАС-15 був прийнятий зерновий склад мінеральної частини згідно з ДСТУ Б В.2.7-127:2015, який приведено на рисунку 1. Мінеральну частину ЩМАС-15 складали з окремих фракцій, отриманих розсіюванням вихідних мінеральних складових. Для прийнятого зернового складу мінеральної частини ЩМА-15 попередньо був визначений оптимальний вміст в'язучого (бітум БНД 70/100). Як стабілізуюча добавка були використані целюлозні гранульовані волокна «iFiber».

Для порівняльних досліджень у склад ЩМАС-15 замість стабілізуючої добавки «iFiber» вводили добавку DUROFLEX®-SMA у кількості 0,6 % та 0,8 % від маси суміші. Добавку DUROFLEX®-SMA вводили у нагріту до температури (190-200) °С суміш щебеню та подрібненого піску. Після перемішування добавки DUROFLEX®-SMA з мінеральними матеріалами в лабораторній мішалці протягом 3-х хвилин в суміш вводили бітум, а потім мінеральний порошок. З сумішей ЩМАС-15 (без добавок, з добавкою «iFiber» та добавкою DUROFLEX®-SMA) відразу після приготування формували циліндричні зразки згідно з ДСТУ Б В.2.7-319. Для порівняльних досліджень другу партію ЩМАС-15 з добавкою DUROFLEX®-SMA витримали у термошафі протягом 30 хвилин за температури 170 °С і після цього формували зразки.

Отримані результати порівняльних досліджень фізико-механічних властивостей ЩМА-15 приведені в таблиці 8.

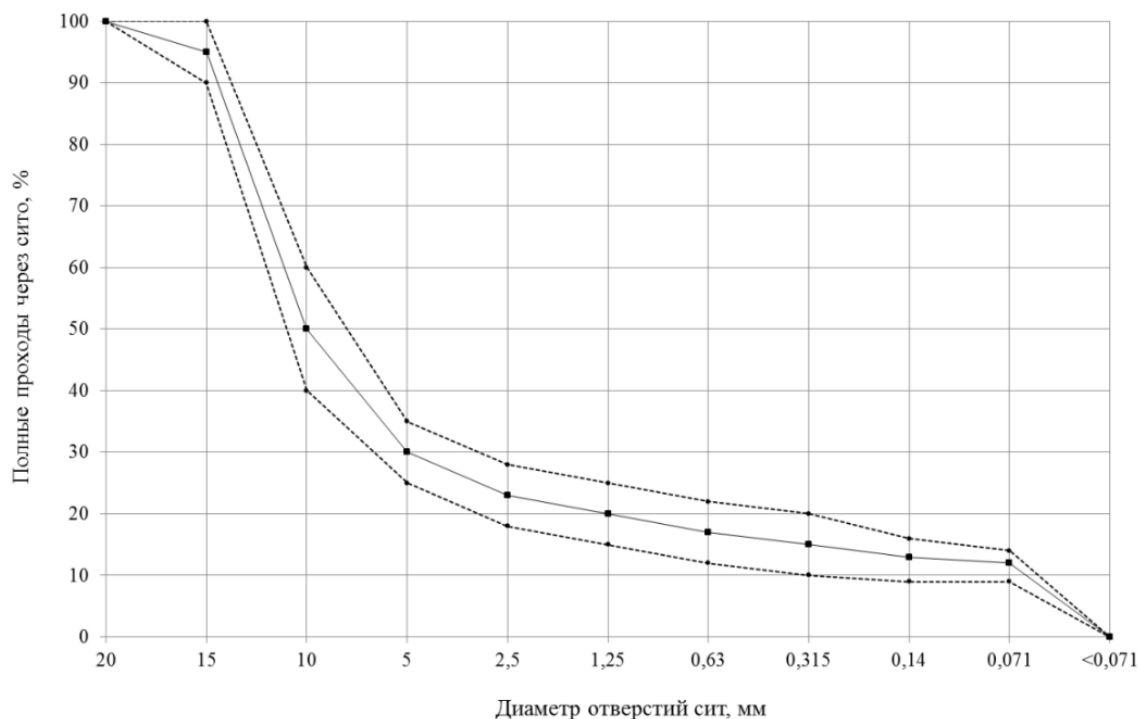


Рисунок 1 – Принятый зерновой склад ЩМАС-15

Таблица 8 – Результаты порівняльних досліджень фізико-механічних властивостей ЩМА-15

Назва показника	ЩМА-15 БНД 70/100	ЩМА-15 БНД 70/100 + 0,4 % iFiber	ЩМА-15 БНД 70/100 + 0,6 % DUROFLEX®-SMA	ЩМА-15 БНД 70/100 + 0,8 % DUROFL EX®-SMA	ЩМА-15 БНД 70/100 + 0,6 % DUROFLEX®-SMA (випр. 30 хв.)	ЩМА-15 БНД 70/100 + 0,8 % DUROFLEX®-SMA (випр. 30 хв.)
1	2	3	4	5	6	7
1. Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	16,2	16,5	17,4	17,5	15,6	16,4
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	2,9	2,8	2,6	2,7	2,4	2,8
3. Водонасичення, % за об'ємом: лабораторних зразків	1,7	2,4	2,0	2,3	0,9	1,5
4. Границя міцності при стиску, МПа, за температури:						
20 °С	3,9	4,5	4,6	4,7	5,0	6,6
50 °С	0,7	0,9	1,0	1,1	1,2	1,9



1	2	3	4	5	6	7
5. Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,96	0,95	0,95	0,96	0,95	0,96
6. Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа	0,13	0,17	0,17	0,17	0,22	0,34
1. Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	16,2	16,5	17,4	17,5	15,6	16,4
8. Водостійкість при довготривалому водонасиченні	0,90	0,91	0,93	0,94	0,94	0,95
9. Показник стікання в'язучого, %	3,7	0,09	0,17	0,11	0,13	0,07
10. Вміст в'язучого, %	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5	5,5

Фотофіксація скляних стаканів після визначення показника стікання наведені рисунках 2-5.



Рисунок 2 – Зовнішній вигляд стаканів після визначення показника стікання в'язучого у випадку ЩМАС-15 на основі вихідного бітуму БНД 70/100 без будь-яких добавок



Рисунок 3 – Зовнішній вигляд стаканів після визначення показника стікання в'язучого у випадку ЩМАС-15 на основі вихідного дорожнього бітуму марки БНД 70/100 з целюлозною добавкою «iFiber»



Рисунок 4 – Зовнішній вигляд стаканів після визначення показника стікання в'язучого у випадку ЩМАС-15 на основі вихідного дорожнього бітуму марки БНД 70/100 з 0,6 % добавки «DUROFLEX®-SMA» (за відсутності целюлозної добавки «iFiber») витриманих 30 хвилин при температурі 170 °С



Рисунок 5 – Зовнішній вигляд стаканів після визначення показника стікання в'язучого у випадку ЩМАС-15 на основі вихідного дорожнього бітуму марки БНД 70/100 з 0,8 % добавки «DUROFLEX®-SMA» (за відсутності целюлозної добавки «iFiber») витриманих 30 хвилин при температурі 170 °С

Результати виконаних досліджень показують, що при використанні добавки DUROFLEX®-SMA у кількості 0,6 % від маси кам'яного матеріалу при виготовленні щобенево-мастикових асфальтобетонних сумішей без витримання в сушильній шафі забезпечує показник стікання в'язучого на рівні 0,17 %, що не перевищує 0,2 % нормованих ДСТУ Б В.2.7-127. При витриманні приготовленої суміші в сушильній шафі протягом 30 хвилин при температурі 170 °С до випробування, показник стікання в'язучого знижується на 0,04 % до 0,13 %. При додаванні добавки у кількості 0,8 %, для суміші без витримання в сушильній шафі, показник стікання склав 0,11 %, а для суміші що була витримана 30 хвилин в сушильній шафі при температурі 170 °С склав 0,07 %, що на 0,02 % менше ніж для суміші з целюлозним волокном iFiber яке додавали у кількості 0,4 % від маси кам'яного матеріалу.



Також при введенні добавки DUROFLEX®-SMA знижується показник водонасичення. При використанні добавки iFiber значення показника водонасичення становить 2,4 %, при додаванні добавки DUROFLEX®-SMA у кількості 0,6 % та 0,8 %, для асфальтобетонів які були виготовлені з сумішей без витримування при температурі 170 °С, показник знизився до 2,0 % та 2,3 % відповідно, а для асфальтобетонів які були виготовлені після витримування в сушильній шафі при температурі 170 °С 0,9 % та 1,5 %.

Використання добавки DUROFLEX®-SMA під час виробництва щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей дозволяє покращити механічні властивості асфальтобетонів. Так при введенні добавки ЩМА виготовлені з сумішей без витримування в сушильній шафі протягом 30 хвилин при температурі 170 °С границя міцності при стиску за температури 20 °С збільшується з 4,5 МПа до 4,6 МПа при додаванні добавки у кількості 0,6 % та до 4,7 МПа при додаванні добавки у кількості 0,8 %, а з сумішей витриманих в сушильній шафі 30 хвилин при температурі 170 °С, до 5,0 МПа та 6,6 МПа відповідно. Показник границі міцності при стиску за температури 50 °С для ЩМА з сумішей виготовлених без витримування збільшується на 0,2 МПа та 0,3 МПа, для ЩМА з сумішей виготовлених після витримування в сушильній шафі на 0,3 МПа та 1,0 МПа відповідно.

Коефіцієнт внутрішнього тертя, для досліджуваних щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЩМА-15 практично не змінюється та знаходиться в межах 0,95-0,96, що відповідає вимогам ДСТУ Б В.2.7-127 для всіх кліматичних районів.

Показник зчеплення при зсуві за температури 50 °С, для ЩМА виготовлених з сумішей з добавками iFiber у кількості 0,4 % та DUROFLEX®-SMA у кількості 0,6 та 0,8 % без витримування при температурі 170 °С протягом 30 хвилин дорівнює 0,17 МПа. Для ЩМА виготовлених з сумішей що були витримані протягом 30 хвилин при температурі 170 °С з добавкою DUROFLEX®-SMA у кількості 0,6 та 0,8 % збільшився в 1,29 та 2 рази відповідно.



Дослідженням асфальтобетонам з добавкою DUROFLEX®-SMA властиві менші значення границі міцності на розтяг при розколі за температури 0 °С. Для ЩМА приготовлених з сумішей що витримувались протягом 30 хвилин за температури 170 °С з добавкою у кількості 0,6 та 0,8 %, в порівнянні з ЩМА приготовленим з добавкою iFiber, досліджуваний показник зменшується на 0,7 МПа та 0,4 МПа відповідно, а для ЩМА з сумішей що були виготовлені без витримування 0,3 та 0,1 МПа.

Також ЩМА приготовленим з сумішей з використанням добавки DUROFLEX®-SMA властиві більші значення показника водостійкості при тривалому водонасиченні. Порівнюючи досліджені асфальтобетони приготовлені з сумішей з добавками DUROFLEX®-SMA та iFiber, можна констатувати, що при додаванні добавки DUROFLEX®-SMA у кількості 0,6 % та 0,8 % підвищує показник водостійкості при тривалому водонасиченні з 0,91 до 0,93 та 0,94 відповідно, для ЩМА з сумішей що були отримані без витримування при температурі 170 °С на протязі 30 хвилин, для ЩМА з сумішей що були отримані з витримуванням при температурі 170 °С на протязі 30 хвилин з 0,91 до 0,94 та 0,95 відповідно.

Узагальнюючи результати порівняльних досліджень властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей та асфальтобетонів з них дозволяє констатувати, що використання модифікуючої добавки DUROFLEX®-SMA при приготуванні ЩМАС дозволяє відмовитись від застосування стабілізуючих целюлозних добавок. Використання добавки DUROFLEX®-SMA забезпечує на нормативному рівні показник стікання в'язучого в ЩМАС і, одночасно, підвищення механічних показників щебенево-мастикового асфальтобетону, порівняно з традиційним ЩМА на звичайному вихідному дорожньому бітумі.



4.3. Результати дослідження впливу полімерної модифікуючої добавки

DUROFLEX®-AC на властивості дрібнозернистого гарячого щільного асфальтобетону типу А

Для виконання експериментальних робіт були використані вихідні матеріали, властивості яких наведені в звіті за першим етапом. Розрахунок складу гарячої дрібнозернистої щільної асфальтобетонної суміші типу А наведено в таблиці 9.

Таблиця 9 – Розрахунок складу дрібнозернистої асфальтобетонної суміші типу "А"

Матеріал	%, в суміші	Кількість зерен в суміші (відсоток) розміром, мм									
		20	15	10	5	2,5	1,25	0,63	0,32	0,14	0,07
Щебінь 11-16 мм		36	92	98	100	100	100	100	100	100	100
Щебінь 8-11 мм		0	0	54	100	100	100	100	100	100	100
Щебінь 5-8 мм		0	0	0	98	100	100	100	100	100	100
Відсів 0-5 мм		0	0	0	3	30	38	56	81	96	99
Мінеральний порошок		0	0	0	0	0	0	0	1	12	25
Щебінь 11-16 мм	13	5	12	13	13	13	13	13	13	13	13
Щебінь 8-11 мм	24	0	0	13	24	24	24	24	24	24	24
Щебінь 5-8 мм	17	0	0	0	17	17	17	17	17	17	17
Відсів 0-5 мм	39	0	0	0	1	12	15	22	32	37	39
Мінеральний порошок	7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2
Залишки на ситах у розрахованій суміші		5	12	26	55	66	69	76	86	92	95
Вимоги ДСТУ Б В.2.7-119		0	8	19	45	58	67	74	80	86	89
		5	17	33	55	73	82	88	91	94	95

Для визначення оптимального вмісту бітуму у складі асфальтобетонної суміші типу А була виготовлена серія зразків асфальтобетону з різним вмістом



бітуму. Надалі для цих зразків визначали показник водонасичення, середню щільність і границю міцності при стиску за температури 20 °С і 50 °С (рисунки 6-8).

За результатами досліджень встановлено, що оптимальний вміст бітуму в прийнятій для дослідження асфальтобетонній суміші складає 5,5 %. За вказаного вмісту бітуму отримані фізико-механічні властивості асфальтобетону типу А відповідають вимогам ДСТУ Б В.2.7-119.

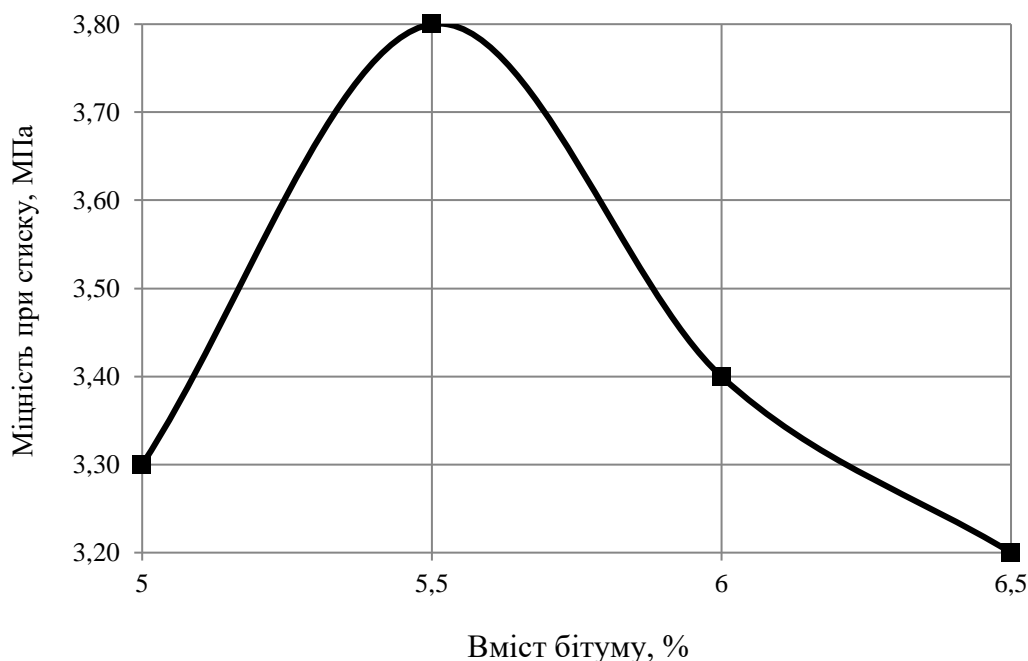


Рисунок 6 – Залежність границі міцності при стиску від вмісту бітуму (температура випробування 20 °С)

Добавку Duroflex®-AC вводили до нагрітої мінеральної частини асфальтобетонної суміші (температура 180-185 °С) у кількості, що становила 3 кг/т асфальтобетонної суміші та 5 кг/т асфальтобетонної суміші. Після чого асфальтобетонну суміш ретельно перемішували (сухе перемішування) до рівномірного розподілення компонентів та вводили необхідну кількість бітуму з розрахунку 5,5 % від маси кам'яних матеріалів. Після цього продовжували перемішування до отримання однорідної суміші. Готову асфальтобетонну суміш термостатували 30 хвилин в сушильній шафі за температури 185 °С. Після



завершення термостатування із асфальтобетонної суміші типу А формували лабораторні зразки, які надалі піддавали випробуванням. Результати отриманих досліджень наведено в таблиці 10.

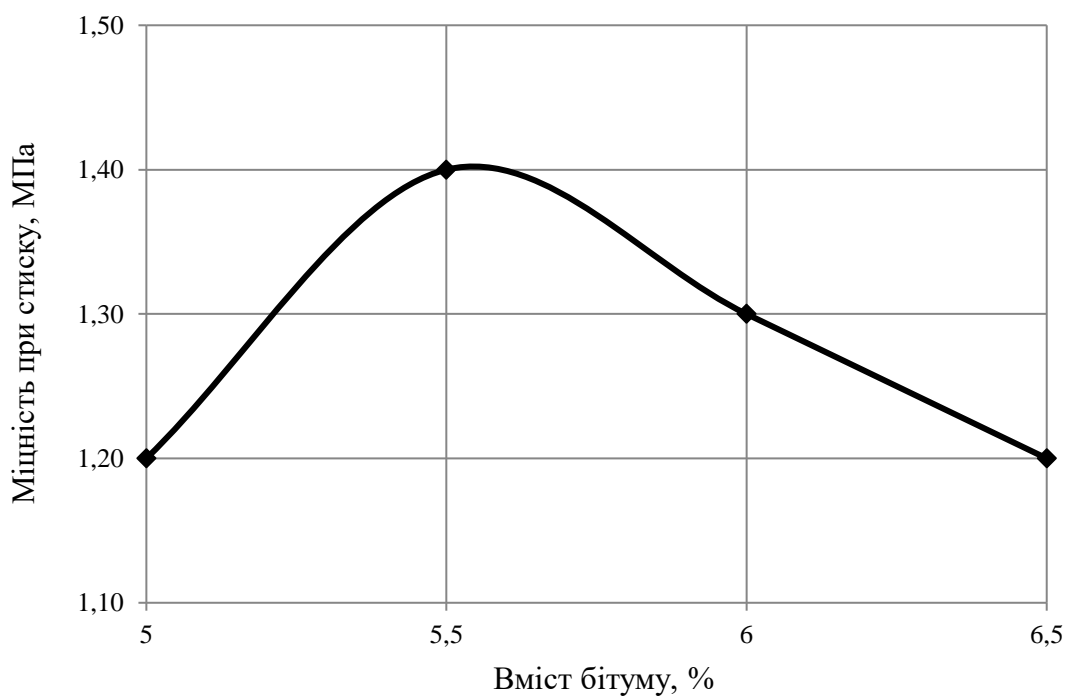


Рисунок 7 – Залежність границі міцності при стиску від вмісту бітуму (температура випробування 50 °С)

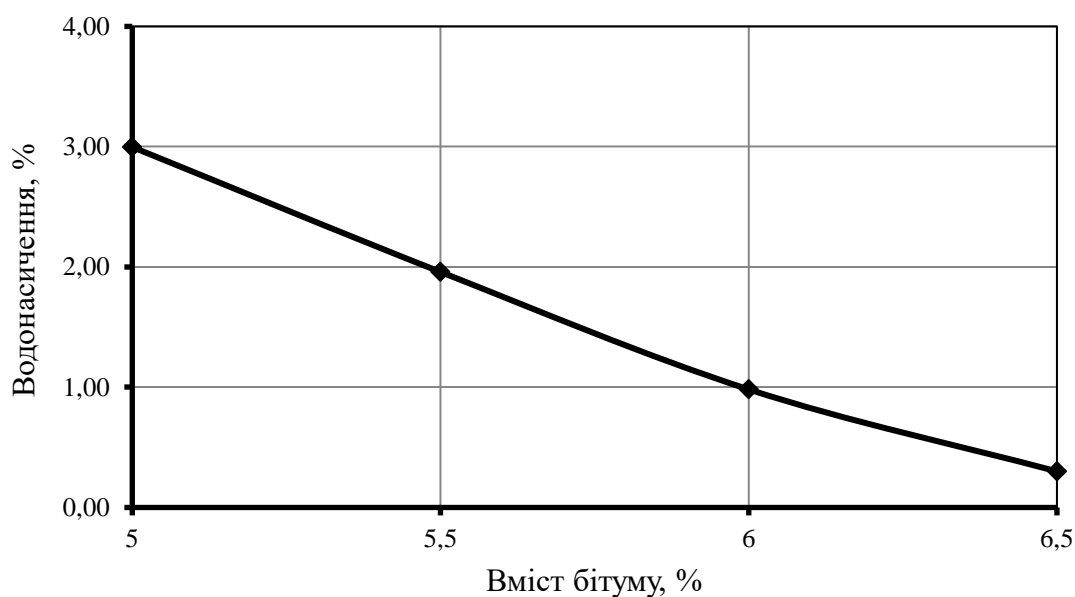


Рисунок 8 – Залежність показника водонасичення від вмісту бітуму



Таблиця 10 – Фізико-механічні властивості асфальтобетону типу А, модифікованого полімерною добавкою Duroflex®-АС

Назва показника	Тип А БНД 70/100	Тип А + 3 кг/т. суміші Duroflex®-АС	Тип А + 5 кг/т. суміші Duroflex®-АС
1. Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	15,5	15,5	15,5
2. Середня щільність, кг/м ³	2388	2378	2372
3. Залишкова пористість, % за об'ємом	4,7	4,8	3,9
4. Водонасичення, % за об'ємом	3,8	3,9	4,0
5. Границя міцності при стиску, МПа, за температури:			
0 °С	7,3	8,1	8,5
20 °С	3,8	5,0	5,2
50 °С	1,4	2,4	2,6
6. Водостійкість при довготривалому водонасиченні	0,89	0,94	0,96
7. Вміст в'язучого, %	5,5	5,5	5,5

Аналіз результатів досліджень вказує на те, що добавка полімеру Duroflex®-АС суттєво підвищує показники границі міцності при стиску асфальтобетону типу А за всіх досліджуваних температур. Так, при введенні добавки Duroflex-АС у кількості 3 кг/т та 5 кг/т. суміші, в порівнянні з асфальтобетоном без добавки, показник границі міцності за температури 50 °С збільшився на 71 % та 86 % відповідно, за температури 20 °С на 32 % та 37 % відповідно та за температури 0 °С на 11 % та 16 %. Водостійкість досліджуваного дрібнозернистого асфальтобетону при довготривалому водонасиченні також збільшується в 1,06 та 1,08 рази відповідно.

В процесі виконання роботи, з метою оцінки індивідуального впливу полімерної добавки Duroflex®-АС на властивості бітуму марки БНД 70/100, була виконана його модифікація шляхом додавання 5,45 % полімеру і їх спільного перемішування за температури 185 °С в лабораторній мішалці.

Поєднання добавки з дорожнім бітумом проводили в лабораторній механічній мішалці протягом 60 хвилин. Мішалка обладнана системою, що забезпечує рівномірний нагрів усього об'єму бітуму до необхідної температури і



її підтримку протягом перемішування. Кількість обертів вала мішалки становила 1200 об./хв.

Технологія приготування модифікованого бітуму полягала в наступному:

- розігрів бітуму до робочої температури;
- введення в бітум добавки при постійному повільному перемішуванні;
- заповнення робочої ємності лабораторної мішалки бітумом з добавкою полімеру і доведення температури суміші до робочої;
- перемішування при робочій температурі суміші бітуму з полімерною добавкою протягом певного періоду часу.

За результатами досліджень встановлено, що добавка Duroflex®-AC за прийнятих режимів перемішування не розчиняється (рисунок 9) у бітумі. За зовнішніми ознаками видно, що гранули полімеру частково набрякли але повністю не розчинилися у дорожньому бітумі марки БНД 70/100.

Попереднє механічне подрібнення гранул полімера Duroflex®-AC перед об'єднанням з бітумом дозволяє отримати однорідне бітумно-полімерне в'язуче при аналогічних режимах перемішування в лабораторній мішалці.

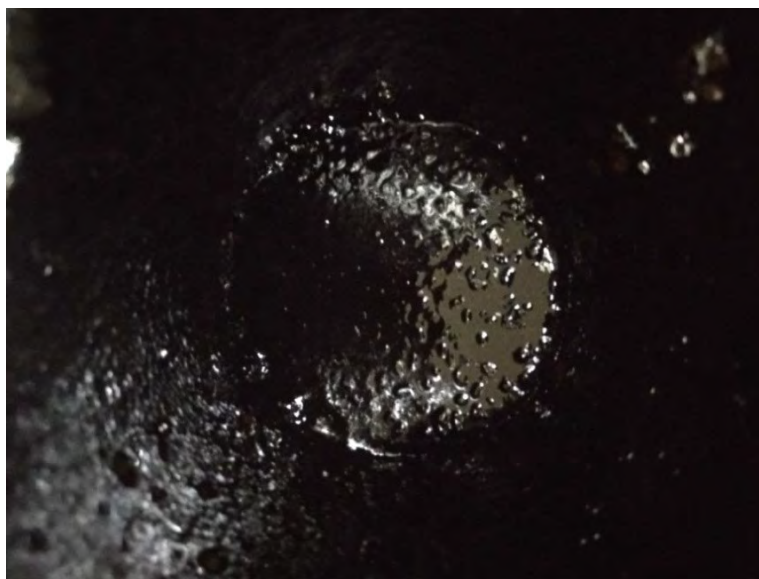


Рисунок 9 – Вигляд бітуму після перемішування з добавкою Duroflex-AC

Результати досліджень властивостей бітуму, модифікованого подрібненою добавкою Duroflex®-AC, наведені в таблиці 11.



**Таблиця 11 – Властивості бітуму марки БНД 70/100 модифікованого
добавкою Duroflex®-АС**

Властивості	БНД 70/100	БНД70/100 + 5,45 % Duroflex®-АС
Глибина проникнення голки (пенетрація) при температурі 25 °С, (0,1 мм)	78	24
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	49	75
Дуктильність (см), при температурі 25 °С	>100	12
Еластичність, %	-	23

Аналіз наведених в таблиці 11 даних показує, що введення полімеру до складу бітуму підвищує показник температури розм'якшення, зменшує глибину проникнення голки і дуктильність при 25 °С. Так, при введенні в бітум 5,45 % полімеру Duroflex®-АС показник температури розм'якшення модифікованого бітуму збільшується на 53 %, а глибина проникнення голки зменшується на 70 %, порівняно з вихідним бітумом.

4.4. Дослідження впливу модифікаторів KRATON D1101 та HONEYWELL TITAN 7686 на фізико-механічні властивості бітумів

В процесі технологічної підготовки бітум піддається періодичному нагріву. Стабільність складу та властивостей бітуму в процесі нагріву є важливою технологічною характеристикою, що нормується стандартом. Стабільність властивостей бітуму при нагріві характеризують: зміною маси, величиною залишкової пенетрації та зміною температури розм'якшення.

Зміна температури розм'якшення після прогрівання визначається як різниця значень температур розм'якшення, визначених згідно з ГОСТ 11506, до і після прогрівання. Залишкова пенетрація бітуму знаходиться при температурі 25 °С, як відношення глибини проникнення голки після прогрівання до глибини



проникнення голки до прогрівання, визначених згідно з ГОСТ 11501, у відсотках. Прогрів бітуму проводили згідно з ГОСТ 18180 з доповненням 8.3 ДСТУ 4044. Різниця між кожним вимірюванням і середнім арифметичним не повинна перевищувати 10 % від середньоарифметичного значення отриманих результатів.

Особливістю випробування є те, що прогрів в'язучих здійснюється при температурі 163 °С протягом 5 годин в скляних чашках з наважкою по $(28 \pm 0,1)$ г.

Якість зчеплення оцінюють візуально за ступенем збереженості плівки бітумного в'язучого на зернах щебеню після його кип'ятіння у дистильованій воді.

Із середньої проби використововуваного щебеню відбирають шість зерен розміром не менше 10 мм і висушують їх в сушильній шафі при температурі 105-110 °С. Кожне зерно щебеню обв'язують ниткою або тонким дротом (діаметром не більше 0,5 мм) та прогрівають у сушильній шафі. Температура прогрівання щебеню повинна бути при застосуванні в'язких бітумів 130-150 °С, рідких – 80-100 °С. Потім прогріті зерна щебеню по черзі занурюють на 15 с у бітумне в'язуче, після чого виймають і підвішують на штативі для стікання зайвого бітуму. Кожне зерно, підвішене на штативі, по черзі опускають у середину стакана таким чином, щоб воно не торкалось дна та стінок стакана і витримують у киплячій воді, при застосуванні в'язких бітумів 30 хв, рідких – 3 хв. Після закінчення зазначеного часу видаляють фільтрувальним папером бітум, який відділився від поверхні щебеню у процесі кип'ятіння та сплив на поверхню води.

Зерно щебеню виймають та занурюють у стакан з холодною дистильованою водою на 1-3 хв для охолодження і закріплення на поверхні щебеню плівки бітуму, що залишилась.

Охолоджений щєбінь виймають з води і поміщають на фільтрувальний папір.

Поверхню зерен щебеню оглядають та проводять оцінку якості зчеплення бітумного в'язучого зі щебенем за ступенем збереження плівки в'язучого відповідно до таблиці 12.



Таблиця 12 – Оцінка якості зчеплення бітумного в'язучого зі щебенем за ступенем збереження плівки в'язучого

Характеристика плівки бітуму на поверхні щебеню	Оцінка якості зчеплення
Плівка в'язучого повністю зберігається на поверхні, при цьому товщина її місцями може бути зменшена	Відмінно (п'ять балів)
Плівка в'язучого повністю зберігається на поверхні, але частково відділилась з гострих кутів і ребер	Добре (чотири бали)
Плівка в'язучого понад 50 % зберігається на поверхні щебеню	Задовільно (три бали)
Плівка в'язучого менше 50 % зберігається на поверхні щебеню. На оголеній поверхні спостерігаються окремі крапельки бітуму	Погано (два бали)

За результат випробування приймають максимальний бал, але не нижче трьох балів, отриманий у результаті випробування шести зерен щебеню, якщо характеристики плівки бітумного в'язучого збігаються на всіх зернах. У випадку розбіжності характеристик плівки бітуму на різних зернах випробовують подвійну кількість зерен щебеню і результат випробування визначають за найбільшою кількістю зерен щебеню, що мають однакові характеристики.

Для досліджень використовували бітум нафтовий дорожній в'язкий марки БНД 70/100 виробництва Мозирського НПЗ, властивості якого наведені в таблиці 13.

За отриманими результатами фізико-механічних властивостей встановлено, що досліджений бітум відповідає марці БНД 70/100, але має погану адгезію до поверхні мінеральних матеріалів. Даний бітум може бути використаний для подальших досліджень, так як на ньому можна більш виражено побачити роботу модифікаторів.

Дослідження виконувались в дослідницькій лабораторії кафедри Будівництва та експлуатації автомобільних дорог ХНАДУ. Змішування добавок, у кількості обумовленим технічним завданням, з дорожнім бітумом проводили в лабораторній механічній мішалці (рисунок 11) протягом 60 хв.



Таблиця 13 – Характеристики бітуму нафтового дорожнього в'язкого

Найменування показників	Од. вим.	Результати випробувань	Вимоги ДСТУ 4044 до марки БНД 70/100
1 Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 °С	0,1 мм	77	61-90
2 Температура розм'якшення	°С	47	від 47 до 53
3 Розтяжність за температури 25 °С	см	96	не менше 55
4 Температура спалаху у відкритому тиглі	°С	305	не нижче 230
5 Зчеплення з поверхнею мінеральних матеріалів (з поверхнею скла, % / з поверхнею щебеню, бали)	%	18/2	20/3
6 Температура крихкості	°С	мінус 18	не вище мінус 12
7 Зміна властивостей після прогрівання:			
7.1 Зміна маси після прогріву	%	0,11	не більше 0,8
7.2 Залишкова пенетрація	%	78	не менше 60
7.3 Зміна температури розм'якшення	°С	3,0	не більше 6,0
8 Розчинність в органічному розчиннику	%	99,90	не менше 99,00
9 Індекс пенетрації		- 1,0	від - 2,0 до + 1,0

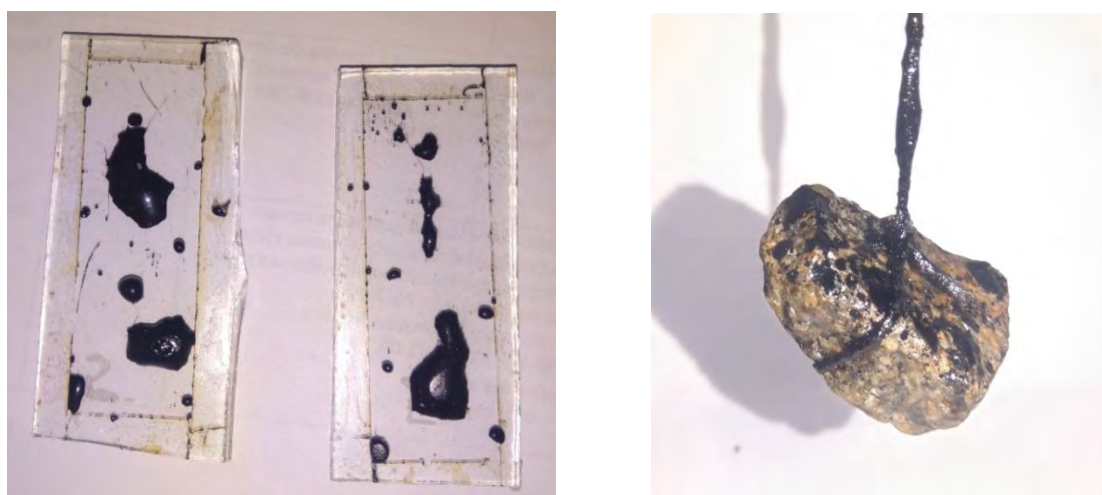


Рисунок 10 – Зчеплення бітуму з поверхнею мінеральних матеріалів

Механічна мішалка обладнана системою нагріву, що забезпечує рівномірний нагрів всього об'єму матеріалу, що відповідає необхідній температурі, і її підтримка в ході тривалості перемішування. Кількість оборотів мішалки складала 1200 об./хв. Температура перемішування бітуму з добавкою Honeywell Titan 7686 складала 150 °С, а з Kraton D1101 та комплексом Honeywell Titan 7686 та Kraton D1101 – 185 °С.

Технологія приготування модифікованого бітуму в лабораторній мішалці полягала в наступному:



- розігрів бітуму до робочої температури;
- введення в бітум добавки при постійному повільному перемішуванні;
- заповнення робочої ємності мішалки бітумом з добавкою і доведення температури суміші до робочої;
- перемішування при робочій температурі суміші бітуму з добавкою протягом необхідного часу.

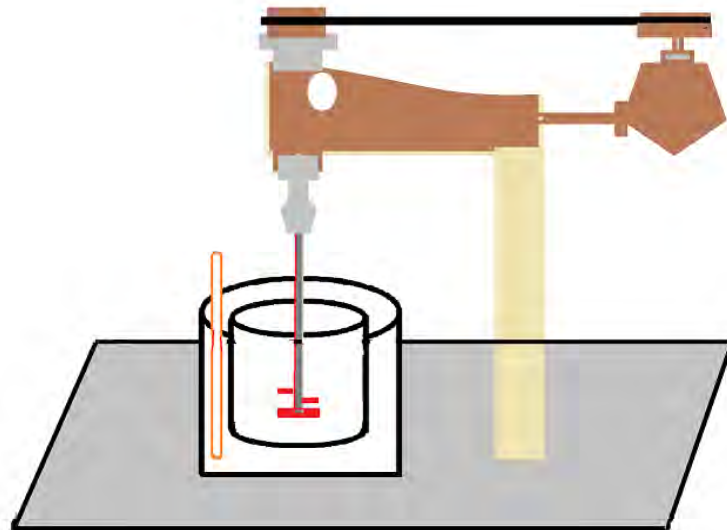


Рисунок 11 – Схема мешалки для приготування модифіцированих бітумов

Після завершення перемішування модифікований бітум піддавався лабораторним випробуванням (рисунки 12-17).

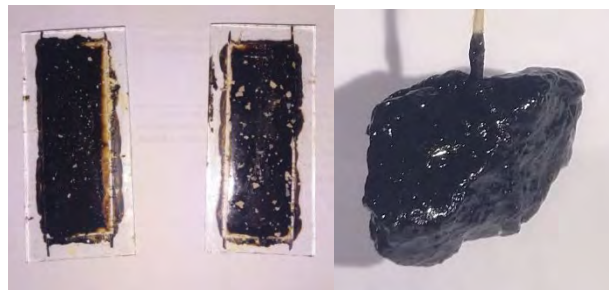


Рисунок 12 – Зчеплення бітуму модифікованого 3 % Honeywell Titan 7686 з поверхнею мінеральних матеріалів до прогрівання



Рисунок 13 – Зчеплення бітуму модифікованого 3 % Honeywell Titan 7686 з поверхнею мінеральних матеріалів після прогрівання



Рисунок 14 – Зчеплення бітуму модифікованого 3 % Kraton D1101 з поверхнею мінеральних матеріалів до прогрівання

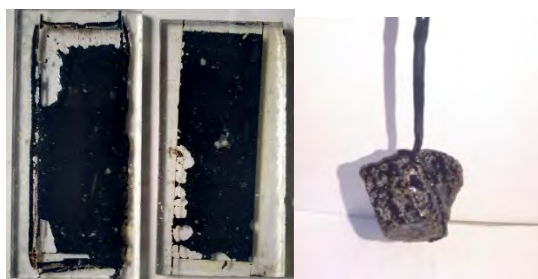


Рисунок 15 – Зчеплення бітуму модифікованого 3 % Kraton D1101 з поверхнею мінеральних матеріалів після прогрівання

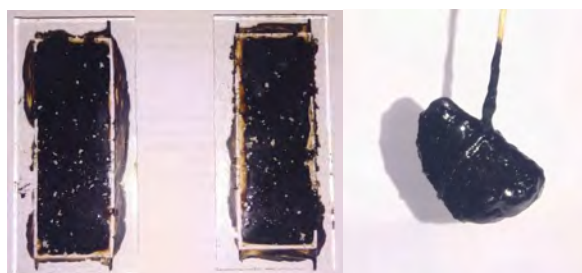


Рисунок 16 – Зчеплення бітуму модифікованого 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101 з поверхнею мінеральних матеріалів до прогрівання

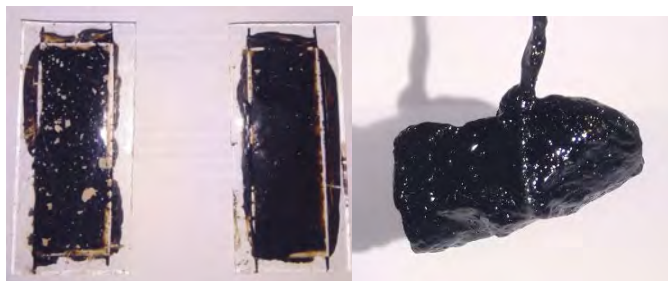


Рисунок 17 – Зчеплення бітуму модифікованого 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101 з поверхнею мінеральних матеріалів після прогрівання

Результати досліджень, отриманих лабораторних зразків бітумів, наведені в таблиці 14.

Отримані результати виконаних досліджень показують, що обидва модифікатора та їх комплекс впливають на показники фізико-механічних властивостей бітумів. Так при введенні модифікатора Honeywell Titan 7686 у кількості 3 % у вихідний бітум зменшується показник «пенетрація при 25 °С» на 36 одиниць, температура розм'якшення збільшилась на 29 °С, дуктильність зменшилась на 67 см, та з'явилася еластичність за температури 25 °С, у розмірі 43 %. Однак погіршив температуру крихкості на 4 °С. Введення добавки до складу бітуму суттєво підвищує показник зчеплення бітуму з поверхнею кам'яного матеріалу, він збільшується для гранітного щебеню з 2 балів на 5 балів, та з поверхнею скла з 18 % до 89 %, а також з поверхнею скла до 94 % для бітуму після прогрівання.

Модифікатор Kraton D1101 у кількості 3 %, менш суттєво вплинув на показник пенетрації та температури розм'якшення (відповідно на 31 одиницю (пенетрація при 25 °С) та на 14 °С підвищив температуру розм'якшення), дуктильність дослідженого бітуму склала 27 см, а еластичність 86 % та не змінив температуру крихкості.

Також покращився показник зчеплення бітуму з поверхнею кам'яного матеріалу, він збільшується для гранітного щебеню з 2 на 3 бали, та з поверхнею скла з 18 % до 62 %, а також з поверхнею скла до 79 % для бітуму після прогрівання.



Таблиця 14 – Значення показників бітуму нафтового дорожнього в'язкого модифікованого полімерами

Найменування показників	Одиниці виміру	БНД 70/100 + 3 % Honeywell Titan 7686	БНД 70/100 + 3 % Kraton D1101	БНД 70/100 + 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-135:2014 до марки БМП 40/60-57
1 Однорідність		без згустків та частинок полімеру	без згустків та частинок полімеру	без згустків та частинок полімеру	без згустків та частинок полімеру
2 Глибина проникнення голки (пенетрація) за температури 25 °С	0,1 мм	41	46	38	40-60
3 Температура розм'якшення за КіК	°С	76	61	67	не нижче 57
4 Розтяжність за температури 25 °С	см	29	27	27	не менше 12
5 Еластичність за температури 25 °С	%	43	86	56	не менше 55
6 Температура спалаху у відкритому тиглі	°С	320	320	325	не нижче 240
7 Зчеплення з поверхнею гранітного щебеню/скла	бали/%	5/89	3/62	5/89	3/32
8 Температура крихкості	°С	мінус 14	мінус 18	мінус 17	не вище мінус 18
9 Зміна властивостей після прогрівання:					
9.1 Залишкова пенетрація	%	99	98	99	не менше 75
9.2 Зміна температури розм'якшення	°С	1	1	1	не більше 5
9.3 Зчеплення з поверхнею гранітного щебеню/скла	бали/%	5/94	3/79	5/93	не нормується

Бітум модифікований комплексом Honeywell Titan 7686 у кількості 1 % та Kraton D1101 у кількості 2 % більш суттєво вплинув на глибину проникнення голки при температурі 25 °С знизивши її до 38 одиниць, підвищив температуру розм'якшення до 67 °С. Дуктильність склала 27 см, що дорівнює показнику, як при додаванні модифікатора Kraton D1101 у кількості 3 %, еластичність отриманого в'язкого склала 56 %. Температура крихкості дослідженого



в'язучого дорівнює мінус 17 °С. Введення комплексу добавок до складу бітуму суттєво підвищує показник зчеплення бітуму з поверхнею кам'яного матеріалу, до значень схожих з бітумом модифікованим добавкою Honeywell Titan 7686 у кількості 3 %, він збільшується для гранітного щебеню з 2 балів на 5 балів, та з поверхнею скла з 18 % до 89 %, а також з поверхнею скла до 93 % для бітуму після прогрівання.

Результати виконаних досліджень свідчать про те, що отримані в'язучі можуть бути використані для подальших досліджень.

4.5. Дослідження властивостей асфальтобетонів притовлених на основі бітумів модифікованих полімерами KRATON D1101 та HONEYWELL TITAN 7686, а також їх колієстійкості та морозостійкості

Для досліджень використовувались вихідні матеріали, гранулометричні склади та підбори асфальтобетонних сумішей, що наведені в розділах 4.1-4.3. В якості в'язучих використовувались бітуми властивості яких наведені в таблицях 13 та 14.

Результати виконаних досліджень приведені в таблицях 15 та 16.

Таблиця 15 – Результати порівняльних досліджень фізико-механічних властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЩМА-15

Назва показника	ЩМА-15 БНД 70/100	ЩМА-15 БНД 70/100 + 3 % Kraton D1101	ЩМА-15 БНД 70/100 + 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101	ЩМА-15 БНД 70/100 + 3 % Honeywell Titan 7686
1	2	3	4	5
1. Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	16,8	16,7	16,5	17,1
2. Залишкова пористість, % за об'ємом	2,7	2,8	2,7	2,1
3. Водонасичення, % за об'ємом: лабораторних зразків	2,0	1,3	1,6	1,1



1	2	3	4	5
4. Границя міцності при стиску, МПа, за температури: 20 °С 50 °С	3,5 0,8	4,5 1,2	4,2 1,1	4,0 1,0
5. Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,95	0,95	0,96	0,95
6. Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа	0,16	0,20	0,19	0,17
7. Границя міцності на розтяг при розколі за температури 0 °С, МПа	5,2	5,2	5,5	6,0
8. Водостійкість при довготривалому водонасиченні на 15 добу	0,90	0,92	0,93	0,93
9. Показник стікання в'язучого, %	0,08	0,09	0,08	0,08
10. Вміст в'язучого, %	5,5	5,5	5,5	5,5

Результати виконаних досліджень показують, що щебенево-мастиковим асфальтобетонам приготовленим на основі модифікованих бітумів властиві більші значення міцностних характеристик, а також водостійкості при довготривалому водонасиченні.

Таблиця 16 – Результати порівняльних досліджень фізико-механічних властивостей дрібнозернистих асфальтобетонів типу А

Назва показника	Тип А БНД 70/100	Тип А БНД 70/100 + 3 % Kraton D1101	Тип А БНД 70/100 + 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101	Тип А БНД 70/100 + 3 % Honeywell Titan 7686
1. Пористість мінеральної частини, % за об'ємом	15,7	16,5	16,2	16,5
2. Середня щільність, кг/м ³	2414	2412	2407	2417
3. Залишкова пористість, % за об'ємом	2,1	2,2	2,0	2,1
4. Водонасичення, % за об'ємом	1,2	1,0	1,0	1,1
5. Границя міцності при стиску, МПа, за температури: 0 °С 20 °С 50 °С	7,3 4,3 1,5	7,4 5,2 2,1	7,5 5,0 2,0	7,6 4,8 1,8
6. Водостійкість при довготривалому водонасиченні	0,89	0,93	0,91	0,92
7. Вміст в'язучого, %	5,5	5,5	5,5	5,5



Так, щебенево-мастиковий асфальтобетон приготовлений на бітумі модифікованому 3 % Kraton D1101, має показники границі міцності при стиску за температури 50 °С та 20 °С більші на 0,4 МПа та 1,0 МПа, в порівнянні з щебенево-мастиковим асфальтобетоном приготовленим на основі не модифікованого бітуму. Також підвищились показники «Зчеплення при зсуві за температури 50 °С» на 25 % та «Водостійкість при довготривалому водонасиченні на 15 добу» на 2 %.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон приготовлений на бітумі модифікованому комплексом 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101, має показники границі міцності при стиску за температури 50 °С та 20 °С більші на 0,3 МПа та 0,8 МПа, в порівнянні з щебенево-мастиковим асфальтобетоном приготовленим на основі не модифікованого бітуму. Також підвищились показники «Зчеплення при зсуві за температури 50 °С» на 19 % та «Водостійкість при довготривалому водонасиченні на 15 добу» на 3 %.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон приготовлений на бітумі модифікованому 3 % Honeywell Titan 7686 показав найменший приріст міцності серед досліджуваних матеріалів, для нього границя міцності при стиску за температури 50 °С та 20 °С більші на 0,2 МПа та 0,5 МПа, в порівнянні з щебенево-мастиковим асфальтобетоном приготовленим на основі не модифікованого бітуму. Показник «Зчеплення при зсуві за температури 50 °С» збільшився на 6 %, а «Водостійкість при довготривалому водонасиченні на 15 добу» на 3 %, як і у попередньому випадку.

Аналіз результатів виконаних досліджень показують, що дрібнозернистим асфальтобетонам типу А приготовленим на основі модифікованих бітумів властиві більші значення міцностних характеристик, а також водостійкості при довготривалому водонасиченні, в порівнянні з асфальтобетоном приготовленим з використанням не модифікованого бітуму.

Так, асфальтобетон приготовлений на бітумі модифікованому 3 % Kraton D1101, має показники границі міцності при стиску за температури 50 °С, 20 °С та 0 °С більші на 0,6 МПа, 0,9 МПа та 0,1 МПа відповідно, в порівнянні з



асфальтобетоном приготовленим на основі не модифікованого бітуму. Також підвищується показник «Водостійкість при довготривалому водонасиченні» на 4 %.

Асфальтобетон приготовлений на бітумі модифікованому комплексом 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101, має показники границі міцності при стиску за температури 50 °С, 20 °С та 0 °С більші на 0,5 МПа, 0,7 МПа та 0,2 МПа відповідно, в порівнянні з асфальтобетоном приготовленим на основі не модифікованого бітуму. Також підвищився показник «Водостійкість при довготривалому водонасиченні» на 2 %.

Дрібнозернистий асфальтобетон типу А приготовлений на бітумі модифікованому 3 % Honeywell Titan 7686 показав, що для нього показники границі міцності при стиску за температури 50 °С, 20 °С та 0 °С збільшуються на 0,3 МПа, 0,5 МПа та 0,3 МПа відповідно, в порівнянні з щебенево-мастиковим асфальтобетоном приготовленим на основі не модифікованого бітуму. Також підвищився показник «Водостійкість при довготривалому водонасиченні» на 3 %.

Визначення показника морозостійкості асфальтобетонів полягла в оцінці показника морозостійкості асфальтобетонів за втратою міцності зразків після впливу на них встановленої кількості циклів заморожування та відтавання.

За критерій показника морозостійкості асфальтобетонів приймали коефіцієнт морозостійкості. Зниження коефіцієнта морозостійкості свідчить про зниження показника морозостійкості асфальтобетону.

Для визначення показника морозостійкості виготовляли зразки асфальтобетону циліндричної форми згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 при величині ущільнюючого навантаження згідно з ДСТУ Б В.2.7-127 та ДСТУ Б В.2.7-119.

Основні зразки насичували 5 % водним розчином хлористого натрію. Розчин хлористого натрію концентрації 5 % виготовляли шляхом змішування води та хлористого натрію у співвідношенні 20 до 1 за масою при температурі (20 ± 2) °С до утворення однорідного розчину.



Зразки насичені 5 % водним розчином хлористого натрію виймали з вакуумної установки та розміщували у морозильній камері на сітчасту підставку таким чином, щоб відстань між зразками та стінками камери була не менше 50 мм. Початком заморожування вважали момент коли температура у морозильній камері становила мінус 25 °С.

Загальна кількість нормативних циклів заморожування та відтавання, після яких виконувалось визначення границі міцності при розколі зразків, складала 25.

Тривалість заморожування становила 4 години. Тривалість відтавання у 5 % водному розчині хлористого натрію при температурі плюс 20 °С становила 4 години. Водний розчин хлористого натрію замінювали один раз на 5 циклів. У разі необхідності зразки можна залишали в морозильній камері на строк більше 4 годин згідно з [4].

Після 25 циклів заморожування та відтавання основні зразки виймали з морозильної камери та термостатували у 5 % водному розчині хлористого натрію за температури 20 °С протягом 4 годин. Після цього зразки витримували у термостаті за температури 0 °С протягом 1 годин та визначали границю міцності при розколі основних зразків при температурі 0 °С та швидкості прикладання навантаження 3 мм/хв. згідно з ДСТУ Б В.2.7-319. Одночасно визначали границю міцності при розколі контрольних зразків за температури 0 °С згідно з ДСТУ Б В.2.7-319.

Для визначення границі міцності при розколі використовували не менше 3 основних зразки та 3 контрольних зразки [4].

За результатами випробувань визначали середнє арифметичне значення границі міцності при розколі для контрольних та основних зразків.

Коефіцієнт морозостійкості визначали як відношення середньоарифметичного значення границі міцності при розколі основних зразків, які піддавали циклам заморожування та відтавання до середньоарифметичного значення границі міцності при розколі контрольних зразків, які не піддавали заморожуванню та відтаванню, за формулою (1):



$$K_{мпз} = \frac{R_{рц}^{cp}}{R_p^{cp}}, \quad (1)$$

де $R_{рц}^{cp}$ – середньоарифметичне значення границі міцності при розколі основних зразків, які піддавали циклам заморожування та відтавання;

R_p^{cp} – середньоарифметичне значення границі міцності при розколі контрольних зразків, які не піддавали заморожуванню та відтаванню.

Коефіцієнти морозостійкості визначали на 5, 10, 15, 20, та 25 цикл заморожування-відтавання.

Результати порівняльних досліджень морозостійкості ЩМА-15 приготовлених на модифікованих та не модифікованих в'язучих наведені на рисунку 18.

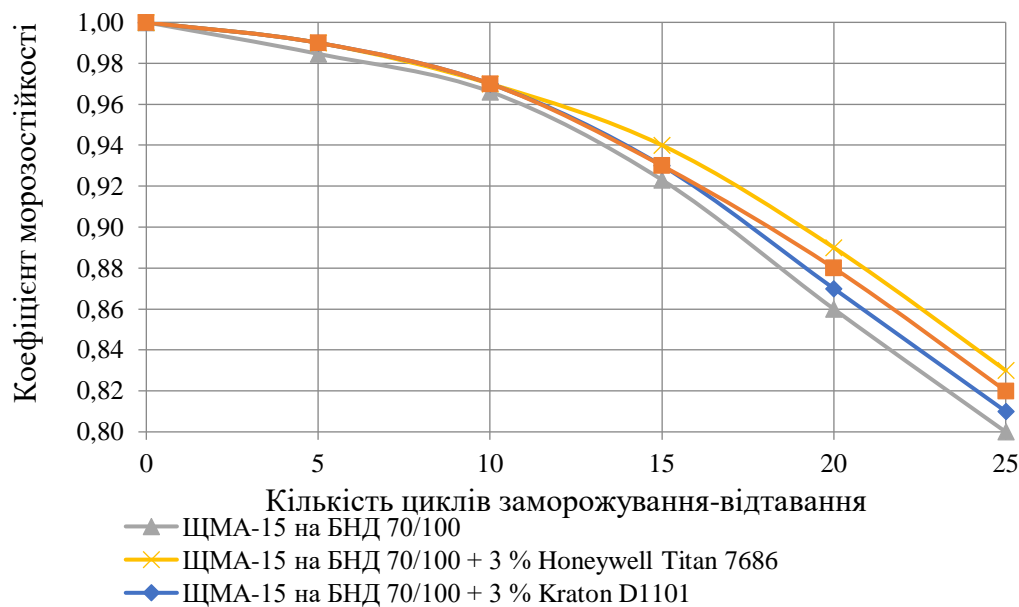


Рисунок 18 – Результати порівняльних досліджень морозостійкості ЩМА-15

Результати порівняльних досліджень морозостійкості асфальтобетонів типу А приготовлених в'язучих, що досліджувались наведені на рисунку 19.

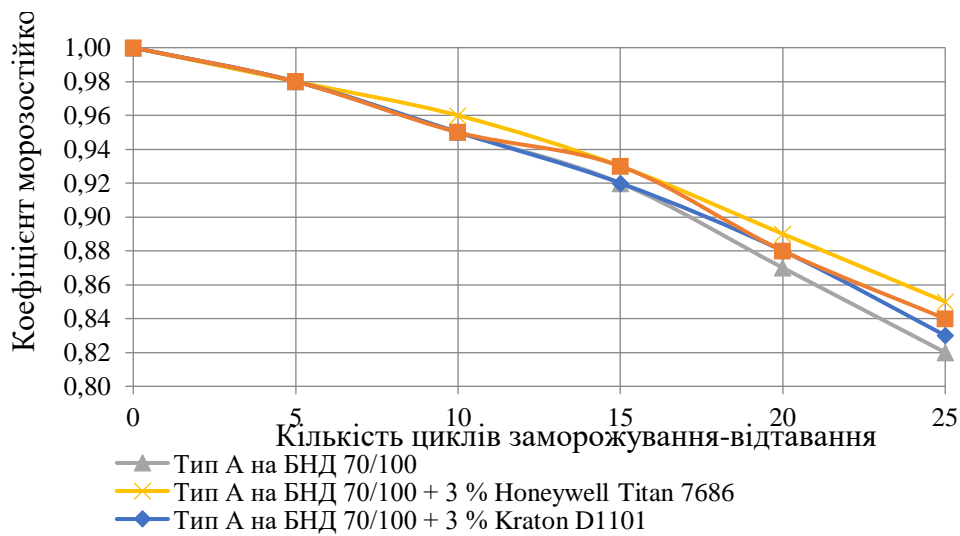


Рисунок 19 – Результати порівняльних досліджень морозостійкості дрібнозернистих асфальтобетонів типу А

За отриманими результатами експериментальних досліджень коефіцієнти морозостійкості для щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЩМА-15 приготовлених на основі модифікованих та не модифікованого бітумів не суттєво відрізняються один від одного. Найбільший коефіцієнт морозостійкості, після 25 циклів заморожування-відтавання, властив щебенево-мастиковому асфальтобетону виду ЩМА-15 приготовленому на основі бітуму БНД 70/100 модифікованому 3 % Honeywell Titan 7686, який дорівнює 0,83. Для щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-15 приготовленого на основі бітуму БНД 70/100 модифікованого комплексом модифікаторів Kraton D1101 та Honeywell Titan 7686 у кількості 2 % та 1 % відповідно, коефіцієнт морозостійкості після 25 циклів заморожування-відтавання, дорівнює 0,82, а для щебенево-мастикового асфальтобетону приготовленого на основі бітуму модифікованого 3 % Kraton D1101 – 0,81, для ЩМА-15 приготовленого на основі не модифікованого бітуму – 0,80.

Результати експериментальних досліджень коефіцієнтів морозостійкості для дрібнозернистих асфальтобетонів типу А приготовлених на основі модифікованих та не модифікованого бітумів, як і в попередньому випадку, не суттєво відрізняються один від одного. Найбільший коефіцієнт морозостійкості, після 25 циклів заморожування-відтавання, асфальтобетону типу А



приготовленому на основі бітуму БНД 70/100 модифікованому 3 % Honeywell Titan 7686, який дорівнює 0,85. Для асфальтобетону типу А приготовленого на основі бітуму БНД 70/100 модифікованому комплексом модифікаторів Kraton D1101 та Honeywell Titan 7686 у кількості 2 % та 1 % відповідно, коефіцієнт морозостійкості після 25 циклів заморожування-відтавання, дорівнює 0,84, а для асфальтобетону приготовленого на основі бітуму модифікованого 3 % Kraton D1101 – 0,83, для асфальтобетону приготовленого на основі не модифікованого бітуму – 0,82.

Суть методу полягає у визначенні ступеня зниження міцності при стиску зразків асфальтобетонів під дією на них води протягом 15 діб порівняно зі зразками, витриманими на повітрі за температури $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

Зразки, насичені у вакуумній установці за температури $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$, переносили в іншу посудину з водою, в якій витримують протягом 15 та 30 діб за температури $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Зразки, не насичені водою, зберігали в приміщенні протягом 15 та 30 діб за температури $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$. Зразки, що витримували у воді та на повітрі, розміщували на перфорованих полицях та на відстані один від одного не менше ніж (10 ± 1) мм. Зразки, що випробовували після довготривалого водонасичення та після витримування на повітрі були однакового віку. Висота шару води над зразками, що витримували у водному середовищі, була не менше ніж (20 ± 1) мм протягом всього часу витримування.

Після закінчення 15 та 30 діб безпосередньо перед випробуванням водонасичені та неводонасичені зразки поміщали в ємність з температурою води $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$ та витримували протягом (60 ± 1) хв. Після цього зразки видаляли з води, обтирали м'якою тканиною і визначали границю міцності при стиску.

За результатами випробувань з точністю до другого десяткового знака обчислювали коефіцієнт водостійкості $K_{\text{вд}}$ після тривалого водонасичення за формулою (2):

$$K_{\text{вд}} = \frac{R_{\text{ст}}^{\text{вд}}}{R_{\text{ст}}^{20}}, \quad (2)$$



де R_{ct}^{BD} – міцність при стиску при температурі (20 ± 2) °С зразків після насичення водою протягом 15 діб, МПа;

R_{ct}^{20} – міцність при стиску при температурі (20 ± 2) °С зразків до насичення водою, МПа.

Коефіцієнти довготривалої водостійкості визначали на 15 та 30 добу. Результати порівняльних досліджень довготривалої водостійкості ЩМА-15 приготовлених на модифікованих та не модифікованих бітумах наведені в таблицях 17, 18.

Таблиця 17 – Коефіцієнти довготривалої водостійкості досліджуваних щебенево-мастикових асфальтобетонів

Доба тривалого водонасичення	ЩМА-15 БНД 70/100	ЩМА-15 БНД 70/100 + 3 % Kraton D1101	ЩМА-15 БНД 70/100 + 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101	ЩМА-15 БНД 70/100 + 3 % Honeywell Titan 7686
15	0,90	0,92	0,93	0,93
30	0,80	0,89	0,89	0,89

Таблиця 18 – Коефіцієнти довготривалої водостійкості досліджуваних дрібнозернистих асфальтобетонів типу А

Доба тривалого водонасичення	Тип А БНД 70/100	Тип А БНД 70/100 + 3 % Kraton D1101	Тип А БНД 70/100 + 1 % Honeywell Titan 7686 та 2 % Kraton D1101	Тип А БНД 70/100 + 3 % Honeywell Titan 7686
15	0,89	0,93	0,91	0,92
30	0,80	0,89	0,89	0,88

За отриманими результатами експериментальних досліджень встановлено, що для щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЩМА-15 та дрібнозернистих асфальтобетонів типу А приготовлених на модифікованих бітумах властиві більші значення ніж для асфальтобетонів приготовлених на основі не модифікованих бітумів. Коефіцієнти довготривалої водостійкості для ЩМА-15 та асфальтобетону типу А приготовленому на бітумі БНД 70/100 модифікованому добавкою Kraton D1101 у кількості 3 %, комплексом добавок



Honeywell Titan 7686 та Kraton D1101 у кількості 1 % та 2 % та добавкою Honeywell Titan 7686 у кількості 3 % після 15 діб витримування у воді підвищується на 2-4 %, а після 30 діб витримування у воді підвищується на 10-11 %.

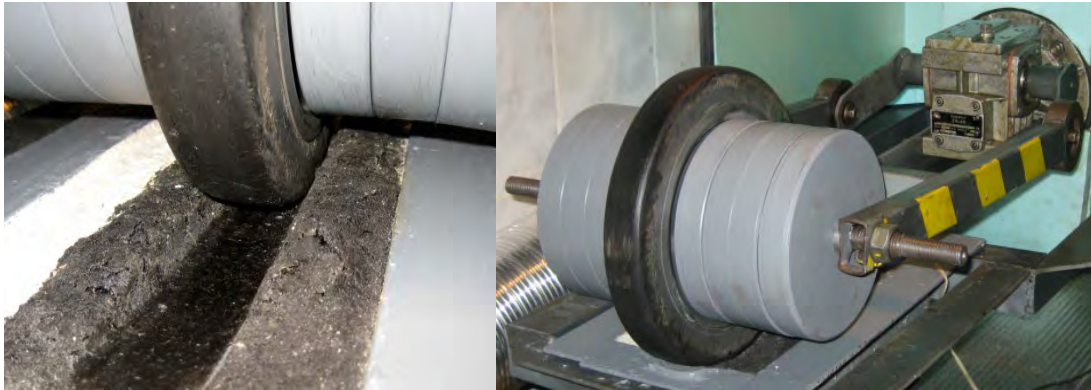
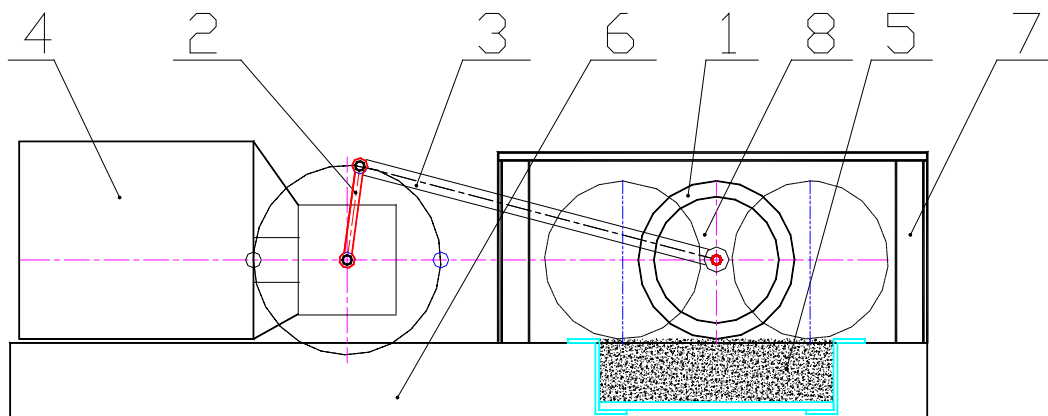


Рисунок 20 – Прилад-коліємір конструкції кафедри будівництва і експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ



1 – резина; 2 – водила; 3 – шатун; 4 – мотор; 5 – асфальтобетонний зразок;
6 – рама; 7 – кожух; 8 – металевий диск

Рисунок 21 – Схема приладу-колієміру

Порівняльні дослідження колієстійкості асфальтобетонів з оптимальним вмістом гумової крихти та волокнистої домішки Viator 66, виконували за допомогою розробленого в лабораторії кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг Харківського національного автомобільно-дорожнього університету електромеханічного випробувального стенда колієутворення що зображений на рисунках 20, 21 [10]. Даний прилад дозволяє провести оцінку



стійкості асфальтобетонів до утворення колії при різних температурах і рівнях навантаження на колесо, котре рухається по поверхні зразка.

Прилад має рухоме огумлене колесо, яке за допомогою шатуну і водила приєднано до мотору-редуктору таким чином, що воно може переміщатися з частотою 36 циклів за хвилину по поверхні асфальтобетонного зразка, поміщеного під кожух та закріпленого на рамі. Підтримання температури випробування здійснюється за допомогою терморегулюючого пристрою, поміщеного під кожух. Навантаження на колесо регульоване.

Дослідження виконували шляхом циклічного прокочування навантаженого огумленого колеса по поверхні асфальтобетонних зразків при наступних режимах: еквівалентне навантаження на колесо – 57,5 кН; максимальна кількість проходів колеса – 30 000, температура випробування – плюс 65 °С.

Зразки асфальтобетонів, що використовувались, мають форму паралелепіпеда з розмірами 30х15х7 см.

Результати порівняльних досліджень колієстійкості дрібнозернистих асфальтобетонів типу А приведені на рисунку 22.

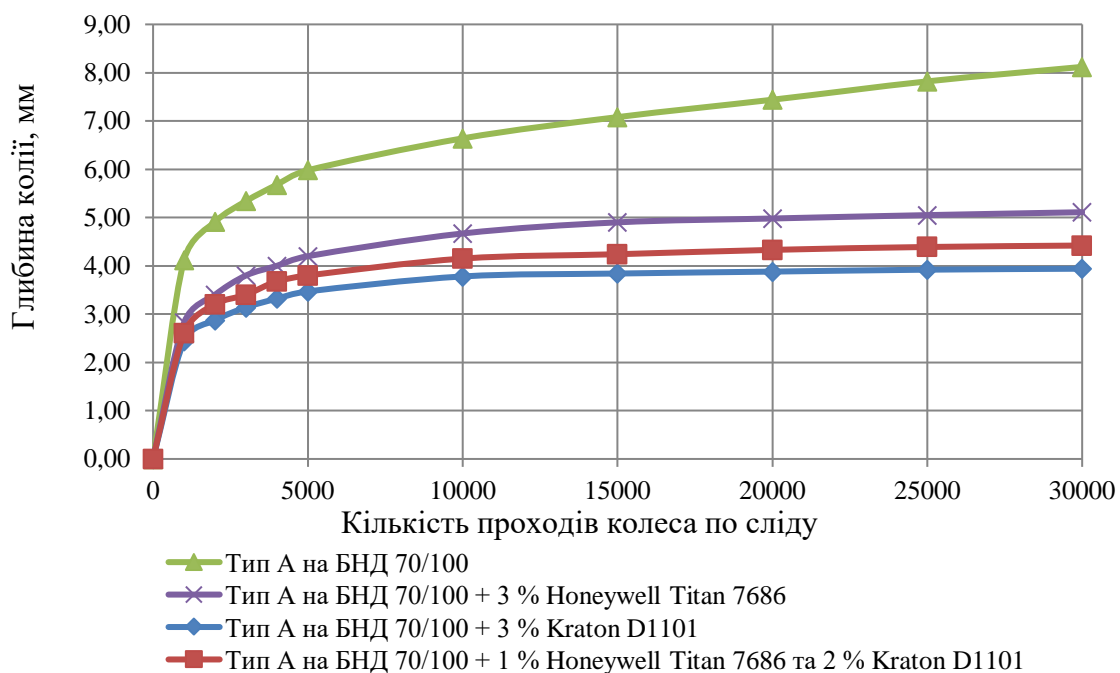


Рисунок 22 – Залежність глибини колії від кількості проходів колеса по одному сліду для досліджуваних зразків з дрібнозернистого асфальтобетону типу А



Результати досліджень колієстійкості дрібнозернистих асфальтобетонів типу А приготовлених на основі модифікованих та не модифікованого бітумів показують, що асфальтобетон на бітумі модифікованом 3 % добавки Kraton D1101 має найбільшу колієстійкість, на зразках з нього після 30000 проходів колеса по сліду глибина колії зменшується в 2,06 рази. Дрібнозернистий асфальтобетон приготовлений на бітумі модифікованому комплексом добавок Honeywell Titan 7686 та Kraton D1101 у кількості 1 % та 2 % відповідно, має глибину колії в 1,84 рази менше в порівнянні ніж на асфальтобетоні, що був приготовлений на основі не модифікованого бітуму. Дрібнозернистий асфальтобетон типу А приготовлений на бітумі модифікованому добавкою Honeywell Titan 7686 у кількості 3 % також має суттєво більшу колієстійкість, на досліджуваних зразках глибина колії в 1,59 раз менша від зразків з асфальтобетону, що був приготовлений на основі не модифікованого бітуму.

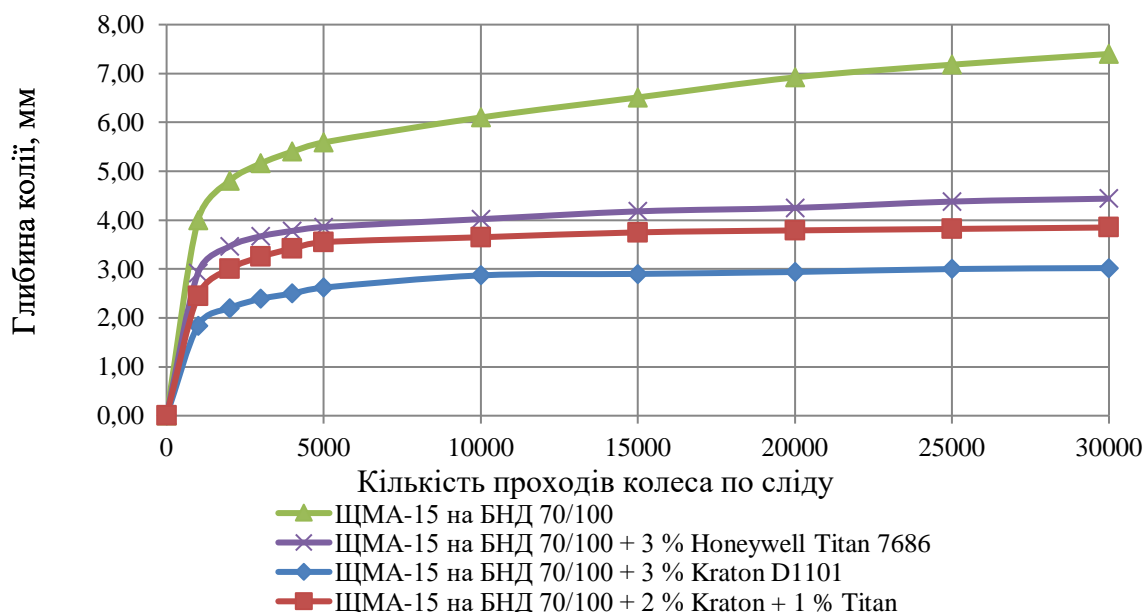


Рисунок 23 – Залежність глибини колії від кількості проходів колеса по одному сліду для досліджуваних зразків з щебенево-мастикових асфальтобетонів ЩМА-15

Результати досліджень колієстійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів виду ЩМА-15 приготовлених на основі модифікованих та не



модифікованого бітумів показують, що ЩМА-15 на бітумі модифікованом 3 % добавки Kraton D1101 найбільш коліє стійкий. На досліджуваних зразках з нього після 30000 проходів колеса по сліду глибина колії зменшується в 2,45 рази. В щебенево-мастиковому асфальтобетоні виду ЩМА-15 приготовленому на бітумі модифікованому комплексом добавок Honeywell Titan 7686 та Kraton D1101 у кількості 1 % та 2 % відповідно, глибина колії після 30000 проходів колеса складає 3,85 мм, що в 1,92 рази менше в порівнянні з ЩМА, що був приготовлений на основі не модифікованого бітуму. Щебенево-мастиковий асфальтобетон виду ЩМА-15 приготовлений на бітумі модифікованому добавкою Honeywell Titan 7686 у кількості 3 % також має достатньо високу колієстійкість, на досліджуємих зразках глибина колії в 1,67 раз менша від зразків з асфальтобетону, що був приготовлений на основі не модифікованого бітуму.