



## CHAPTER 13 / РОЗДІЛ 13

### TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE PREPARATION AND APPLICATION OF CRUSHED STONE-MASTIC ASPHALT MIXTURES WITH CRUMB RUBBER

#### 13.1. Існуючі способи застосування гумової крихти в асфальтобетонних сумішах

Згідно нормам [5] щебенево-мастиково асфальтобетонна суміш – це суміш мінеральних матеріалів (щебеню, піску і мінерального порошку), стабілізуючої добавки та бітуму, віддозованих в заданих співвідношеннях і перемішаних в нагрітому стані.

Специфіка складу і структури ЩМА передбачає обов'язкову присутність в якості основних складових міцного щебеню з поліпшеною (кубовидної) формою зерен, «об'ємного» бітуму і невеликої кількості стабілізуючою (зазвичай волокнистої) добавки. Під об'ємним бітумом прийнято розуміти ту частину в'язучого в асфальтобетонній суміші, яка не схильна до сильного структуруючого впливу дальньодіючих поверхневих сил на межі розділу фаз.

На відміну від асфальтобетонних сумішей типу А за ДСТУ Б В.2.7-119 [7], що містять від 45 до 55 % щебеню, в ЩМА його обсяг досягає 60-80 %.

У щебенево-мастичного асфальтобетону пустотність у щебені становить 15-19 % за об'ємом. Ці пустоти заповнюються бітумної мастикою.

Мастика – другий компонент складу ЩМАС и складає близько 20-25 % за вагою та близько 30-35 % за об'ємом. Мастика складається з (рисунок 1):

Пропорція складових компонентів мастики представлена на рисунку 2.

Мастика в складі асфальтобетону виконує наступні завдання:

- зв'язує всі компоненти суміші воедино;
- забезпечує добре ковзання крупних зерен щебеню і відповідне розташування їх в шарі;

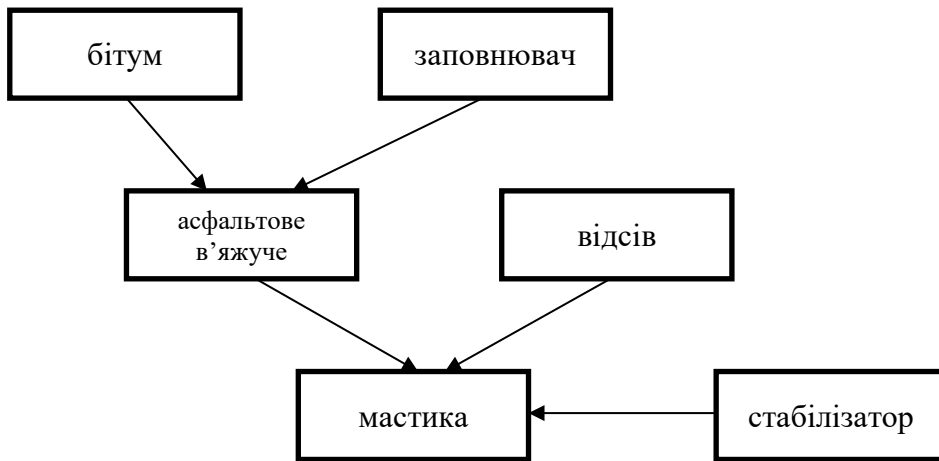


Рисунок 1 – Складові мастики в ЩМА

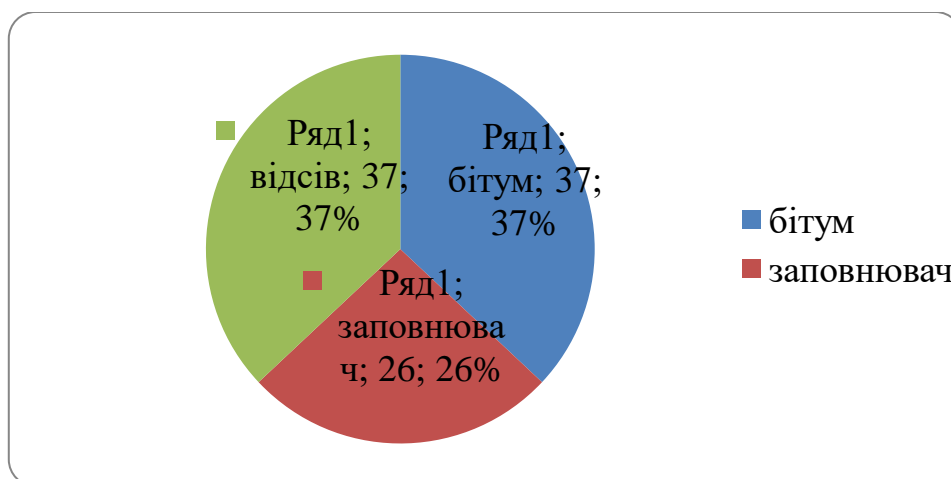


Рисунок 2 – Приблизний вміст складових мастики

– ущільнення шару – заповнює порожнечі між щебенем, і таким чином, від неї залежить довговічність шару й опір старінню від різних чинників (води, протиожеледних матеріалів тощо).

Для приготування ЩМАС необхідно використовувати лише пісок із відсівів подрібнення щільних гірських порід. При цьому марка за міцністю вихідної гірської породи повинна бути не менше, ніж 1000. Вміст в піску глинистих часток, не повинен перевищувати 0,5 % за масою. Вміст зерен розміром більше 5 мм у відсівах подрібнення гірських порід не повинен перевищувати 5 % за масою. Вміст в них зерен розміром більше 10 мм не допускається.

Як мінеральний порошок для приготування ЩМАС також допускається використовувати цемент низької активності не вище марки “300” за умови



відповідності його гранулометричного складу вимогам стосовно складу мінерального порошку. За наявності відповідного техніко-економічного обґрунтування допускається замінювати до 50 % мінерального порошку зернами відсіву подрібнення гірських порід дрібніше 0,071 мм від необхідного масового вмісту таких зерен у ЩМАС. Решта цієї фракції повинна бути представлена зернами мінерального порошку. Вміст глинистих часток у пиловидній фракції відсіву не повинен перевищувати 1 % за масою [1].

За весь час експлуатації покриттів з щебенево-мастичного асфальтобетону виділяють такі позитивні експлуатаційні властивості:

- зсувостійкість при високих літніх температурах;
- шорстка текстура поверхні і добре зчеплення з колесом автомобіля;
- висока зносостійкість, в тому числі до дії шини з шипами;
- водонепроникність;
- тріщиностійкість при деформаціях покриття і при механічних впливах транспорту;
- стійкість до старіння.

Під зсувостійкістю мається на увазі здатність асфальтобетону чинити опір необоротному пластичному деформуванню при багаторазовому прикладанні колісного навантаження.

Щебенево-мастиковий асфальтобетон сприяє суттєвому зниженню рівня шуму від автомобільного руху в порівнянні з іншими асфальтобетонними покриттями .

З метою підвищення стійкості до колієутворення покриттів з ЩМА можна застосовувати як бітумно-полімерні в'язучі, так і оптимізувати зерновий склад і структуру мінерального кістяка в бік підвищення внутрішнього тертя. Також можливе застосування геосинтетичного матеріалу між асфальтобетонними шарами.

В умовах експлуатації доріг із невеликим навантаженням функціональні та експлуатаційні переваги покриття ЩМА повністю забезпечуються при товщині



шару 25-30 мм. Для улаштування таких шарів покриття ЩМА рекомендується використовувати суміш ЩМА-10 (ГОСТ 31015-2002) із стабілізатором VIATOR.

Використання тонких шарів ЩМА на дорогах із малим транспортним навантаженням забезпечує:

- суттєве зменшення загальних витрат на проведення робіт із улаштування та ремонту навіть у порівнянні з асфальтобетонними покриттями;
- збільшення терміну безремонтної експлуатації покриття до 5-8 років;
- зниження витрат на утримання і ремонт дорожнього покриття за весь період експлуатації в 2-4 рази;
- підвищення довговічності дорожнього покриття в 2-3 рази;
- зниження рівня шуму від руху транспорту, що є важливо для міських доріг;
- підвищення коефіцієнта зчеплення, зменшення утворення водяного аерозолу та виключення ефекту аквапланування.

Гарячі асфальтобетонні суміші виробляють з використанням в'язких бітумів за температури 140-165 °С. У цьому діапазоні температур в'язкість бітуму знижена до такого рівня, при якому він легко обволікає гарячі мінеральні матеріали, суміш достатньо рухлива, що забезпечує її рівномірне перемішування і наступне переміщення в накопичувальний бункер. Гарячу суміш укладають і починають ущільнювати за температури 135-155 °С, коли вона ще рухлива і завершують укочування при температурі не нижче 80 °С. Формування структури гарячого асфальтобетону після його ущільнення вважається в основному завершеним.

Стабілізуюча (структуруюча) дія добавок проявляється у вигляді їх здатності гомогенізувати гарячі асфальтобетонні суміші, що випускаються, тобто перешкоджати стіканню бітумного в'язучого. Вид і властивості застосовуваних добавок (рисунок 3) мають велике значення для забезпечення необхідного вмісту в'язучого і підвищення якості суміші.

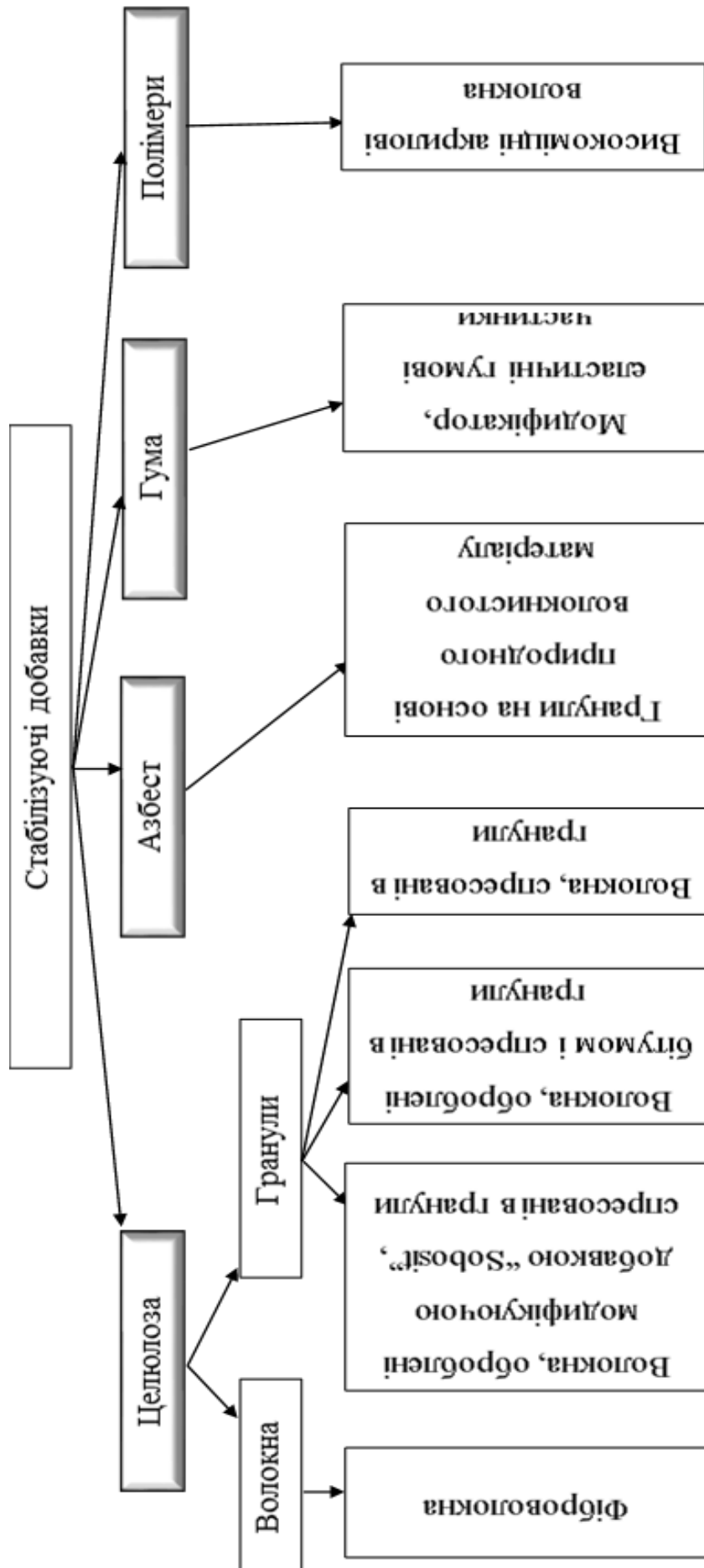


Рисунок 3 – Класифікація стабілізуючих добавок для ШМА



Основна мета застосування стабілізуючих добавок полягає в підвищенні товщини бітумних плівок, які забезпечують присутність вільного (об'ємного) бітуму і однорідності ЩМАС. Спочатку як стабілізуючі добавки переважно використовували азбест і гумову крихту, що дозволяло вводити в ЩМА до 7 % бітуму. У ході експериментальних робіт встановлено, що добавки целюлозних, полімерних і мінеральних волокон, термопластів і похідних кремeneвої кислоти так само здатні в тій чи іншій мірі утримувати великий обсяг бітуму в суміші і забезпечувати стійкість до розшаровування. Слід зазначити, що пошук ефективних стабілізуючих добавок у ЩМА триває і досі.

В даний час найбільшого поширення набули стабілізуючі добавки на основі целюлози.

Гарячі щебенево-мастикові асфальтобетонні суміші виготовляються на звичайних асфальтобетонних заводах, обладнаних змішувачами примусового перемішування, шляхом змішування у нагрітому стані щебеню, піску з відсівів дроблення з додаванням стабілізуючих добавок, мінерального порошку, бітуму або бітуму-полімерного в'язучого.

Стабілізуючу гранульовану добавку рекомендується вводити в мішалку сучасної асфальтозмішувальної установки на розігрітий кам'яний матеріал перед подачею або разом з мінеральним порошком, передбачаючи «сухе» перемішування в змішувачах циклічної дії протягом 10-20 сек.

Технологічний процес приготування суміші в змішувачах періодичної дії включає наступні основні операції:

- підготовка мінеральних матеріалів (подача і попереднє дозування, висушування і нагрівання до необхідної температури) і пофракційне дозування їх у змішувач;
- подача холодного мінерального порошку і стабілізуючої добавки через дозатор у змішувач;
- підготовка бітуму (розігрівання, випарювання вологи, яка в ньому міститься, й нагрівання до робочої температури, у необхідних випадках введення



поверхнево-активних речовин та інших модифікуючих добавок, дозування перед подачею в змішувач);

– «сухе» перемішування гарячих мінеральних матеріалів з холодним мінеральним порошком і стабілізуючою добавкою;

– перемішування мінеральних матеріалів з бітумом і вивантаження готової асфальтобетонної суміші в накопичувальний бункер або автомобілі-самоскиди.

Технологічний процес приготування суміші в змішувачах безперервної дії передбачає дозування холодних мінеральних матеріалів, а їх нагрівання і перемішування з бітумом і стабілізуючою добавкою відбувається в одному сушильно-змішувальному барабані. При приготуванні ЩМАС температура вихідних матеріалів ті самої суміші повинна відповідати вимогам таблиці 1.

**Таблиця 1 – Температура ЩМАС та вихідних матеріалів [1]**

Марка бітуму	Температура, °С		
	бітуму, що подається в змішувач	мінеральних матеріалів на виході з сушильного барабана	суміші на виході зі змішувача
БНД 50/70	145-160	175-185	150-155
БНД 70/100	145-155	170-180	145-150
БНД 100/150	135-145	165-175	135-145

Щоб забезпечити гарне зчеплення шару, що укладається з основою, поверхню останньої очищають від пилу і бруду, після чого обробляють органічним в'язучим: бітумною емульсією або бітумом з розрахунку від 0,20 л до 0,30 л бітуму на 1 м<sup>2</sup>. Гаряча ЩМАС укладається і ущільнюється як стандартна суміш за допомогою асфальтоукладачів і гладковальцових котків.

Для ущільнення ЩМА найбільш придатні гладковальцові котки вагою 8-10 т, що рухаються короткими захватками зі швидкістю 5-6 км/год, наближаючись якомога ближче до асфальтоукладача.



## 13.2. Прийняті матеріали та методи дослідження

В якості в'язучого для щєбенево-мастикових асфальтобетонів було прийнято бітум нафтовий дорожній в'язкий марки БНД 70/100 виробництва Кременчуцького НПЗ. Властивості прийнятого для досліджень бітуму наведено в таблиці 2.

**Таблиця 2 – Властивості бітуму нафтового дорожнього в'язкого марки БНД 70/100, прийнятого для приготування щєбенево-мастикових асфальтобетонних сумішей**

Назва показників властивостей	Вимоги ДСТУ 4044	Бітум БНД 70/100
Глибина проникнення голки, мм <sup>-1</sup> , при температурі 25 °С	71-100	78
Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	45-51	49
Розтяжність (дуктильність) при температурі 25 °С, см	не менше 60	66

Для приготування щєбенево-мастикових асфальтобетонних сумішей згідно [1] використовувався гранітний щєбінь кубовидної форми та відсів подрібнення гранітної гірської породи «Гайворонського» спецкар'єру, а також вапняковий мінеральний порошок.

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

Результати експериментально визначених показників фізико-механічних властивостей мінерального порошку, щєбеню та відсіву подрібнення наведені в таблицях 3-8.

Аналіз наведених результатів показує, що за дослідженими показниками фізико-механічних властивостей мінеральні матеріали відповідають вимогам чинних в Україні нормативних документів [2-4].





Таблиця 3 – 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	95	від 70 до 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 4 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного щебню 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 <sup>3</sup>	–	1418
2 Середня щільність		2,0-2,8	2,76
3 Істинна щільність	г/см <sup>3</sup>	–	2,77
4 Пустотність		–	48,60
5 Пористість	г/см <sup>3</sup>	–	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 5 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного  
щебню 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 <sup>3</sup>	–	1456
2 Середня щільність	г/см <sup>3</sup>	2,0-2,8	2,72
3 Істинна щільність	г/см <sup>3</sup>	–	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 стиранністю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
11 Вологість	%	–	0,12
12 Водопоглинання	%	–	0,49

**Таблиця 6 – Фізико-механічні показники властивостей гранітного  
щебню фракції 11-16 мм**

Найменування випробувань	Одиниці виміру	Вимоги ДСТУ Б В.2.7-127, ДСТУ Б В.2.7-75	Результати випробувань
1	2	3	4
1 Насипна щільність	кг/м <sup>3</sup>	–	1496
2 Середня щільність	г/см <sup>3</sup>	2,0-2,8	2,68
3 Істинна щільність	г/см <sup>3</sup>	–	2,77
4 Пустотність	%	–	44,50
5 Пористість	%	–	2,6
6 Вміст зерен пластинчастої та голчастої форми	%	не більше 10-15	10



1	2	3	4
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 стиранністю у поличному барабані		не менше 1200 не нижче Ст-1	9,2/1400 Ст-1
11 Вологість	%	–	0,11
12 Водопоглинання	%	–	0,50

**Таблиця 7 – Показники фізико-механічних властивостей піску з відсівів подрібнення**

Найменування випробувань	Одиниці виміру	Вимоги ДСТУ Б.В.2.7-32, ДСТУ Б В.2.7-127	Результати випробувань
1 Насипна щільність	кг/м <sup>3</sup>	не більше 1650	1537
2 Істинна щільність	г/см <sup>3</sup>	–	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

Для порівняльних досліджень в якості стабілізуючої добавки використовували волокнисту домішку Viator-66, яка є однією з найбільш поширених у застосуванні. Вона представляє собою циліндричні гранули сірого кольору без запаху, в яких кожне целюлозне волокно має бітумне покриття.



**Таблиця 8 – Гранулометричний склад вихідних мінеральних матеріалів, призначених для приготування щебенево-мастикових асфальтобетонних сумішей**

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

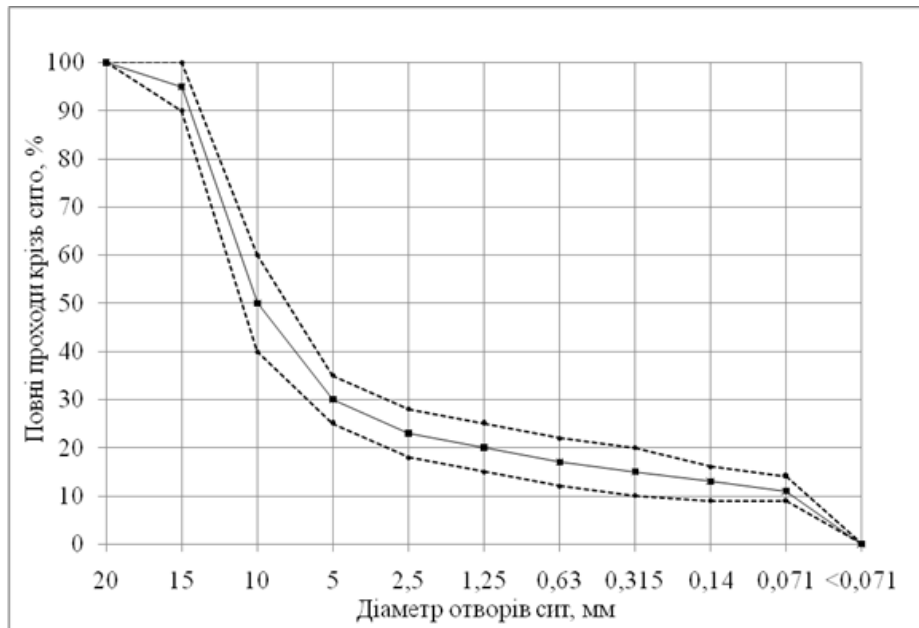
Прийнята для досліджень нова стабілізуюча добавка представляє собою подрібнену гумову крихту марки «Му Active 75». За даними постачальника, це продукт переробки старих автомобільних шин в гумову крихту. Зерновий склад добавки приведено в таблиці 9.

**Таблиця 9 – Зерновий склад гумової крихти марки «Му Active 75»**

Залишки на ситах, %	Вміст зерен, %, більше даного розміру, мм						
	2,5	1,25	0,63	0,315	0,14	0,071	< 0,071
Часткові	-	0,06	0,15	42,51	44,47	8,45	4,36
Повні	-	0,06	0,21	42,72	87,19	95,64	100



Для визначення показників фізико-механічних властивостей, колієстійкості, морозостійкості та розрахункових характеристик щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-15 згідно ДСТУ Б В.2.7-127 був прийнятий зерновий склад, який наведено на рисунку 4.



**Рисунок 4 – Прийнятий зерновий склад ЩМА-15**

Для визначення фізико-механічних властивостей щебенево-мастикових асфальтобетонів приймаємо стандартні методи дослідження згідно ДСТУ Б В.2.7 (ГОСТ 12801) з доповненнями ДСТУ 4044.

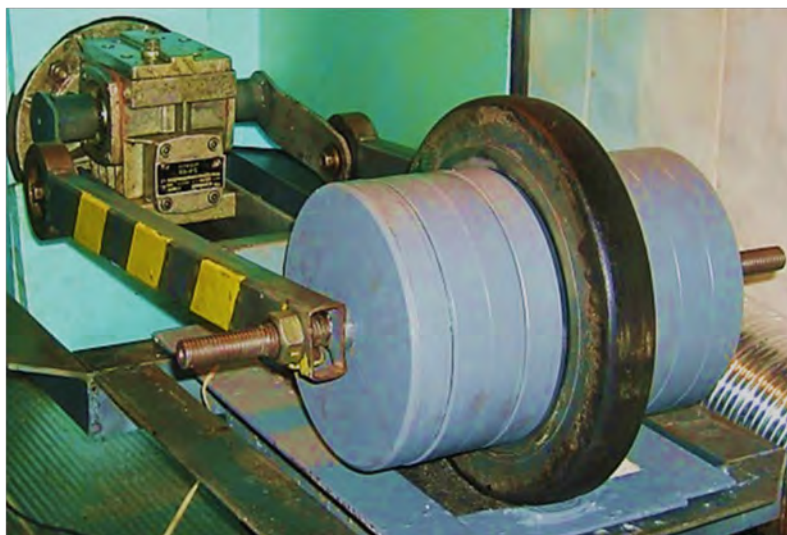
В лабораторних умовах ущільнення стандартних циліндрів відбувалось на гідравлічному пресі.

Визначення межі міцності при стиску виконували на гідравлічному пресі Р-20.

Для дослідження стійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів різних типів до утворення колії, в лабораторії кафедри будівництва та експлуатації автомобільних доріг ХНАДУ був створений Електромеханічний Випробувальний Стенд Колієутворення (ЕМВСК ХНАДУ) (рисунок 5), який дозволяє провести оцінку стійкості асфальтобетонів до утворення колії при



різних температурах та рівнях навантаження на колесо, яке рухається по поверхні зразка.



**Рисунок 5 – Електромеханічний Випробувальний Стенд  
Колієутворення (ЕМВСК ХНАДУ)**

Прилад-коліємір має рухоме огулене колесо діаметром 23,5 см та шириною 28 мм, яке за допомогою шатуна та водила приєднане до мотора з редуктором таким чином, що воно може рухатись по поверхні асфальтобетонного зразка, розташованого під кожухом та закріпленого на рамі. Температура випробування під час експерименту контролюється та підтримується за допомогою терморегулюючого приладу у діапазоні температур від плюс 20 °С до плюс 65 °С. Навантаження на колесо регулюється, а випробуванню можуть піддаватися вирубки та керни з асфальтобетонних покриттів і спеціально заформовані у лабораторних умовах зразки розмірами: 300 мм у довжину, 150 мм у ширину та 70 мм у висоту.

Приготування асфальтобетонних сумішей виконувалось в лабораторній мішалці.

Формування асфальтобетонних плит площею 450 см<sup>2</sup> виконується на лабораторному пресі при статичному завантаженні протягом трьох хвилин у спеціально виготовленій формі.



Визначення колії при лабораторних випробуваннях виконують шляхом вимірювання глибини колії у п'яти послідовних точках електронно-цифровим штангенциркулем по центру колії, що утворена в результаті випробування.

### 13.3. Результати експериментальних досліджень

За результатами експериментальних досліджень показників фізико-механічних властивостей, прийнятий щебенево-мастиковий асфальтобетон виду ЩМА-15 відповідає вимогам [1]. Результати виконаних досліджень приведені в таблиці 10.

**Таблиця 10 – Фізико-механічні властивості ЩМА-15 на бітумі  
БНД 70/100**

Назва показника	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100
Водонасичення, % за об'ємом	1,8
Границя міцності при стиску, МПа, за температури:	
20 °С	2,6
50 °С	1,0
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,93
Коефіцієнт тривалої водостійкості	0,90
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа,	0,17
Границя міцності на розтяг при розколюванні за температури 0 °С, МПа	3,5
Показник стікання в'язучого, %	0,04
Вміст в'язучого, %	5,5

Першим етапом досліджень було визначення оптимального вмісту гумової крихти у складі ЩМА-15 за основними фізико-механічними властивостями. Для цього було виготовлено сім сумішей з наступним вмістом гумової крихти від маси бітуму: 0 %, 7 %, 9 %, 11 %, 13 %, 15 %, 17 %.

Результати досліджень приведені в таблиці 11.



**Таблиця 11 – Основні фізико-механічні характеристики ЩМА-15 на бітумі марки БНД 70/100 з різним вмістом гумової крихти**

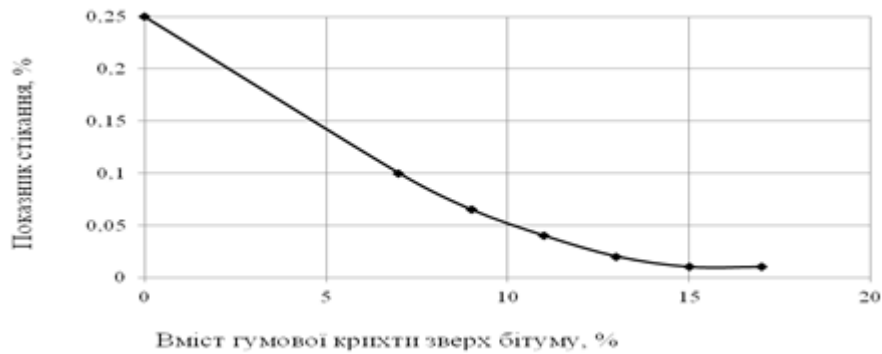
Вміст гумової крихти від маси бітуму, %	0	7	9	11	13	15	17	
Вміст гумової крихти від маси мінеральної частини, %	0	0,39	0,50	0,61	0,72	0,83	0,94	
Водонасичення, %	2,6	1,8	1,6	1,7	2,0	2,7	3,8	
Середня щільність, г/см <sup>3</sup>	2445	2444	2443	2442	2441	2438	2435	
Показник стікання в'язучого, %	0,25	0,1	0,07	0,04	0,02	0,01	0,01	
Границя міцності при стиску за температури:	20 °С, МПа	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8	2,7	2,7
	50 °С, МПа	1,0	1,1	0,9	1,0	1,1	1,0	0,9

Порівнюючи отримані результати досліджень з даними таблиці 3.2 можна зробити висновок, що за наведеними показниками фізико-механічних властивостей, найбільш наближеними до щебенево-мастикового асфальтобетону ЩМА-15, приготовленого з волокнистою домішкою Viator-66 у кількості 0,4 % від маси мінеральної частини, є ЩМА-15 з гумовою крихтою у кількості 0,61 % від маси мінеральної частини, що складає 11 % від маси в'язучого. Залежності показників водонасичення та стікання в'язучого від вмісту гумової крихти відображено на рисунках 6 та 7.



**Рисунок 6 – Залежність водонасичення від вмісту гумової крихти у складі ЩМА-15**





**Рисунок 7 – Залежність показника стікання від вмісту гумової крихти у складі ЩМАС-15**

Виходячи з цього для подальших досліджень приймаємо концентрацію гумової крихти у кількості 0,61 % від маси мінеральної частини, що складає 11 % від маси в'язучого.

Визначення показника стікання в'язучого (рисунок 8).

Третім етапом досліджень було визначення фізико-механічних характеристик згідно ДСТУ Б В.2.7-127 для щебенево-мастикового асфальтобетону виду ЩМА-15 з додаванням гумової крихти та волокнистої домішки і порівняння отриманих результатів. Результати досліджень приведені в таблиці 12.



а – з гумовою крихтою; б – з волокнистою домішкою

**Рисунок 8 – Стікання в'язучого для ЩМА-15 на БНД 70/100**



**Таблиця 12 – Фізико-механічні властивості ЩМА-15 на бітумі  
БНД 70/100**

Назва показника	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з гумовою крихтою (11 % від маси бітуму)	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100з волоконном Viator 66 (0,4 % від мін. частини)
Водонасичення, % за об'ємом	1,7	1,8
Середня щільність, т/м <sup>3</sup>	2,44	2,43
Границя міцності при стиску, МПа, за температури:		
20 °С	2,8	2,6
50 °С	1,0	1,0
Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,94	0,93
Коефіцієнт тривалої водостійкості	0,91	0,90
Зчеплення при зсуві за температури 50 °С, МПа,	0,17	0,17
Границя міцності на розтяг при розколванні за температури 0 °С, МПа	3,3	3,5
Показник стікання в'язучого	0,04	0,04
Вміст в'язучого, %	5,5	5,5

Результати виконаних досліджень показують, що щебенево-мастиковий асфальтобетон виготовлений з використанням різних добавок майже не відрізняються за своїми фізико-механічними властивостями.

Визначення показника морозостійкості. За критерій показника морозостійкості асфальтобетонів було прийнято коефіцієнт морозостійкості.

Для визначення коефіцієнта морозостійкості було виготовлено асфальтобетонні зразки циліндричної форми згідно з ДСТУ Б В.2.7-319 при величині ущільнюючого навантаження згідно з ДСТУ Б В.2.7-127.

Методика випробування. 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 виймають з вакуумної установки та розміщують у морозильній камері на сітчасту підставку таким чином, щоб відстань між зразками та стінками камери була не менше 50 мм. Початком заморожування вважають момент коли температура у морозильній камері становитиме мінус 25 °С.

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

Після 25 циклів заморожування та відтавання основні зразки виймаємо з морозильної камери та термостатували у 5 % водному розчині хлористого натрію за температури 20 °С протягом 4 годин. Після цього зразки витримано у термостаті за температури 0 °С протягом 1 годин та визначено 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. Для визначення границі міцності при розколі було використано не менше 3 основних зразків та 3 контрольних зразки [5].

Коефіцієнт морозостійкості визначаємо як відношення середньоарифметичного значення границі міцності при розколі основних зразків, які піддавали двадцяти п'яти 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 25 циклам заморожування та відтавання;



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

Результати випробувань. Коефіцієнти морозостійкості визначали на 5, 10, 15, 20, 25 та 35 цикл заморожування-відтавання. Результати порівняльних досліджень морозостійкості ЩМА-15 приготуваних з різними домішками наведені в таблиці 12.

**Таблиця 12 – Коефіцієнти морозостійкості досліджуваних щобеневомасикових асфальтобетонів**

Цикли заморожування-відтавання	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з гумовою крихтою (0,61 % від мін частини)	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з волокном Viator 66 (0,4 % від мін. частини)
5	0,99	0,98
10	0,95	0,94
15	0,9	0,89
20	0,88	0,87
25	0,87	0,85
35	0,83	0,81

За отриманими результатами експериментальних досліджень коефіцієнти морозостійкості для ЩМА-15 з гумовою крихтою майже однакові, в порівнянні з ЩМА-15 з волокном Viator 66.

Визначення коефіцієнта довготривалої водостійкості

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, що витримувались у воді та на повітрі, розміщували на перфорованих полицях та на відстані один від одного не менше ніж  $(10 \pm 1)$  мм. Зразки, що випробовували після довготривалого водо насичення та після витримання на повітрі були однакового віку. Висота шару води над зразками, що витримували у водному середовищі, була не менше ніж  $(20 \pm 1)$  мм протягом всього часу витримання.



Після закінчення 15 діб безпосередньо перед випробуванням водонасичені та неводонасичені зразки поміщали в ємність з температурою води  $(20 \pm 1) ^\circ\text{C}$  та витримували протягом  $(60 \pm 1)$  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 обчислили 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  $R_{\text{ст}}^{\text{вд}}$  – міцність при стиску при температурі  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  зразків після насичення водою протягом 15 діб, МПа;

$R_{\text{ст}}^{20}$  – міцність при стиску при температурі  $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$  зразків до насичення водою, МПа.

Коефіцієнти довготривалої водостійкості визначали на 7, 15, та 30 добу. Результати порівняльних досліджень довготривалої водостійкості ЩМА-15 приготовлених з різними домішками наведені в таблиці 13.

**Таблиця 13 – Коефіцієнти довготривалої водостійкості щебенево-мастикових асфальтобетонів**

Доба тривалого водонасичення	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з гумовою крихтою (0,61 % від мін. частини)	ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з волокном Viatop 66 (0,4 % від мін. частини)
7	0,95	0,95
15	0,91	0,90
30	0,85	0,83

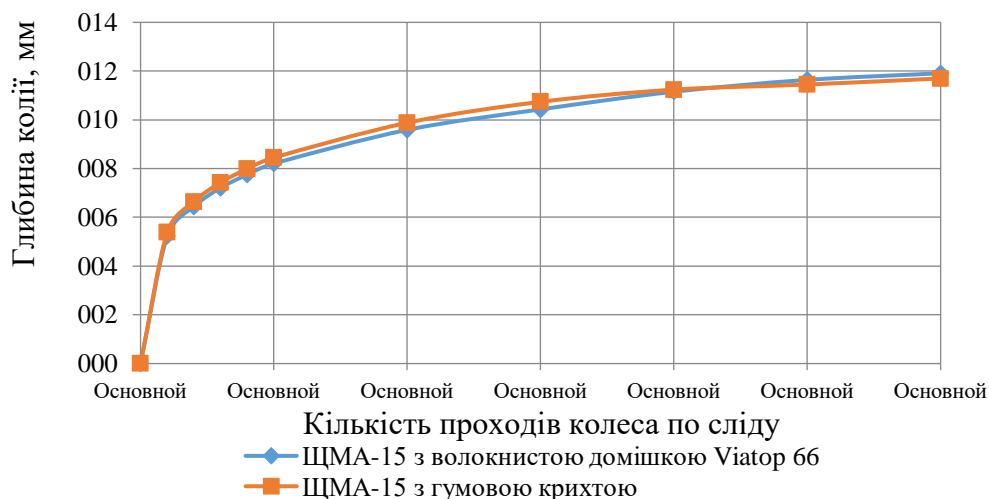
За отриманими результатами експериментальних досліджень коефіцієнти довготривалої водостійкості для ЩМА-15 з гумовою крихтою практично однакові з ЩМА-15 з волокном Viatop 66.



Дослідження виконували шляхом циклічного прокочування навантаженого о gumленого 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 з ЩМАС мають форму прямокутника з розмірами 30x15x7 см.

Результати порівняльних досліджень приведені на рисунку 9.

За отриманими результатами експериментальних досліджень можна зробити висновок, що колієстійкість ЩМА-15 з гумовою крихтою майже однакова, в порівнянні з ЩМА-15 з волокном Viator бб.



**Рисунок 9 – Залежність глибини колії від кількості проходів колеса по одному сліду для досліджуваних зразків**

Дослідження деформаційних і міцнісних характеристик щебенево-мастикових асфальтобетонів виконували за методами, прийнятими для оцінки властивостей бетонів на основі органічних в'язучих [5, 6].

Виготовлення зразків-балочок розміром 40×40×160 мм здійснювали в лабораторних умовах згідно [5, 6]. Зразки формували шляхом ущільнення щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші протягом 3 хвилин при відповідних ущільнюючих навантаженнях. Перед випробуванням зразки термостатували при заданій температурі протягом 2 години у водяній бані [5].



Міцність на розтяг при згині і модуль пружності при температурі від 0 °С до 20 °С визначали за результатами випробувань короткочасно діючими навантаженнями зразків-балочок розміром 40×40×160 мм, за наступною методикою.

Для проведення випробування згідно ВБН В.2.3-218-186-2004 використовували маятниковий прилад ДерждорНДІ.

Для проведення випробування згідно ВБН В.2.3-218-186-2004 використовували маятниковий прилад ДерждорНДІ.

Прилад ДерждорНДІ (рисунок 10) представляє собою маятник у вигляді важеля 4, жорстко закріпленого за допомогою кронштейна 7 на каркасі зі сталевих стрижнів 15 і станини 13. До верхньої площадки каркаса прикріплено механізм навантаження 8, а на середній площадці каркаса розміщено рухому 10 та нерухому 14 опори під зразок-балочку 9.

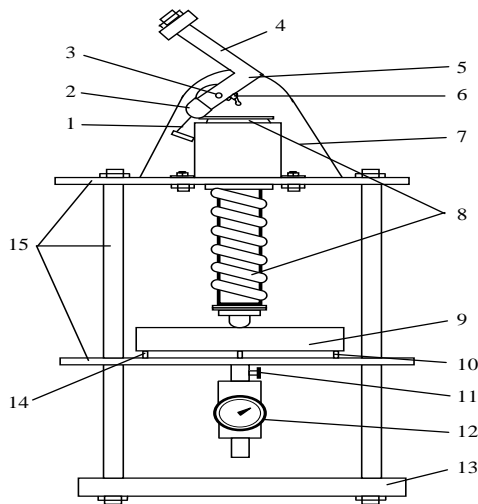
Важіль 4 з вантажем приводиться у верхнє вихідне положення, фіксується покажчиком 11, і вільно відпускається. Його обертання навколо осі 3 під дією власної ваги забезпечує переміщення сферичної поверхні ексцентрика 2, зв'язаного з різьбовим валиком 5, по поверхні голівки механізму навантаження 8, підключаючи його до роботи, і створюючи таким чином навантаження заданої тривалості на зразок 9. Необхідна тривалість навантаження (0,1 с) забезпечувалася тривалістю контакту між ексцентриками та голівкою механізму навантаження і задавалася висуванням регулювальної гайки 2 уздовж різьбового валика 5 на 2 мм.

Принцип дії механізму навантаження наступний (рисунок 11). Сферична частина ексцентрика 1, переміщуючись по поверхні голівки 2 механізму навантаження, забезпечує вертикальне переміщення самої голівки втулки 4 усередині напрямної втулки 3. У свою чергу, втулка 4 через шайбу 6 стискає пружину 8, що спирається на гайку 9, нагвинчену на штовхач 7. Вільно переміщуючись усередині втулки 4, штовхач під дією пружини передає зусилля через регулювальний гвинт 11 і навантажувальний штамп 12 зразку 13 посередині прольоту; штамп розподіляє навантаження по ширині зразка.

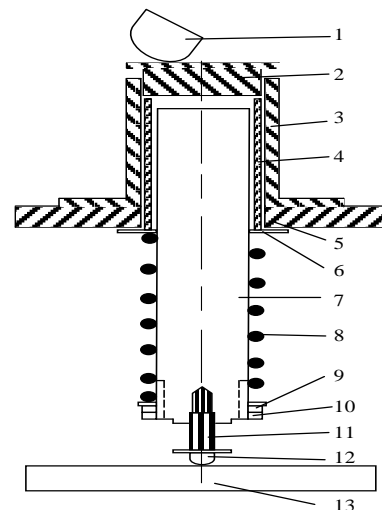


Навантаження на зразок залежить від жорсткості пружини 8 і регулюється її стисканням за допомогою переміщення гайки 9 уздовж різьбової частини штовхача 7.

Для створення необхідного навантаження стискали пружину 8 за допомогою гайки 9 на необхідне значення в залежності від необхідного навантаження і фіксували контргайкою 10. Далі навантажувальний механізм установлювали так, щоб навантажувальний штамп знаходився посередині прольоту балочки.



**Рисунок 10 – Маятниковий прилад**



**Рисунок 11 – Механізм навантаження**

Потім повертали важіль, встановлюючи при цьому стрілку покажчика в нульове положення (різьбовий валик повинен прийняти вертикальне положення). За допомогою регулювального гвинта 11 піднімали через штовхач 7 і втулку 4 голівку 2 до зіткнення з регулювальною гайкою 1, попередньо встановленою у верхнє положення. Поворотом важеля регулювальну гайку виводили від дотику з голівкою і висували її на 2 мм для забезпечення тривалості дії навантаження в 0,1 с. Потім маятниковий пристрій встановлювали у вихідне положення ( $15-10^\circ$  за покажчиком положення) і фіксували. Для завантаження зразка звільняли зафіксований маятниковий пристрій.

Перед випробуванням зразки витримують протягом 2 годин при заданій температурі, яку підтримують і в процесі випробування.





Зразки боковою гранню укладали на дві опори, які знаходяться одна від одної на відстані 14 см. Одна з опор – рухлива, у вигляді шарніра, зокрема, у вигляді шарніра – стійки. Частина опори, що стикається зі зразком, має циліндричну поверхню радіусом 5 мм. Навантаження прикладали до середини зразка через сталеву накладку з нижньою циліндричною (радіусом 10 мм) поверхнею.

Модуль пружності лабораторний визначали за формулою (3):

$$E_n = \frac{K_l K_t P l^3}{48 f J}, \quad (3)$$

де  $K_l$ ,  $K_t$  – поправки, що визначаються за формулами 3.2 і 3.3;

$P$  – вертикальне навантаження;

$l$  – розрахунковий проліт балочки (0,14 м);

$f$  – пружній прогин балочки;

$J$  – момент інерції перетину зразка ( $J = bh^3/12$ , а  $b$ ,  $h$  – ширина і висота балочки).

Якщо начіпна рамка вимірювального пристрою закріплена на торцях зразка довжиною  $L$ , у розрахунки за формулою (3) вводиться поправка (4):

$$K_l = \frac{3L - l}{2l}. \quad (4)$$

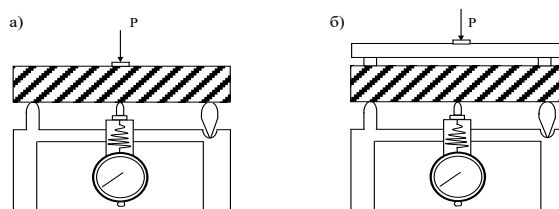
При випробуванні з тривалістю навантаження  $t_p$ , що відрізняється від розрахункової  $t_p = 0,1$  с, у розрахунки за формулою (3) вводили поправку (5):

$$K_t = \sqrt[3]{\frac{t_p}{t_n}}. \quad (5)$$

Для визначення короткочасного модуля пружності випробовували не менше ніж три зразки. За значення модуля пружності приймали середнє арифметичне. Розбіжності між даними паралельних випробувань не перевищували 15 %.



Після випробування на згин (рисунок 12) і вимірювання загального вертикального переміщення  $f_{випр}$  низу зразка, обумовленого не тільки згином, але й пружним зминанням зразка в зонах контакту з опорами, податливістю опорних стійок і т. д., проводили додаткове випробування. На балочку на двох опорах вкладали тверду сталеву пластинку і навантажували її тією самою силою  $P$ .



а – для загального вертикального переміщення середини балочки; б – для вертикального переміщення від зминання балочки на опорах

**Рисунок 12 – Схеми для врахування зминання балочки на опорах при випробуванні її на згин**

Це додаткове переміщення  $f_{дод}$  теж фіксували індикатором годинникового типу. Розрахунковий пружний прогин визначали за формулою (6):

$$f = f_{випр} - f_{дод} \cdot \quad (6)$$

Спосіб підготування зразків до випробування на міцність при згині і схема їх навантаження ті самі, що і при випробуванні з метою визначення модуля пружності. Зразки випробовують на пресі Р-20 із швидкістю деформування 100 мм/хв при розрахунковій температурі асфальтобетону. Руйнівне навантаження  $P_p$  вимірювали силовимірювальним пристроєм, що забезпечує точність відліку до 5 %.

При згині одноразовим навантаженням межа міцності на розтяг визначалася за формулою (7):

$$R_{лаб} = \frac{3P_p l}{2bh^2} \cdot \quad (7)$$



Випробовували не менше, ніж три зразки. За нормативне приймали середнє арифметичне значення показника. Результати приведені в таблиці 14.

**Таблиця 14 – Розрахункові характеристики досліджуваних щебенево-мастикових асфальтобетонів**

Матеріал	Розрахункові характеристики	
	Модуль пружності, МПа	Міцність на розтяг при згині, МПа
Щебенево-мастиковий асфальтобетон виду ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з домішкою Viator 66, при розрахунковій температурі, °С:	0	3600
	10	2600
	20	1600
Щебенево-мастиковий асфальтобетон виду ЩМА-15 на бітумі БНД 70/100 з гумовою крихтою, при розрахунковій температурі, °С:	0	3600
	10	2475
	20	1440

За отриманими результатами досліджень можна зробити висновок, що ЩМА-15 з гумовою крихтою має достатньо близькі значення модуля пружності та границі міцності на розтяг при згині до ЩМА-15 на основі целюлозної волокнистої добавки.

На основі проведених досліджень щодо впливу гумової крихти на властивості щебенево-мастикових асфальтобетонів розроблено технологічний регламент на приготування щебенево-мастикової асфальтобетонної суміші, із використанням гумової крихти у якості стабілізуючої добавки та влаштування верхнього шару дорожнього покриття з її використанням.