

УДК 625.855.3

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВМІСТУ ГУМОВОЇ КРИХТИ НА ВЛАСТИВОСТІ АСФАЛЬТОБЕТОННИХ СУМІШЕЙ**

**EXPERIMENTAL STUDIES OF THE INFLUENCE OF THE RUBBER CRUSH CONTENT ON THE PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE MIXTURES**

**Шимчук О.П., к.т.н., доцент, Процюк В.О., к.т.н., доцент, Талах Л.О., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет, м. Луцьк)**

**Shymchuk O.P., candidate of technical sciences, associate professor, Protsiuk V.O., candidate of technical sciences,, Talakh L.O., candidate of technical sciences, associate professor (Lutsk National Technical University, Lutsk)**

**У статті наведено результати експериментальних досліджень впливу гумової крихти, використаної в якості модифікатора на структуру і властивості бітумів, та, відповідно, асфальтобетонної суміші, що забезпечить покращення фізико-механічних характеристик таких матеріалів.**

**The article presents the results of experimental studies of the rubber crumb effect used as a modifier on the structure and properties of bitumen, and, accordingly, asphalt mixture, which will improve the physical and mechanical properties of such materials.**

**To a large extent, the quality of roads will depend on the pavement and the materials of which it is composed. As of today, the pavement construction is one of the most responsible elements of the highway, which provides safe and convenient goods and passengers transportation.**

**Therefore, many countries around the world pay considerable attention to the proper choice of materials for structural layers of pavement.**

**Particular attention should be paid to bitumen, which is part of asphalt concrete. Today the problem of improving the road bitumens quality is especially relevant, the solution of which will extend the service life of road asphalt pavements, their durability and increase the efficiency of work when using them in construction and repair.**

**The solution to the problem of improving the bitumen quality is possible through the use of various additives for its modification. Among the large number of fairly common modifiers, the rubber crumb deserves attention.**

**With the introduction of rubber crumb in the bitumen increases composition the durability of pavements in conditions of variable temperature and**

**humidity, improves the frictional properties of pavements, so you can in some cases reduce the consumption of high-strength gravel. Asphalt concrete made on the basis of bitumens, which are modified with rubber crumb, has higher strength, water resistance, compared to other asphalt concretes. In this case, the dynamic effects on the layers placed at the bottom are reduced and the probability of cracks further destruction and other defects of the overlapping layers is reduced.**

**Ключові слова:** бітум, асфальтобетон, модифікація, гумова крихта.  
Bitumen, asphalt concrete, modification, rubber crumb.

**Вступ.** Автомобільні дороги піддаються постійним навантаженням та впливам атмосферних явищ, з часом вони зношуються. Вимоги до пропускної здатності автомобільних доріг постійно зростають і, як результат вони морально застарівають. Все це породжує необхідність в капітальному чи поточному ремонті практично всіх автомобільних доріг.

В великій мірі якість автомобільних доріг буде залежати від дорожнього одягу і матеріалів, з яких він складається. Станом на сьогодні конструкція дорожнього одягу це один з найвідповідальніших елементів автомобільної дороги, який забезпечує безпечне та зручне перевезення вантажів і пасажирів.

Тому в багатьох країнах світу приділяють значну увагу належному вибору матеріалів для конструктивних шарів дорожнього одягу. На сьогодні є два типи дорожнього покриття – жорсткого та нежорсткого типу.

Актуальним напрямком досліджень покриттів жорсткого типу є дослідження тонкостінних сталевібробетонних конструкцій для автомобільних доріг, а також дорожньо-транспортних споруд із дисперсним аормуванням [1-4].

Перспективним напрямком дослідження покриттів нежорсткого типу – є дослідження бітумів. Особливу увагу варто приділити бітуму, що входить у склад асфальтобетону. На сьогодні особливо актуальною є проблема покращення якості дорожніх бітумів, вирішення якої дозволить продовжити термін служби дорожніх асфальтобетонних покриттів, їх довговічність та підвищити ефективність робіт при використанні їх в будівництві та ремонті.

В Україні гостро стоїть питання підвищення якості бітумів, оскільки вони за своїми властивостями не мають відповідності нормативним документам. Причиною цього є відсутність однорідної сировини для їх виробництва, застаріле обладнання, постійне порушення норм технологічного процесу.

Вирішення проблеми покращення якості бітумів можливе завдяки використанню різних добавок для його модифікації. Серед великої кількості досить розповсюджених модифікаторів заслуговує на увагу гумова крихта.

При введенні гумової крихти до складу бітумів підвищується довговічності покриттів в умовах перемінливого температурно-вологісного

режиму, покращуються фрикційні властивості покриттів, завдяки чому можна в окремих випадках зменшити витрату високоміцного щебеню. Асфальтобетон, виготовлений на основі бітумів, які модифіковані гумовою крихтою, має вищі показники міцності, водонепроникності, порівняно з іншими асфальтобетонами. В даному випадку знижуються динамічні дії на шари, розміщені знизу та зменшується ймовірність подальшого руйнування тріщин і інших дефектів шарів, які перекриваються.

**Аналіз останніх досліджень.** Теоретичними та експериментальними дослідженнями процесу модифікації бітуму займалися вчені в Україні та за кордоном. Поштовхом для таких досліджень стала низька якість вітчизняного бітуму.

Спроба використання гумової крихти для модифікації бітуму викладена у роботі [5].

В роботі [6] представлені результати експериментальних досліджень застосування гумової крихти різних фракцій.

В роботі [7] і [8] представлені фізичні та фізико-хімічні методи, які впливають на матеріали, серед яких механоактивація, яка досить широко застосовується на різних стадіях виробництва композитів з полімерів і є ефективними технологічними прийомами, які дозволяють підвищити експлуатаційні властивості матеріалів.

**Постановка мети і задач досліджень.** Дослідження впливу гумової крихти, як модифікатора на структуру і властивості бітумів, що забезпечить покращення фізико-механічних характеристик таких матеріалів.

Завданням дослідження було дослідити як впливає гумова крихта на структуру та фізико-механічні властивості асфальтобетонних сумішей та провести необхідні експериментальні дослідження.

**Методика та результати досліджень.** У дорожньому будівництві для підвищення стійкості та довговічності дорожньої конструкції як при новому будівництві, так і під час реконструкції чи капітального ремонту використовують модифікатори.

Щоб визначити склад та властивості асфальтобетонних сумішей, модифікованих гумовою крихтою проводились дослідження. Для приготування модифікованого бітуму використовували бітум Кременчуцького нафтопереробного заводу марки БНД 60/90.

Такий модифікатор як гумова крихта, отримана в результаті переробки зношених автопокришок, має багато перспективних областей подальшого практичного застосування.

В теперішній час існують наступні методи для модифікації гумової крихти:

- хімічна модифікація, яка робить розм'якшення поверхні частинок подрібненої резини;
- фізико-хімічне роздрібнення вже подрібненої гуми за рахунок руйнування полімерних зв'язків;
- фізичне оброблення для руйнування сірчаних зв'язків.

Хімічна модифікація передбачає використання модифікатора різної природи. Модифікатор використовує активні групи, які функціонують в складі полімерних відходів (гумової крихти) та створює свою полімерну сітку паралельно з іншими компонентами суміші.

При виробництві шин найефективніше використання шорсткої крихти та крихти, яка отримана при переробці шин, в шинних резинах. В таких процесах близький хімічний склад матриці та продукту, який подрібнений зумовлює утворення розвиненого шару на межі цих двох речовин, що забезпечує найбільшу взаємодію між фазами.

Під час вибору компонентів складу враховувалося, що в гумовій крихті знаходиться значна кількість активних центрів вихідного еластомеру, які непрореагували при вулканізації, а якщо її додатково обробити на обладнанні, то виникають додаткові центри, які містять кисень, переважно гідроксильними і карбоксильними групами.

В процесі досліджень показано, що вулканізати, які містять модифіковану гумову крихту, являються більш зносостійкими порівняно з вулканізатами, які не містять модифіковану гумову крихту.

Фізичні та фізико-хімічні методи, які впливають на матеріали, серед яких механоактивація, ударно-хвильова обробка, радіаційне опромінення, а також використання магнітних і електричних полів, досить широко застосовуються на різних стадіях виробництва композитів з полімерів і є ефективними технологічними прийомами, які дозволяють підвищити експлуатаційні властивості матеріалів [7].

Найефективнішим обладнанням в цьому сенсі є планетарний млин, який являє собою машину типу барабанних кульових млинів, в яких вплив гравітаційного поля на робочий матеріал замінено відцентровою силою, що дозволяє збільшити рівень енергії, яка підводиться до частинок оброблюваної речовини, значний час контакту частинок, проведення механохімічних процесів із декількома реагентами безпосередньо в апараті.

На виробничий процес подрібнення великий вплив робить загальна вага тіл, які розмелюються. При досить інтенсивному подрібненні співвідношення між масами тіл, які розмелюються та подрібнюються може досягати 6 - 12 і більше.

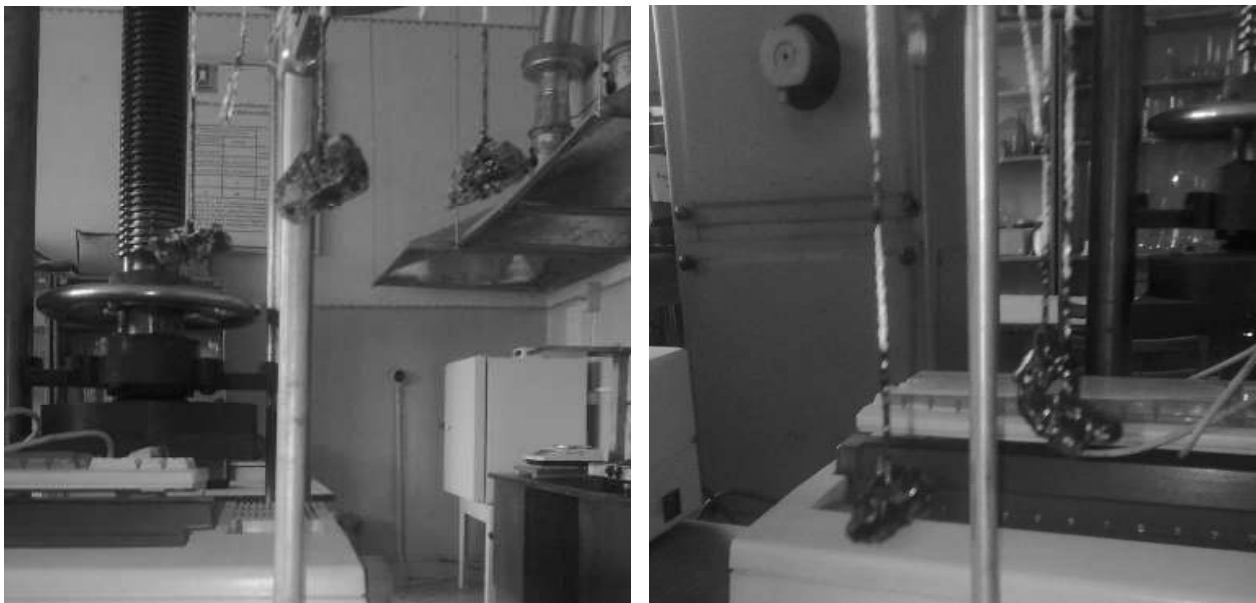
Для приготування зразків була обрана суміш дрібнозерниста щільна типу «В» марки 2, відповідно до [9].

З метою порівняння впливу вмісту гумової крихти на бітум, було проведено дослідження з різними розмірами даного модифікатора. Кожний дослід проводився в трьохкратній повторності і, остаточно, приймалося середньоарифметичне значення отриманих результатів. Загалом, вийшло сім складів сумішей:

- 1) вихідна асфальтобетонна суміш;
- 2) вихідна асфальтобетонна суміш з гумовою крихтою 0,25 мм;
- 3) вихідна асфальтобетонна суміш з гумовою крихтою 0,5мм;

- 4) вихідна асфальтобетонна суміш з гумовою крихтою 0,75 мм;
- 5) вихідна асфальтобетонна суміш з механоактивованою гумовою крихтою 0,25 мм;
- 6) вихідна асфальтобетонна суміш з механоактивованою гумовою крихтою 0,5мм;
- 7) вихідна асфальтобетонна суміш з механоактивованою гумовою крихтою 0,75 мм.

З метою порівняння розглядалося зчеплення бітуму БНД 60/90 немодифікованого (рис. 1а), а також бітуму БНД 60/90 модифікованого добавкою гумової крихти (рис. 1б). Дослід засвідчив, що якщо в бітумі є вміст 7 % добавки розміром 0,5мм гумової крихти він зчіплюється з щебенем найкраще. Отже, дана добавка проявляє себе як адгезійна.



а)

б)

Рис. 1. Зразки зчеплення бітуму з щебенем:  
а) без добавок; б) з добавкою гумової крихти

Зразки циліндричної форми для визначення фізико-механічних властивостей сумішей виготовляли відповідно до [10].

*Визначення водонасичення.* Суть даного методу полягає в визначенні кількості води, що поглинає зразок при заданому режимі насичення.

Водонасичення визначається на зразках, які приготовані у лабораторії з суміші чи на зразках-вирубках (кернах) з покриття (основи).

Водонасичення визначають за [10].

За результат визначення водонасичення асфальтобетону з додаванням гумової крихти приймали – 4,3%, а асфальтобетону без гумової крихти – 5,9%.

*Визначення границі міцності при стисканні.* Суть даного методу полягає в визначенні навантаження, яке необхідне для руйнування зразка при заданих умовах.

Границя міцності при стисканні зразків визначається на пресах (рис. 2) при швидкості руху плити преса  $(3,0 \pm 0,3)$  мм/хв.

При використанні гідравлічного преса цю швидкість до проведення випробування встановлюють при холостому ході поршня.

Зразок, який видалений з посудини для термостатування, необхідно встановити у центрі нижньої плити преса, тоді опускають верхню плиту і зупиняють, коли вона стане вище рівня поверхні зразка на 1,5-2 мм. Це досягається відповідним підніманням нижньої плити преса. Тоді вмикають електродвигун преса та починають навантажувати зразок.

Плита гідравлічного преса має забезпечувати рівно-мірний розподіл навантаження по всій площині торця зразка у випадку, якщо основи зразка непаралельні.

Найбільший показ силовимірювача приймається за руйнівне навантаження.



Рис. 2. Випробування зразка на гідравлічному пресі

Результати випробувань на міцність при стиску вказані в таблиці 1.

Таблиця 1

Міцність при стиску

| Назва суміші         | Міцність при стиску, МПа |
|----------------------|--------------------------|
| а/б вихідний         | 5,25                     |
| а/б з неакт. ГК 0,25 | 5,64                     |
| а/б з неакт. ГК 0,5  | 5,14                     |
| а/б з неакт. ГК 0,75 | 4,31                     |
| а/б з акт. ГК 0,25   | 5,59                     |
| а/б з акт. ГК 0,5    | 5,76                     |
| а/б з акт. ГК 0,75   | 5,67                     |

Результати досліджень показників фізико-механічних властивостей асфальтобетонних зразків, що були виготовлені в лабораторних умовах на

основі дрібнозернистої асфальтобетонної суміші, показують (таблиця 2), що якщо ввести до їх складу гумову крихту, то забезпечуються досить високі показники границі міцності при стиску та коефіцієнт водостійкості в порівнянні із зразками без гумової крихти (таблиця 3).

Таблиця 2

Фізико-механічні властивості дрібнозернистого асфальтобетону

| Найменування показників                                  | Дані випробувань |      |      |                  |
|--|------------------|------|------|------------------|
|  | 1                | 2    | 3    | Середнє значення |
| Водонасичення, % за об'ємом                              | 5,94             | 5,95 | 5,80 | 5,90             |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури, °С: 20 | 5,28             | 5,25 | 5,22 | 5,25             |
| Коефіцієнт водостійкості не менше                        | 0,66             | 0,67 | 0,66 | 0,66             |

Таблиця 3

Фізико-механічні властивості матеріалу на основі дрібнозернистого асфальтобетону модифікованого гумовою крихтою

| Найменування показників                                 | Вимоги ВБН В.2.3-218-539:2007 | Дані випробувань |
|---|-------------------------------|------------------|
| Водонасичення, % за об'ємом                             | не більше 6,0                 | 4,3              |
| Границя міцності при стиску, МПа, за температури, 20 °С | не менше 1,8                  | 5,76             |
| Коефіцієнт водостійкості                                | не менше 0,65                 | 0,84             |

**Висновки.** Отримані результати дозволяють стверджувати, що використання гумової крихти дозволяє підвищити якість бітуму та значно здешевлює асфальтобетонну суміш в порівнянні з традиційними матеріалами. Тому, на основі вищевикладеного, використання асфальтобетонних сумішей при будівництві та ремонті дороги забезпечує:

- тривалий термін служби ділянки покриття;
- високу економічну ефективність: завдяки використанню матеріалів з поліпшеними властивостями збільшуються міжремонтні строки та мінімізуються витрати на додаткові заходи по ліквідації руйнувань;
- наявність та доступність потрібних матеріалів, обладнання, машин та механізмів;
- простоту виконання робіт;
- оперативність відкриття руху транспорту після проведення ремонту.

Результати випробувань на міцність при стиску показали, що застосування гумової крихти різної фракції збільшує міцність в порівнянні зі значеннями стандартної асфальтобетонної суміші на:

- суміш з неактивованої ГК 0,25 - 6,9%
- суміш з активованою ГК 0,25 - 6,4%
- суміш з активованою ГК 0,5 - 9,71%
- суміш з активованою ГК 0,75 - 8%.

При проведенні випробувань на міцність, суміш з активованою гумовою крихтою 0,75 мм перевищила показники стандартної асфальтобетонної суміші на 8%.

Під час проведення випробувань на визначення межі міцності при стисненні суміші з активованою гумовою крихтою 0,75 мм проявили себе з найкращого боку і показали хороші фізико-механічні властивості.

1. Андрійчук О.В. Сталефібробетонні безнапірні труби / О.В. Андрійчук, Є.М. Бабич // Монографія. - Луцьк: РВВ Луцького НТУ, 2012. - 150 с.

Andriichuk O.V. Stalefibrobetonni beznapirni truby / O.V. Andriichuk, Ye.M. Babych // Monohrafiya. - Lutsk: LNTU, 2012. - 150 s.

2. Бабич Є.М. Проектування та виготовлення безнапірних труб із сталевібробетону / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук // Рекомендації. – Луцьк: ЛНТУ, 2012. – С. 32.

Babych Ye.M. Proektuvannya ta vyhotovlennya beznapirnykh trub iz stalefibrobetonu / Ye.M. Babych, O.V. Andriichuk // Rekomendatsiyi. – Lutsk: LNTU, 2012. – S. 32.

3. Бабич Є.М. Використання сталевібробетону для дорожньо-транспортних споруд / Є.М. Бабич, О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Містобудування та територіальне планування. Науково-технічний збірник. – К., КНУБА, 2014. Випуск № 54. – С. 33–41.

Babych Ye.M. Vykorystannya stalefibrobetonu dlya dorozhno-transportnykh sporud / Ye.M. Babych, O.V. Andriichuk, I.M. Yasyuk // Mistobuduvannya ta terytorialne planuvannya. Naukovo-tekhnichnyy zbirnyk. –K., KNUBA, 2014. Vypusk № 54.– S. 33-41.

4. Андрійчук О.В. Методика експериментального дослідження дисперсно-армованих придорожніх лотків водовідведення / О.В. Андрійчук, І.М. Ясюк // Вісник Одеської національної академії будівництва та архітектури: збірник наукових праць. – Одеса: ОНАБА. 2015. Випуск 58. – С. 11 – 18.

Andriichuk O.V. Metodyka eksperymentalnoho doslidzhennya dyspersno-armovanykh prydorozhnykh lotkiv vodovidvedennya / O.V. Andriichuk, I.M. Yasyuk // Visnyk ONABA: zbirnyk naukovykh prats. – Odesa. 2015. Vypusk 58. – S. 11-18.

5. Модифицированные битумные вяжущие, специальные битумы и битумы с добавками в дорожном строительстве. PIARC-AIPCR / Пер. с франц. В. А. Золотарёва; П. А. Беспаловой; Под общей редакцией В. А. Золотарёва, В. И. Братчуна. – Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2003–229 с.

Modifitsirovannyye bitumnyye vyazhushchiye, spetsial'nyye bitумы i bitумы s dobavkami v dorozhnom stroitel'stve. PIARC-AIPCR / Per. s frants. V. A. Zolotarova; P. A. Bepalovoy; Pod obshchey redaktsiyey V. A. Zolotarova, V. I. Bratchuna. – Khar'kov: Izd-vo KHNADU, 2003–229 s.

6. Хлібишин Ю. Я. Дослідження модифікації дорожніх бітумів гумовою крихтою / Ю. Я. Хлібишин, І. Я. Почапська, О. Б. Гринишин, А. О. Нагурський // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Хімія, технологія речовин та їх застосування. - 2014. - № 787. - С. 144-148.

Khlibyshyn YU. YA. Doslidzhennya modyfikatsiyi dorozhnykh bitumiv humovoyu krykhtoyu / YU. YA. Khlibyshyn, I. YA. Pochaps'ka, O. B. Hrynyshyn, A. O. Nahurs'kyu //



Visnyk Natsional'noho universytetu "L'vivs'ka politehnika". Khimiya, tekhnolohiya rechovyn ta yikh zastosuvannya. - 2014. - № 787. - S. 144-148.

**7.** Довгяло В.А. Композиционные материалы и покрытия на основе дисперсных полимеров. Технологические процессы / В.А. Довгяло, О.Р. Юркевич. – Минск : Наука и техника, 1992. – 256 с.

Dovgyalo V.A. Kompozitsionnyye materialy i pokrytiya na osnove dispersnykh polimerov. Tekhnologicheskiye protsessy / V.A. Dovgyalo, O.R. Yurkevich. – Minsk : Nauka i tekhnika, 1992. – 256 s.

**8.** Охлопкова А.А. Модификация полимеров ультрадисперсными соединениями / А.А. Охлопкова, О.А. Адрианова, С.Н. Попов. – Якутск : ЯФ Изд-ва СО РАН, 2003. – 224 с.

Okhlopkoва A.A. Modyfykatsyya polymerov ul'tradispersnyuyu soedynenyuyamy / A.A. Okhlopkoва, O.A. Adryanova, S.N. Popov. – Yakut-sk : YAF Yzd-va SO RAN, 2003. – 224s.

**9.** ДСТУ Б В.2.7-119:2011. Суміші асфальтобетонні і асфальтобетон дорожній та аеродромний. Технічні умови. – На заміну ДСТУ Б В.2.7-119-2003. – Київ : Мінрегіон України, 2012. – 58 с.

DSTU B V.2.7-119:2011. Sumishi asfal'tobetonni i asfal'tobeton dorozhniy ta aerodromnyy. Tekhnichni umovy. – Na zaminu DSTU B V.2.7-119-2003. – Kyuyiv : Minrehion Ukrayiny, 2012. – 58 s.

**10.** ДСТУ Б В.2.7-89-99. Матеріали на основі органічних в'язучих для дорожнього і аеродромного будівництва. Методи випробувань (ГОСТ 12801-98). Зміна № 1.

DSTU B V.2.7-89-99. Materialy na osnovi orhanichnykh v'yazhuchykh dlya dorozhn'oho i aerodromnoho budivnytstva. Metody vyprobuvan' (HOST 12801-98). Zmina № 1.