

**БУДІВНИЦТВО ТА ЦИВІЛЬНА ІНЖЕНЕРІЯ (192)**

---

---

УДК 665.775

**ВІДНОВЛЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ БІТУМУ ТА АСФАЛЬТОБЕТОНУ  
ЗА ДОПОМОГОЮ ОМОЛОДЖУВАЧА**

Кандидати техн. наук Я. І. Пиріг, А. В. Галкін, С. В. Оксак, Я. В. Ільїн,  
головний хімік НВП «Люкс» Я. П. Шийка

**RECOVERY OF THE BITUMEN AND ASPHALT CONCRETE PROPERTIES WITH  
REJUVENATOR**

PhD (Tech.) Y. Pyrig, PhD (Tech.) A. Galkin, PhD (Tech.) S. Oksak, PhD (Tech.) Y. Ilin,  
Y. Shyika

DOI: <https://doi.org/10.18664/1994-7852.197.2021.248107>

*Анотація.* У статті розглянуто вплив на властивості бітуму та асфальтобетону вітчизняного омолоджувача Люкс «ЕД-Л». Встановлено, що під дією омолоджувача властивості зістареного за методом RTFOT бітуму повністю відновлюються до рівня бітуму до технологічного старіння. Значною перевагою омолоджувача Люкс «ЕД-Л» є значне покращення адгезійних властивостей бітуму. Обробка омолоджувачем зістарених за методикою AASHTO R 30-02 асфальтобетонних сумішей приводить до покращення показників якості асфальтобетонів, виготовлених з цих сумішей.

*Ключові слова:* бітум, penetрація, температура розм'якшеності, зчеплюваність, старіння, омолоджувач.

*Abstract.* The main factor in the decreasing in the quality of asphalt concrete with time is the hardening of the bituminous binder, which occurs under the influence of high environmental temperatures, moisture and oxygen. Considering this, one of the ways to extend the service life of asphalt pavements is to implement procedures to prevent deterioration of the properties of bituminous binders, which occurs due to its hardening. To solve the problem of hardening, the use of various rejuvenators becomes widespread in road maintenance around the world. The aim of the research work is to analyze the effect of the domestic rejuvenator Lux «ED-L» on the properties of road bitumen and asphalt concrete made with this binder. The effect of the rejuvenator on the properties of bitumen is evaluated in three ways: finding the influence of Lux «ED-L» on the properties of the original bitumen; finding the ability to restore the properties of RTFOT-hardened bitumen by adding an additive to the hardened binder; finding the effect on the intensity of hardening by hardening of bitumen, which includes the Lux «ED-L» additive in its composition. In addition, according to this scheme, it is evaluating the effect of the rejuvenator on asphalt concrete mixtures, which are conditioned according to the method of AASHTO R 30-02. Based on the obtained experimental data, it is found that the modification of the RTFOT-hardened bitumen with Lux «ED-L» additive improves binder's properties, which results in the returning of the values of standard quality indicators (penetration, softening point and breaking point temperatures) to the initial level of values quality of bitumen before hardening. Lux «ED-L» additive significantly improves the adhesion properties of bitumen (both original and aged). Evaluation of the impact of the rejuvenator on the properties of asphalt mixtures after conditioning confirmed its effectiveness. The properties of asphalt concrete

*made from mixtures after conditioning, which were treated with the Lux «ED-L» additive, according to obtained quality indicators is equal to the asphalt concrete with the original bitumen. A field test of the effect of the Lux «ED-L» additive on the properties of the asphalt pavement is in process. The results of field test will be obtained after 3 and 9 months of operation of the treated road section.*

**Keywords:** bitumen, penetration, softening point temperature, adhesion, resistance to hardening, rejuvenator.

**Вступ.** Асфальтобетон є найпоширенішим у світі матеріалом, що застосовується для влаштування покриттів автомобільних доріг. Поясненням цьому є значні переваги асфальтобетону перед іншими матеріалами: відносно висока міцність і несуча здатність; здатність до пружних і пластичних деформацій, значення яких визначаються та регулюються властивостями матеріалів і складом асфальтобетону; висока зчеплюваність автомобільних шин з поверхнею асфальтобетонного дорожнього покриття і його безшумність під час руху автомобілів; легкість влаштування асфальтобетонного покриття, а також його утримання та ремонту; можливість повторного використання асфальтобетону, що знімається під час капітального ремонту автомобільних доріг [1]. Асфальтобетону, як і будь-якому матеріалу, властиві й недоліки, до яких належать: значна залежність фізико-механічних властивостей від кліматичних умов (температури, опадів) району експлуатації дороги; зміна властивостей асфальтобетонного покриття з часом його експлуатації, що відбувається як за рахунок структурних змін (певного подрібнення зерен кам'яного матеріалу та доущільнення під дією руху автомобільного транспорту), так і через старіння в'язучого.

Головним фактором погіршення властивостей асфальтобетону є старіння бітумного в'язучого, що відбувається під дією високих експлуатаційних температур, вологи та кисню повітря. Виходячи з цього одним зі шляхів подовження терміну експлуатації асфальтобетонних покриттів є впровадження заходів запобігання зміні властивостей бітумних в'язучих, що відбувається через його старіння.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Наприкінці 60-х років минулого століття в США для покращення якості асфальтобетонних покриттів було започатковано використання хімічних речовин, що отримали назву «омолоджувачі». При розподіленні цих речовин у вигляді водних емульсій по поверхні асфальтобетонного покриття внаслідок проникнення активної речовини на певну глибину відбувались пластифікація бітуму; герметизація поверхні покриття, що зменшувало проникнення вологи та повітря в асфальтобетон; підвищення довговічності верхньої частини асфальтобетонного покриття.

Rostler F. S. та White R. M. [2, 3] розробили теоретичні основи використання омолоджувачів. Займаючись дослідженням зміни якості нафтових бітумів через їх старіння, вони запропонували розподілення складових бітумів на асфальтени та мальтени, які у свою чергу поділяються на: полярні або азотні сполуки (N), що є компонентами високореактивних смол і діють як стабілізатори колоїдної системи, якою є бітум; перші ацидафіни (A<sub>1</sub>) – ароматичні смолисті вуглеводні, що є диспергентами або розчинниками пептизованих асфальтенів; другі ацидафіни (A<sub>2</sub>) – лінійні або циклічні ненасичені вуглеводні, які також є розчинниками пептизованих асфальтенів; насичені вуглеводні або парафіни (P) – компоненти вуглеводнів, що поєднують компоненти бітуму та діють на них як структуруючий агент. Автори роботи [2] розробили методика з розділення нафтового бітуму на вищенаведені компоненти і оцінили вплив тієї чи іншої складової на старіння бітуму. Зокрема ними встановлено, що асфальтени

та насичені вуглеводні не схильні до окиснення, у той час як інші складові значно змінюються під дією кисню (зі зменшенням реакційної здатності Rostler F. S. розташував складники в такому порядку – N, A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>), перетворюючись один в одного (спостерігається швидке перетворення N в A<sub>1</sub> та дещо повільніше перетворення A<sub>1</sub> в A<sub>2</sub>). Таким чином, з часом у бітумі збільшується кількість асфальтенів і значно зменшується вміст мальтенів, зокрема полярних сполук та ацідафінів, що суттєво позначається на довговічності в'язучого. На основі отриманих даних було запропоновано [2] так званий аналіз Ростлера, використовуючи який можна встановити значення «мальтенової характеристики», тобто співвідношення між компонентами в'язучого  $((N+A_1)/(P+A_2))$  і оцінити схильність до старіння бітуму та його довговічність. Згідно зі значеннями «мальтенової характеристики» бітуми були поділені на п'ять груп: I група – з «мальтеновою характеристикою» на рівні 0,4...1,0 – мала найвищу довговічність; II – 1,0...1,2 – гарну довговічність; III – 1,2...1,5 – задовільну; IV – 1,5...1,7 – незадовільну та V – зі значенням «мальтенової характеристики» більше 1,7 мала найнижчу довговічність. Виходячи з цієї класифікації Rostler F. S. [2] запропонував для покращення якості та подовження довговічності асфальтобетонних покриттів, що певний час були в експлуатації, застосовувати омолоджувачі, до складу яких входять мальтени, що мають значення «мальтенової характеристики», близьке до 0,4. Використання таких омолоджувачів за рахунок їх проникнення на певну глибину асфальтобетонного покриття дозволить пластифікувати бітум і значно зменшити інтенсивність його старіння.

Rostler F. S. і White R. M. [2] виконали аналіз існуючих на той час омолоджувачів і розробили рекомендації щодо критеріїв і показників якості, які мають визначатися при оцінюванні ефективності їх застосування. Запропоновані показники

були поділені на дві групи: перша – показники, що визначають властивості омолоджувача (температура спалаху, в'язкість зпри температурі 25 °С, дисперсність емульсії, стабільність під час зберігання, залишок омолоджувача після розпаду емульсії); друга – показники, що характеризують вплив омолоджувача на властивості асфальтобетонного покриття (швидкість проникнення в покриття, глибина проникнення омолоджувача, проникність води в оброблене покриття, стійкість до стирання обробленого покриття).

Виконані в середині 70-х років минулого століття в США масштабні дослідження омолоджувачів, у тому числі чотирирічні дослідження Центру цивільного будівництва ВПС США та Інженерного корпусу армії США (досліджено вплив різних омолоджувачів на асфальтобетонні покриття, розташовані в різних кліматичних умовах – сухому і жаркому, вологому і теплому, холодному), підтвердили ефективність використання цих матеріалів для зменшення руйнування покриттів автомобільних доріг, що виникає через старіння бітумного в'язучого, і подовження їхнього терміну експлуатації [3]. Це сприяло поширенню використання омолоджувачів в різних штатах США (принаймні у восьми штатах діють специфікації на застосування омолоджувачів, наприклад REV 11-3-16 «Asphalt Rejuvenation»), а в подальшому і в різних країнах світу.

Boyer R. E. [3] встановив, що для ефективності відновлення якості асфальтобетонного покриття омолоджувач має проникати на певну глибину та відновлювати співвідношення між кількістю асфальтенів і мальтенів у бітумі. Оцінювання впливу омолоджувача на властивості бітумів може бути встановлено за зміною показників якості (пенетрація при 25 °С і в'язкість при 60 °С) в'язучого, екстрагованого з необробленого та обробленого омолоджувачем покриття [3].

Насьогодні існує значна кількість омолоджувачів, які розрізняються як за складом (поділяються на омолоджувачі, виготовлені на нафтовій або рослинній основі), так і сферою застосування (для відновлення існуючих асфальтобетонних покриттів і регенерації старого асфальтобетону), а дослідження щодо ефективності їх використання для покращення якості асфальтобетонних покриттів проведені в багатьох країнах світу [4–6].

За чисельними дослідженнями встановлено, що при застосуванні омолоджувачів вони адсорбуються у верхній шар асфальтобетонного покриття на глибину 10–20 мм [7]; збільшують значення пенетрації та зменшують температуру розм'якшеності бітуму [8]; знижують в'язкість до рівня вихідного бітуму, що використовувався для приготування асфальтобетонних сумішей, проте інші реологічні властивості (комплексний модуль пружності та кут зсуву) повністю не відновлюються [9, 10]; підвищують розтяжність майже до рівня вихідного бітуму [9]; знижують низькотемпературне розтріскування, визначенне за допомогою методу DT [9]; підвищують адгезійні властивості та водостійкість асфальтобетонного покриття [7, 9]; практично не впливають на експлуатаційні властивості асфальтобетонного покриття (слизкість і гальмівний шлях залишаються на рівні значень, що були в покриття до обробки; рівень шуму та водостійкість не змінюються) [11]; відновлення властивостей асфальтобетонного покриття шляхом використання омолоджувачів на рослинній основі майже на 25 % є більш екологічним, ніж традиційні методи [11]; доцільним є використання омолоджувачів на першому та п'ятому році експлуатації дорожнього покриття [12]; критеріями доцільності застосування омолоджувачів є зниження в'язкості при 60 °C та комплексного модуля при 60 °C екстрагованих бітумів більш ніж на 25 % для покриттів, що експлуатувалися менше трьох років, і зниження цих

показників більш ніж на 40 % для покриттів, що експлуатувалися більше трьох років [13]; найбільш придатними для обробки є асфальтобетонні покриття на автомобільних дорогах з відносно низькою інтенсивністю руху та дороги місцевого значення [12]; за рахунок використання омолоджувачів термін служби дорожнього покриття може бути подовжено до восьми років, що у свою чергу призведе до економії 29 % вартості експлуатації автомобільної дороги [12].

Останнім часом значного поширення набули омолоджувачі, виготовлені на рослинній основі [14], у яких як основні компоненти використовують оливи різних рослин (соняшник, кукурудза, льон, соя, ріпак, рицин, кеш'ю, насіння бавовни та інше), а також олеїнова кислота, відходи рослинних жирів, олія з відходів переробки деревини тощо. За даними ряду дослідників, омолоджувачі на рослинній основі є більш ефективними, ніж на нафтовій основі [15], що виражається в більшій адсорбції діючої речовини в шар покриття, більш ефективному зниженні температури розтріскування асфальтобетону та покращенні міцності від втомленості. До недоліків омолоджувачів на рослинній основі може бути віднесено необхідність додаткового введення до їхнього складу адгезійних добавок [15].

**Визначення мети і завдання дослідження.** Метою виконаної роботи було дослідження впливу на властивості нафтового дорожнього в'язкого бітуму та асфальтобетону, виготовленого на цьому в'язучому, першого вітчизняного омолоджувача Люкс «ЕД-Л», що виготовляється компанією НВП «Люкс-Х» (ТОВ). Для досягнення поставленої мети було вирішено такі завдання: оцінено вплив омолоджувача на якість вихідного та зістареного в лабораторних умовах бітуму; досліджено вплив добавки Люкс «ЕД-Л» на властивості асфальтобетонів, виготовлених з вихідних і зістарених асфальтобетонних сумішей; здійснено виробничу перевірку застосування омолоджувача для

покращення якості асфальтобетонного покриття автомобільної дороги.

**Основна частина дослідження.** Як об'єкти дослідження прийнято дорожній в'язкий бітум БНД 70/100 виробництва Мозирського НПЗ (республіка Білорусь), властивості якого відповідають вимогам ДСТУ 4044 [16]; омолоджувач Люкс «ЕД-Л» на рослинній основі, до складу якого введено поверхнево-активну добавку, що є хімічним аналогом Wetfix BE. Добавка Люкс «ЕД-Л» в дослідженні використовувалась у вигляді як добавки до бітуму (при оцінюванні впливу на якість бітуму), так і водної емульсії (для обробки асфальтобетонних сумішей у лабораторії та асфальтобетонного покриття на автомобільній дорозі). Омолоджувач вводився у бітум у двох концентраціях – 1 і 2,5 % маси бітуму. Прийняті концентрації добавки відповідають концентраціям добавок, що наносяться на дорожнє покриття у вигляді водної емульсії в кількості відповідно 100 та 250 мл/м<sup>2</sup>.

Введення добавки в бітум здійснювалось шляхом змішування в лабораторній мішалці компонентів (вихідного бітуму БНД 70/100, попередньо нагрітого до температури суміщення, і добавки, що мала кімнатну температуру) впродовж 5–10 хв при температурі 150–155 °С.

Оцінювання впливу омолоджувача на властивості бітуму здійснювали за зміною стандартних показників якості – пенетрації і дуктильності при 25 °С, температур розм'якшеності і крихкості, зчеплюваності з поверхнею скла при температурі 85 °С і з кам'яним матеріалом (гранітний щебінь Мокрянського кар'єру фракції 5–10 мм) за методом обертання пляшки (Rolling Bottle Test) впродовж 6 год згідно з ДСТУ EN 12697-11 [19].

Визначення зчеплюваності з поверхнею скла здійснювалось шляхом витримання зразків у дистильованій воді при температурі 85 °С впродовж 50 хв. Зразки підготовлювались шляхом нанесення на медичне предметне скло

розміром 76 × 26 мм бітуму вагою 0,35 г і його рівномірного розподілення по всій площі скла шаром товщиною 200 мкм. За показник адгезії приймалося розраховане у відсотках відношення площі бітуму після випробування до площі бітуму до випробування.

Вплив омолоджувача на властивості бітуму оцінювався за трьома показниками: визначення впливу Люкс «ЕД-Л» на властивості вихідного бітуму; визначення здатності відновлювати властивості зістареного бітуму шляхом введення добавки в зістарене в'язуче; встановлення впливу на інтенсивність старіння шляхом зістарення бітуму, у який введено добавку Люкс «ЕД-Л».

Зістарювання в лабораторних умовах в'язучого здійснювалось за методом RTFOT за ДСТУ Б EN 12607-1 [17], що моделює зміну властивостей у бітумі після приготування асфальтобетонної суміші на виробництві. У роботі [18] наведено дані щодо впливу декількох циклів (RTFOT та PAV) лабораторного старіння бітумів на його властивості, згідно з якими встановлено, що найбільша зміна властивостей в'язучого відбувається під час першого циклу зістарювання. Виходячи з цього для перевірки впливу омолоджувача на властивості бітуму було прийнято один цикл зістарювання за RTFOT.

Введення до вихідного бітуму добавки Люкс «ЕД-Л» у кількості 1 та 2,5 % призводить до пластифікації в'язучого, що проявляється в збільшенні значень пенетрації при 25 °С (відповідно в 1,39 і 1,81 рази), зниженні температури розм'якшеності (відповідно на 1,2 та 3,7 °С) і зниженні температури крихкості (відповідно на 1 та 3 °С) (табл. 1). За рахунок такої зміни властивостей значення інтервалу пластичності в'язучого з омолоджувачем знаходиться на рівні значення вихідного бітуму. Найбільший ефект при введенні до вихідного бітуму добавки Люкс «ЕД-Л» спостерігається в значному збільшенні його адгезійних властивостей. Після

втримування в дистильованій воді при 85 °С впродовж 50 хв зчеплюваність із поверхнею скла підвищується з 26,8 % для вихідного бітуму до 91,8 та 98,3 % для в'язучих відповідно з 1 та 2,5 % добавки. Така сама тенденція спостерігається і при визначенні зчеплюваності методом обертання пляшки (рис. 1).

Введення добавки до зістареного бітуму призводить до практично повного «відновлення» його властивостей (табл. 1).

При введенні 1 % добавки властивості відновленого бітуму за показниками пенетрації, температур розм'якшеності та крихкості відповідають показникам якості вихідного бітуму, які були в нього до старіння за методом RTFOT. Єдиним показником, значення якого не відповідають значенням вихідного бітуму, є розтяжність при температурі 25 °С – значення цього показника зменшилися як відносно вихідного бітуму, так і зістареного.

Таблиця 1

Вплив омолоджувача Люкс «ЕД-Л» на властивості бітуму

Показник якості	Значення				
	для бітуму БНД 70/100	для бітуму БНД 70/100 + Люкс «ЕД-Л»		для зістареного бітуму БНД 70/100 + Люкс «ЕД-Л»	
Маркування	М	М1	М2,5	Мс1	Мс2,5
Концентрація добавки, %	-	1 %	2,5 %	1 %	2,5 %
Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм	72	100	130	70	89
Температура розм'якшеності, °С	48,4	47,2	44,7	49,5	48,4
Температура крихкості, °С	-19	-20	-22	-19	-20
Дуктильність при 25 °С, см	91,3	91,1	87,6	70,7	69,2
Інтервал пластичності	67,4	67,2	66,7	68,5	68,4
Зчеплюваність із поверхнею скла, %	26,8	91,8	98,3	89,4	98,3
Зчеплюваність за методом обертання в пляшці, %	25,0	90,0	99,0	90,0	98,0
Маркування	Мс	М1с	М2,5с		
Старіння за методом RTFOT	Пенетрація при 25 °С, 0,1 мм	59	70	86	
	Залишкова пенетрація, %	81,9	70,0	66,2	
	Температура розм'якшеності, °С	51,6	50,4	48,4	
	Зміна температури розм'якшеності, °С	3,2	3,2	3,7	
	Температура крихкості, °С	-19,5	-20	-21	
	Розтяжність при 25 °С, см	75,9	70,6	67,8	
	Інтервал пластичності, °С	71,1	70,4	69,4	
	Зчеплюваність із поверхнею скла, %	11,0	52,6	98,3	
	Зчеплюваність за методом обертання в пляшці, %	15,0	55,0	95,0	

Введення до зістареного бітуму добавки Люкс «ЕД-Л» в кількості 2,5 % призводить до ще більш значного «відновлення» його властивостей, особливо за показником глибини проникнення голки, який збільшується відносно зістареного бітуму Мс в 1,5 разу, а відносно вихідного

бітуму М в 1,24 разу. У той же час значення температур розм'якшеності та крихкості, а також інтервалу пластичності відповідають значенням вихідного бітуму М. Значною перевагою добавки Люкс «ЕД-Л» є її вплив на зчеплюваність в'язучого: порівняно зі зчеплюваністю з поверхнею скла

зістареного бітуму Мс, яка становить 11,0 %, введення до цього бітуму 1 та 2,5 % добавки призводить до збільшення зчеплюваності зі склом відповідно до 90 та

98 %. Ці залежності підтверджуються й даними визначення зчеплюваності методом обертання пляшки (рис. 1).

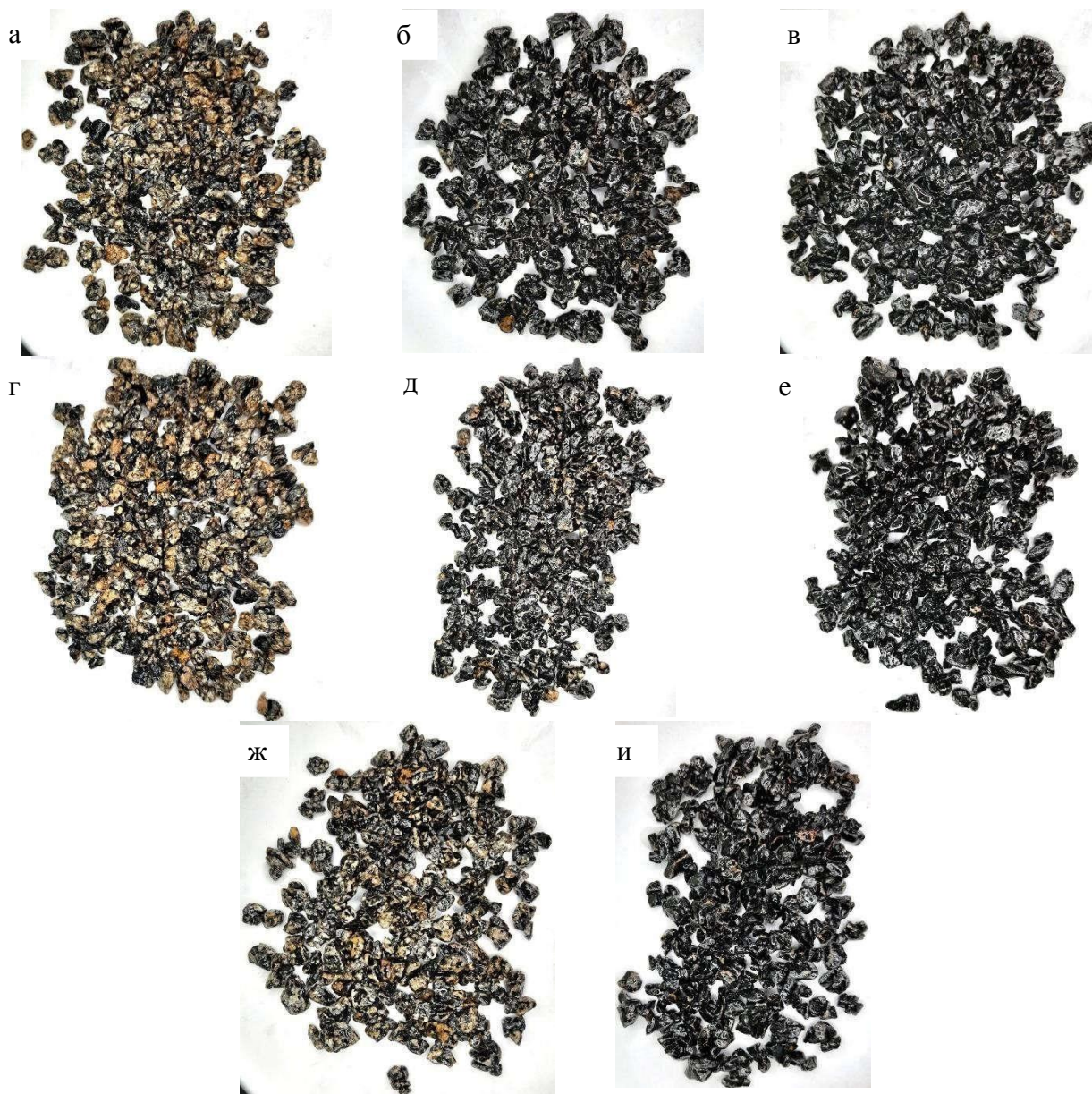


Рис. 1. Зовнішній вигляд зразків після випробування на зчеплюваність за методом обертання пляшки: а – бітум М; б – М1; в – М2,5; г – Мс; д – Мс1; е – Мс2,5; ж – М1с; и – М2,5с

Оцінювання впливу добавки Люкс «ЕД-Л» на інтенсивність старіння в'язучого виконували шляхом зістарювання в'язучого, до якого попередньо було введено омолоджувач. Отримані дані

свідчать про незначне прискорення процесів старіння бітуму при введенні до нього добавки, особливо при збільшенні концентрації добавки Люкс «ЕД-Л» в бітумі до 2,5 %. Це виражається в дещо більшій

зміні penetрації в'язучих (при старінні бітуму без добавки значення penetрації зменшуються в 1,22 разу, при старінні бітуму з 1 % добавкою – в 1,43 разу і при старінні з 2,5 % добавки – в 1,51 разу). При цьому значення температури розм'якшеності зі збільшенням концентрації добавки в бітумі майже не змінюються (відповідно на 3,2, 3,2 та 3,7 °C), причиною чого може бути інгібуюча дія поверхнево-активної речовини, що входить до складу добавки Люкс «ЕД-Л». Також майже не змінюється дуктильність – для бітуму без добавки зміна становить 15,4 см, а для бітумів, модифікованих 1 та 2,5 % добавки, зміни становлять відповідно 20,5 та 19,8 см, що знаходиться в межах похибки визначення цього показника.

Вплив омолоджувача Люкс «ЕД-Л» на адгезійну здатність в'язучого зберігається і у випадку його старіння. У той час, як у вихідного бітуму після старіння значення зчеплюваності з поверхнею скла зменшилось у 2,3 разу, у бітуму, модифікованого 1 % добавки, після старіння значення зчеплення з поверхнею скла зменшилася 1,4 разу, а у бітуму з 2,5 % добавки значення цього показника не змінилось. Отримані дані свідчать про високу термостабільність поверхнево-активної речовини, що входять до складу омолоджувача.

Оцінювання проникності омолоджувача крізь шар бітуму здійснено за зміною показника зчеплюваності з поверхнею скла. Були приготовлені три партії зразків (по 5 шт. в кожній партії) для встановлення зчеплюваності з поверхнею скла. Після охолодження зразків при кімнатній температурі на поверхню бітуму зразків другої та третьої партії нанесено омолоджувач в кількості відповідно 1 та 2,5 % вмісту бітуму зразка. Після витримання при кімнатній температурі протягом 1 год для всіх зразків визначено зчеплюваність шляхом витримання в дистильованій воді при 85 °C впродовж 50 хв. Наведені на рис. 2 отримані дані свідчать про те, що добавка Люкс «ЕД-Л»

адсорбувалась у шар бітуму і збільшила зчеплюваність в'язучого зі скляною підкладкою з 27,3 % у вихідного бітуму до 88,4 і 95,2 % у бітумів, на поверхню яких була нанесена добавка Люкс «ЕД-Л» в кількості відповідно 1 і 2,5 %.

Вплив омолоджувача на властивості асфальтобетону виявлено шляхом співставлення показників якості асфальтобетонних зразків, виготовлених з асфальтобетонної суміші типу Б на прийнятому в роботі бітумі БНД 70/100. Ущільнення асфальтобетонних сумішей здійснювалось укочуванням за допомогою секторного преса WSV-KW30.

Для дослідження було виготовлено чотири асфальтобетонні суміші: вихідна; зістарена вихідна; зістарена, що була оброблена омолоджувачем у кількості 250 мл/м<sup>2</sup> від площі поверхні ущільнених зразків; вихідна, що була оброблена омолоджувачем в кількості 250 мл/м<sup>2</sup> від площі поверхні зразків, і зістарена. Для моделювання зістарення асфальтобетонних сумішей використовувалась методика, наведена в АASHTO R 30-02 [20], згідно з якою виготовлена суміш розташовувалася на піддоні шаром завтовшки 20–25 мм і витримувалась у сушильній шафі при температурі 135 °C впродовж 4 год (методика моделює технологічне зістарювання суміші).

Для виготовлених асфальтобетонних зразків були визначені стандартні показники якості, значення яких наведено в табл. 2. Зістарювання асфальтобетонної суміші передбачувано призводить до збільшення показників якості – міцності на стиск при 25 та 50 °C, а також зниження водонасичення.

Властивості асфальтобетонів, виготовлених з зістареної суміші, яка перед формуванням була оброблена емульсією омолоджувача, практично повністю відповідають властивостям асфальтобетонів з вихідної суміші, що може свідчити про ефективність застосування омолоджувача Люкс «ЕД-Л».



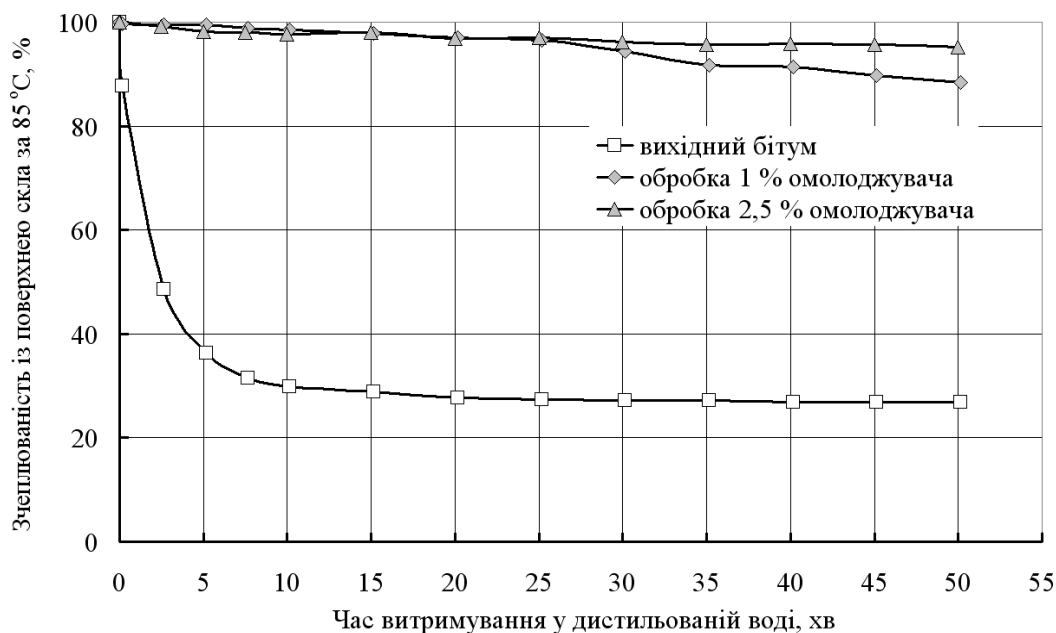


Рис. 2. Збільшення зчеплюваності бітумів із поверхнею скла за рахунок адсорбції омолоджувача через шар в'язучого

Порівняння властивостей асфальтобетонів, виготовлених з зістареної суміші та з вихідної суміші, що була оброблена омолоджувачем, а потім зістарена, свідчить про те, що використання добавки Люкс «ЕД-Л» сприяє зменшенню інтенсивності старіння асфальтобетону з часом – значення

показників міцності на стиск при 20 та 50 °С в обробленого асфальтобетону відповідно в 1,13 та 1,1 разу менше, ніж у необробленого асфальтобетону. Цю ж тенденцію підтверджують і значення коефіцієнта довготривалої водостійкості (табл. 2).

Таблиця 2

Вплив омолоджувача Люкс «ЕД-Л» на властивості асфальтобетону

Асфальтобетон з суміші	Властивість				
	Середня густина, кг/м <sup>3</sup>	Водонасичення, %	Міцність на стиск, МПа, при температурі		Коефіцієнт водостійкості
			20 °С	50 °С	
Вихідний	2405	1,4	3,48	1,42	0,90
Зістарений	2372	3,0	4,05	1,69	0,78
Зістарений, оброблений омолоджувачем	2417	1,6	3,11	1,45	0,95
Вихідний, оброблений омолоджувачем і зістарений	2377	3,1	3,57	1,54	0,90

Виробничу перевірку застосування омолоджувача для покращення якості асфальтобетонного покриття здійснено на ділянці довжиною в 100 м автомобільної дороги, розташованої в смт Світлогорське

Дніпропетровської області (рис. 3). Термін служби асфальтобетонного покриття становив п'ять років, стан покриття був задовільним (відсутні поверхневі деформації).



Рис. 3. Розподілення добавки та зовнішній вигляд поверхні асфальтобетонного покриття через 30 хв після обробки покриття омолоджувачем Люкс «ЕД-Л»

Для полегшення нанесення омолоджувача на поверхню дорожнього покриття воднева емульсія добавки Люкс «ЕД-Л» була розбавлена водою в співвідношенні 1:1. Витрати розбавленої емульсії склали  $0,1 \text{ л/м}^2$ .

Через 40 хв після нанесення емульсії, за візуальним оцінюванням, вона повністю адсорбувалась у шар асфальтобетонного

покриття (відсутність вологи на поверхні, зміна кольору, відсутність масляної плівки на поверхні), було відкрито рух автомобільного транспорту.

За візуальним оцінюванням, після нанесення омолоджувача спостерігалися пластифікація в'язучого (воно стало більш м'яким) на поверхні покриття і зникнення дрібних тріщин шириною до 2–3 мм (рис. 4).



Рис. 4. Поверхня асфальтобетонного покриття до та після обробки омолоджувачем

Для оцінювання ефективності впливу омолоджувача Люкс «ЕД-Л» на властивості асфальтобетонного покриття на виробничій ділянці було відібрано вирубку до обробки та будуть відібрані вирубку після трьох і дев'яти місяців експлуатації для визначення показників якості асфальтобетону.

**Висновки.** На основі отриманих експериментальних даних встановлено, що введення добавки Люкс «ЕД-Л» до

зістареного за методикою RTFOT бітуму призводить до відновлення його властивостей, що виражається в поверненні значень стандартних показників якості (пенетрація, температура розм'якшення і крихкості) до рівня значень показників якості бітуму до старіння. Добавка Люкс «ЕД-Л» значно покращує адгезійні властивості бітуму (як вихідного, так і зістареного). Оцінювання впливу

омолоджувача на властивості зістарених асфальтобетонних сумішей підтвердило його ефективність – властивості асфальтобетонів, виготовлених з зістарених сумішей, що були оброблені добавкою Люкс «ЕД-Л»,

за визначеними показниками якості повністю відповідають показникам асфальтобетону, виготовленого з вихідної суміші.

### Список використаних джерел

1. Дорожный асфальтобетон / Л. Б. Гезенцев, Н. В. Горельшев, А. М. Богуславский, И. В. Королев. Москва: Транспорт, 1985. 350 с.
2. Rostler F. S., White R. M. Rejuvenation of Asphalt Pavements. Materials research and development INC. Oakland CA. United States, 1970. 68 p.
3. Boyer R. E. Asphalt rejuvenators «fact, or fable». *Transportation systems*. 2000. Т. 58. Р. 1-17.
4. Apostolidis P., Liu X., Kasbergen C., Scarpas A. T. Synthesis of asphalt binder aging and the state of the art of antiaging technologies. *Transportation Research Record*. 2017. Т. 2633. № 1. Р. 147-153. URL: <https://doi.org/10.3141/2633-17>.
5. Al-Saffar Z. H. et al. A review on rejuvenating materials used with reclaimed hot mix asphalt. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 2021. Т. 48. №. 3. Р. 233-249.
6. Loise V., Caputo P., Porto M., Calandra P., Angelico R., Oliviero Rossi C. A review on Bitumen Rejuvenation: Mechanisms, materials, methods and perspectives. *Applied Sciences*. 2019. Т. 9. №. 20. Р. 4316. URL: <https://doi:10.3390/app9204316>.
7. Zhang Y., Van de Ven M. F., Molenaar A. A. A., Woldekidan M. F., Wu S. Mechanical properties of porous asphalt concrete with rejuvenators. *Proceedings of the international conferences on the bearing capacity of roads, railways and airfields*. Vol. 2. 2013. Р. 637-646.
8. Kavussi A., Tanzadeh R. Application of slow curing bitumen as a rejuvenating agent in aged bituminous mixes. *Advanced Materials Research*. 2012. Т. 587. Р. 62-66. URL: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.587.62>.
9. Zhang J. et al. Effect of different viscous rejuvenators on chemical and mechanical behavior of aged and recovered bitumen from RAP. *Construction and Building Materials*. 2020. Т. 239. С. 117755. URL: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117755>.
10. Lin J., Guo P., Xie J., Wu S., Chen M. Effect of rejuvenator sealer materials on the properties of aged asphalt binder. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2013. Т.25. №.7. Р. 829-835. DOI:10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0000702.
11. Su Z., Giezen W., Zandvoort F. Technical and environmental benefits of rejuvenation maintenance solutions for porous asphalt pavements. *Eurasphalt & Eurobitume Congress, 5th, 2012, Istanbul, Turkey*. 2012. Р. 1-8.
12. Vitale J., & Siddiqi K. M. (2016). The feasibility of asphalt pavement rejuvenator applications. In *52<sup>nd</sup> ASC Annual International Conference Proceedings. Associated Schools of Construction*. 2016. 8 p.
13. O'Connell J., Rampersad A., Lavelle R. The evaluation of asphalt mix surface rejuvenators in South Africa. In *36<sup>th</sup> Southern African Transport Conference (SATC 2017) 10–13 July 2017, Pretoria, South Africa*. Р. 296–307.
14. Prospero E., Bocci E. A Review on Bitumen Aging and Rejuvenation Chemistry: Processes, Materials and Analyses. *Sustainability*. 2021. Т. 13. № 12. Р. 6523. URL: <https://doi.org/10.3390/su13126523>.
15. Zaumanis M., Mallick R. B., Poulikakos L., Frank, R.. Influence of six rejuvenators on the performance properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) binder and 100 % recycled asphalt

mixtures. *Construction and Building Materials*, 2014. 71. P. 538-550. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2014.08.073>.

16. ДСТУ 4044:2019. Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні умови. [Чинний з 2020-05-01]. Вид. офіц. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2020. 12 с.

17. ДСТУ Б EN 12607-1:2015 (EN 12607-1:2014, IDT). Бітум та бітумні в'язучі. Визначення опору до твердіння під впливом теплоти та повітря. Частина 1. Метод RTFOT. [Чинний з 2016-07-01]. Вид. офіц. Київ: Мінрегіон України, 2016. 23 с.

18. Blomberg T., Makowska M., Pellinen T. Laboratory simulation of bitumen aging and rejuvenation to mimic multiple cycles of reuse. *Transportation Research Procedia*. 2016. Т. 14. P. 694-703. URL: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.335>.

19. ДСТУ EN 12697-11:2018 (EN 12697-11:2012, IDT). Бітумомінеральні суміші. Методи випробування гарячих асфальтобетонних сумішей. Частина 11. Визначення зчеплюваності між заповнювачем і бітумом. [Чинний з 2020-01-01]. Вид. офіц. Київ: УкрНДНЦ, 2018. 41 с.

20. AASHTO R 30-02. Standard Practice for Mixture Conditioning of Hot-Mix Asphalt (HMA). AASHTO. Washington D.C. 2019. 5 p.

---

Пиріг Ян Іванович, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

ORCID iD: 0000-0003-0957-2251. Тел.: (098) 44-66-268. E-mail: [pirig2000@gmail.com](mailto:pirig2000@gmail.com).

Галкін Андрій Володимирович, кандидат технічних наук, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. ORCID iD: 0000-0002-1904-5618.

Тел.: (067) 799-64-32. E-mail: [a.galkin0906@gmail.com](mailto:a.galkin0906@gmail.com).

Оксак Сергій Володимирович, кандидат технічних наук, доцент, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.

ORCID iD: 0000-0002-3084-3469. Тел.: (066) 715-27-52. E-mail: [sv.oksak@gmail.com](mailto:sv.oksak@gmail.com).

Ільїн Ярослав Вікторович, кандидат технічних наук, кафедра технології дорожньо-будівельних матеріалів Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. ORCID iD: 0000-0003-2998-3955.

Тел.: (050) 144-50-64. E-mail: [yailin12011993@gmail.com](mailto:yailin12011993@gmail.com).

Шийка Яна Павлівна, головний хімік, НВП «Люкс-Х» (ТОВ). ORCID iD: 0000-0003-1470-9363.

Тел.: (066)4495660. E-mail: [shuikayana@gmail.com](mailto:shuikayana@gmail.com).

Pyrig Yan, Ph.D. (Eng.), S. Researcher, department of technologies of road-building materials, Kharkov National Automobile and Highway University. ORCID iD: 0000-0003-0957-2251. Tel.: (098) 44-66-268.

E-mail: [pirig2000@gmail.com](mailto:pirig2000@gmail.com).

Galkin Andrii, Ph.D. (Eng.), department of technologies of road-building materials, Kharkov National Automobile and Highway University, ORCID iD: 0000-0002-1904-5618. Tel.: (067) 799-64-32. E-mail: [a.galkin0906@gmail.com](mailto:a.galkin0906@gmail.com).

Oksak Serhii, Ph.D. (Eng.), Associate Professor, department of technologies of road-building materials, Kharkov National Automobile and Highway University. ORCID iD: 0000-0002-3084-3469. Tel.: (066) 715-27-52.

E-mail: [sv.oksak@gmail.com](mailto:sv.oksak@gmail.com).

Ilin Yaroslav, Ph.D. (Eng.), department of technologies of road-building materials, Kharkov National Automobile and Highway University. ORCID iD: 0000-0003-2998-3955. Tel.: (050) 144-50-64. E-mail: [yailin12011993@gmail.com](mailto:yailin12011993@gmail.com).

Shyika Yana, chief chemist, Reserch and Production Enterprise «Lux-X». ORCID iD: 0000-0003-1470-9363.

Тел.: (066)4495660. E-mail: [shuikayana@gmail.com](mailto:shuikayana@gmail.com).

Статтю прийнято 14.07.2021 р.