

**I. О. ЛАВРОВА, С. І. БУХКАЛО, С. В. ВАЛУЙКІН**

### **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТЕЙ ВИКОРИСТАННЯ ФОСФОЛІПІДІВ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ АДГЕЗІЙНОЇ ЗДАТНОСТІ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ**

В статті наведені можливості постановки та вирішення сучасних задач використання фосфоліпідів з метою підвищення адгезійної здатності дорожніх бітумів. Мета роботи – на підставі вивчення адгезійних властивостей дорожніх бітумів, а також проведених досліджень, показати, як окислені фосфоліпіди впливають на адгезію бітуму. Лабораторні дослідження показали, що у дорожніх бітумів при додаванні фосфоліпідів показники температури спалаху, температури розм'якшення та адгезії значно підвищилися, що робить цю добавку перспективною для поліпшення якості бітумів як зв'язуючого для дорожніх покриттів. Встановлено, що спостерігається значна кореляційна залежність між стандартизованими показниками якості бітуму, що розглядається.

**Ключові слова:** бітум, адгезія, фосфоліпідний концентрат, температура спалаху, температура розм'якшення

**И. О. ЛАВРОВА, С. И. БУХКАЛО, С. В. ВАЛУЙКИН**

### **АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФОСФОЛИПИДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АДГЕЗИОННОЙ СПОСОБНОСТИ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ**

В статье приведены возможности постановки и решения современных задач использования фосфолипидов с целью повышения адгезионной способности дорожных битумов. Цель работы – на основании изучения адгезионных свойств дорожных битумов, а также проведенных исследований, показать, как окисленные фосфолипиды влияют на адгезию битума. Лабораторные исследования показали, что у дорожных битумов при добавлении фосфолипидов показатели температуры вспышки, температуры размягчения и адгезии значительно повысились, что делает эту добавку перспективной для улучшения качества битумов как связующего для дорожных покрытий. Установлено, что между стандартизованными показателями качества рассматриваемого битума наблюдается значительная ранговая корреляция.

**Ключевые слова:** битум, адгезия, фосфолипидный концентрат, температура вспышки, температура размягчения.

**І. О. ЛАВРОВА, С. І. БУХКАЛО, С. В. ВАЛУЙКІН**  
**I. O. LAVROVA, S. I. BUKHKALO, S. V. VALUIKIN**

### **ANALYSIS OF POSSIBILITIES OF USING PHOSPHOLIPIDES TO INCREASE THE ADHESIONAL ABILITY OF ROAD BITUMEN**

The article is devoted to the issue of increasing the adhesive ability of road bitumens. The aim of the work is to show how oxidized phospholipids affect the adhesion of bitumen on the basis of studying the adhesion properties of road bitumens, as well as research. Laboratory experiments have shown that the addition of phospholipids to road bitumens has significantly increased flash point, softening temperature and adhesion, which makes this additive promising for improving the quality of bitumen as a binder for pavements. Experimental studies allow to evaluate of road bitumens; efficiency and optimal modes of using phospholipid concentrate; summarize the results obtained and assess the feasibility of using phospholipid concentrate in the process studied. It is established that a significant rank correlation is observed between the standardized indicators of the quality of bitumen being considered.

**Keywords:** bitumen, adhesion, phospholipid concentrate, flash point, softening point.

**Вступ.** Бітуми широко використовуються для отримання бітумномінеральних (БМ) композицій, де вони виконують роль сполучного матеріалу. Головним споживачем бітуму є дорожнє будівництво, в першу чергу через те, що бітум є відносно дешевим і універсальним матеріалом для застосування в якості в'язучого при влаштуванні дорожніх покриттів. В умовах реформування галузі дорожніх покриттів ваговими показниками розвитку можна відзначити: 1) забезпеченню надійної роботи та поліпшенню екологічної ситуації на рівні кращих світових практик; 2) наближенню вимоги щодо якості продукції до найкращих практик Європейського Союзу; 3) прийняттю з метою застосування відповідних технічних регламентів європейських стандартів як національних стандартів України з одночасним скасуванням дії стандартів ГОСТ та ін.

Дорожній бітум повинен мати високу здатність до склеювання в широкому діапазоні температур, з

метою подальшого міцного утримування мінеральних складових від викришування. Це особливо важливо при інтенсивному русі автомобільного транспорту, зростаючому щорічно на 10–12%. Найбільш поширені види руйнувань асфальтобетонних покриттів відбуваються внаслідок недостатньої адгезійної міцності на кордоні розділу фаз між бітумом і мінеральною поверхнею. Тому актуальною є задача розробки бітумних в'язучих, які мають поряд з поліпшеними показниками якості підвищені адгезійні властивості до мінерального матеріалу.

**Актуальність роботи** полягає в тому, що показано можливість підвищення якісних показників бітуму нафтового дорожнього марки БНД 60/90 з одночасною утилізацією відходів виробництва біодизеля, що дає підстави говорити, про отриманий технічний та екологічний ефект.

© Лаврова І.О., Бухкало С.І., Валуйкін С.В., 2020

### Мета та задачі дослідження.

Метою роботи є встановлення виявлення можливостей використання залишку фосфатидного концентрованого, що утворюється як побічний продукт в процесі отримання біодизеля, як добавки до нафтового дорожнього бітуму для підвищення його зчеплення із твердою фазою.

Для досягнення поставленої мети сформульовано наступні задачі:

- експериментально підібрати оптимальні рецептури компаундованих бітумів;
- оцінити доцільність використання фосфатидного концентрату в якості добавки, що підвищує адгезійні властивості бітумів;
- експериментально оцінити фізико-хімічні показники отриманих компаундів;
- узагальнити отримані результати та розробити на їх основі ефективні пропозиції для нормативно-технічної документації.

### Методи дослідження.

Під час виконання роботи застосовувались сучасні методи фізико-хімічного аналізу: температура розм'якшення по кільцю і шару, температура спалаху, визначення зчеплення в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу. Для узагальнення результаті досліджень використовувались методи візуальної оцінки та графічні методи. Для обробки даних використовувався Microsoft Excel.

**Практичне значення одержаних результатів** для нафтопереробної та бітумної промисловості полягає в тому, що були запропоновані нові добавки, які допомагають отримати бітум з більш якісними показниками адгезії. Розроблено схему обробки результатів та сформульовані вихідні дані для її подальшого використання.

### Об'єкт дослідження – бітум для дорожнього будівництва.

У будівництві доріг застосовується полімерний бітумний продукт, зараз в Україні виробництво дорожнього бітуму нарощується, але все одно за обсягами виготовляється матеріалу воно далеко відстає від світових показників.

Такі установки характеризуються великим споживанням енергії, їх електрична потужність досягає 200 кВт і більше. В силу великих витрат на електроенергію багато заводів з виготовлення асфальтобетону не можуть організувати у себе модифікацію бітуму в'язучими полімерними складами. Бітум можна віднести до продукції з сезонним попитом, це перш за все визначається сезонністю дорожніх робіт в нашій країні. Ціна бітуму за тону в літній період різко зростає, а в зимовий падає. Внаслідок того, що цей матеріал виробляється з нафти, неабиякий вплив на вартість бітуму надає і нестабільність нафтових котирувань на світовому ринку. Також ціна на бітум сильно залежить від віддаленості споживача від виробляють комплексів, це пов'язано з чималими витратами на транспортування матеріалу як в рідкому стані в

емностях, так і в твердому вигляді, коли транспортується твердий бітум в мішках. [1–9].

### 1. Загальне наукове обґрунтування дослідження за темою. 1.1. Загальна характеристика бітуму – сировини.

Бітум складається на 14% з водню і на 70% з вуглецю, інша частина - це домішки кисню, сірки та інших хімічних елементів. На його властивості впливає не стільки його елементний склад, скільки види з'єднань водню з вуглецем, що визначаються технологією виробництва бітуму. Види з'єднань, що впливають на властивості бітуму:

- масляний компонент, який забезпечує матеріалу плинність;
- смолисті включення, які надають продукту пластичність;
- асфальтенові з'єднання, завдяки яким у бітуму є в'язкість.

Вміст масел в бітумі по відношенню до його загальної маси досягає 60%, що є переважною часткою. Чим вище це часткове співвідношення, тим більше його проникаюча здатність по відношенню до інших середовищ. Значно менше в ньому міститься смол, зазвичай їх кількість не перевищує 30%. Смоли мають тягучість, а щільність у них значно вища, ніж у масел. Смоли можуть бути за консистенцією твердими, в'язкими і напіврідкими, їх в'язкість визначається температурою: з підвищенням температури в'язкість смол і самого бітуму знижується. При достатньому нагріванні в установці з виробництва бітуму можна отримати зручний у використанні рідкий бітум.

### 1.2. Загальна характеристика виробництва бітуму.

Бітуми можна отримувати одним з трьох способів: 1) глибокої вакуумною перегонкою мазуту (залишкові бітуми); 2) компаундування залишкових і окислених продуктів (компаундують бітуми); 3) окисленням залишкових нафтопродуктів повітрям при високих температурах (окислені бітуми).

Залишкові бітуми отримують як кубові залишки (випають вище 450–500 °С) процесів первинної переробки спеціальних важких нафт. Для отримання остаточних бітумів використовують тільки сировину з великим вмістом смолисто-асфальтенових речовин, які присутні в достатній кількості в важких високосмолистих нафтах [4, 5].

Компаундуванні бітуми отримують змішанням різних залишкових і окислених бітумів, та інших нафтових залишків, напівпродуктів виробництва, важких дистилатів.

Окислені бітуми отримують окисленням важких залишків переробки нафти (вище 400–450 °С) або їх сумішей з різними екстрактами, смолами або іншими важкими напівпродуктами нафтопереробки киснем повітря при температурі 250–280 °С. Виробництво окислених бітумів можна класифікувати за типом окислювально-реакційних апаратів процесу: куб, неопалювальні трубчасті (змієвикові) реактори, безкомпресорні реактори і окисні колоні.

Від якості сировини залежить якість готових бітумів. А для окислених бітумів ще й від тривалості окислення, температури, і витрати повітря. Чим більше зміст смолисто-асфальтенових компонентів в нафти і чим вище відношення асфальтени: смоли і чим менш міститься твердих парафінів, тим вище якість одержуваних бітумів і простіше технологія їх виробництва.

Найгіршою сировиною для виробництва бітумів є високопарафіністи нафти. Високий вміст парафіну в нафті негативно впливає на важливі експлуатаційні властивості бітуму: прилипаємість до мінеральних покриттів і міцність. Нафти, для отримання бітуму, повинні бути добре знесолити.

Окислені бітуми отримують одночасним впливом на нафтові залишки високої температури і кисню повітря. При підвищенні температури прискорюється процес, але, при цьому неприпустимі реакції утворення карбенів і карбоїдів, вихід яких прискорюється при дуже високих температурах.

Час окислення залежить від якості сировини і необхідної якості бітуму. Для отримання більш твердого бітуму час окислення має бути більше. Зазвичай тривалість процесу окислення становить 18–40 годин. Температура процесу 250–280 °C [1–5].

## 2. Ідентифікація-класифікація бітумів.

Бітуми класифікують за областями застосування як дорожні, ізоляційні, покрівельні, будівельні і бітуми спеціального призначення: 1) ізоляційні нафтові бітуми застосовуються для ізоляції трубопроводів з метою захисту їх від корозії, а також для приготування заливних акумуляторних мастик; 2) покрівельні бітуми застосовують для виготовлення покрівлі та виробництва покрівельних матеріалів, їх поділяють на просочувальні і покривні (для просочення основи і отримання покривного шару); 3) будівельні нафтові бітуми застосовують при виконанні ремонтно-будівельних робіт, для гідроізоляції фундаментів будівель; 4) приготування лакофарбових матеріалів; 5) обробка металевих конструкцій і споруд; 6) в шинній і електротехнічної промисловості використовують бітуми спеціального призначення та ін.

Дорожні в'язкі нафтові бітуми використовують для виробництва всіх основних видів ремонтів і будівництва дорожніх покриттів. Рідкі нафтові бітуми використовують для продовження сезону дорожніх робіт [9].

**2.1. Структурні типи бітумів.** Бітуми – це дисперсні системи властивості яких залежать не тільки від їх складу, але і від структури і характеру взаємодії. За відсутності або наявності взаємодії між частинками бітуми, за своєю структурою поділяються на типи: 1 – гель, 2 – золь і 3 – золь-гель.

**2.1.1.** Гель – характеризується найбільш значними розмірами складної структурної одиниці, пов'язаними один з одним в єдиний суцільний каркас в єдиний суцільний каркас з іммобілізованим дисперсійним середовищем. Бітуми цієї структури містять, як правило, понад 25% асфальтенив, менш

24% смол і більше 50% вуглеводнів. При цьому частка асфальтенив в загальній сумі смолисто-асфальтенових речовин становить понад 0,5, а співвідношення кількості асфальтенив до суми кількостей смол і вуглеводнів – більше 0,35.

**2.1.2.** Золь – дисперсна фаза бітумів представлена складною структурною одиницею з мінімальними розмірами (найменший ступінь асоціації асфальтенив), що не взаємодіють один з одним і хаотично розподіленими в суцільний дисперсійному середовищі. Бітуми цього типу містять не більше 18% асфальтенив, понад 36% смол і не більше 48% вуглеводнів. Частка асфальтенив в загальній сумі асфальт осмолених речовин становить менше 0,34, а по відношенню до суми вуглеводнів і смол – більше 0,22.

**2.1.3.** Золь-гель – мають проміжні розміри і утворюють проміжну структуру (бажану для дорожніх бітумів).

Таким чином, в основі класифікації структурних нафтових бітумів лежить відмінність в розподілі в них складної структурної одиниці за розмірами. [8, 9].

## 3. Загальні властивості бітумів.

### 3.1. Особливості процесів окиснення.

Процес окислення сировини до бітуму є гетерогенна реакція між газовою (повітря) і рідкої (гудрон) фазами. З хімічної точки зору процес окислення-це не тільки реакції приєднання кисню, а й реакції відщеплення водню. Окислення гудрону до бітуму здійснюється в окислювальних апаратах шляхом продувки повітря через шар рідини. При цьому молекулярний кисень взаємодіє зі складовими компонентами сировини. Процес включає велику кількість паралельно-послідовних реакцій, що протікають за радикальним механізмом. В процесі окислення розрізняють такі типові реакції:

- реакція, в яких відбувається значне збільшення розміру молекул;
- реакція, в яких розміри молекул змінюються незначно або не змінюються.
- реакція в яких розміри молекул зменшуються;
- концентрація з відгонкою легких вуглеводневих фракцій.

Окислення нафтових вуглеводнів киснем проходить одночасно в двох напрямках (табл. 1), залежно від умов окислення можливі взаємні перетворення кислих і нейтральних продуктів окислення.

Таблиця 1. Напрямки окиснення нафтових вуглеводнів.

Вугле- водні	Кислоти	Оксикислоти	Асфальтенові кислоти	
	Смоли	Асфальтени	Карбени	Короїди

Велика частина кисню, що взаємодіє з компонентами гудрону, викликає реакції дегідрогенізації і несеться з газами, що відходять у вигляді сполуки (в основному, пари води і діоксид вуглецю). Інша частина кисню хімічно зв'язується у

вигляді окислених з'єднань. Основна кількість кисню, пов'язаного в окисленого бітуму, знаходиться в вигляді складнофірних груп. В середньому на них припадає 60% зв'язаного кисню і 40% розподіляється приблизно порівну між гідроксилу, карбонільних і карбоксильними групами. Кількість в окисленого бітуму хімічно пов'язаного кисню збільшується з підвищенням ароматичності нафтового залишку і зниженням температури окислення. [1–9].

У міру поглиблення окислення, співвідношення вмісту вуглецю до водню в бітумі підвищується. Основна кількість хімічно пов'язаного кисню з окисленням бітуму знаходиться в вигляді складнофірних груп (-COO) і в менших кількостях і гідроксильних (OH), карбоксильних (-COOH) і карбонільних (= CO) групах. Співвідношення груп залежить від природи сировини і умов процесу окислення (температури і тривалості процесу, об'ємної швидкості подачі повітря).

В процесі окислення утворюються низькомолекулярні органічні продукти (дистилят) – віддув (чорний соляр). Кількість віддуву залежить від вмісту легких компонентів в сировині і глибини окислення. При глибині окислення, що відповідає температурі розм'якшення бітуму 50–60 °С, утворюється віддув в кількості 0,5–2,0% у розрахунку на сировину.

Бітум хімічно пов'язує тим менше кисню, чим вище температура розм'якшення бітуму. Основна кількість кисню, що подається повітрям на окислення, йде на утворення води 10–20%, на утворення вуглекислого газу і лише незначна частина на утворення органічних речовин, що містять кисень. Частина кисню, що подається в реакцію не вступає і виноситься з газами, що відходять. Процес окислення гудрону супроводжується виділенням тепла.

Екзотермічна реакція окислення підвищує температуру в зоні реакції. Тепловий ефект реакції залежить від хімічної природи сировини, глибини і умов окислення. Найменший ефект спостерігається в початковій стадії окислення. При збільшенні температури окислення тепловий ефект знижується. Тепловий ефект реакції для дорожніх бітумів коливається від 45 до 150 кДж/кг, а для будівельних до 250 кДж/кг. Для зняття тепла реакції застосовується подача сировини в окислювальний апарат з температурою меншою, ніж температура окислення, а також експлуатації окислювальних апаратів без теплоізоляції [7–9, 10, 11].

**3.2. Загальні властивості бітуму.** Густина є однією з найважливіших характеристик бітуму. Вона залежить від хімічного складу бітуму: збільшення вмісту ароматичних структур підвищує його густину, а збільшення вмісту насичених з'єднань – зменшує. Щільність бітумів при температурі 20 °С складає 1,00–1,04 г/см<sup>3</sup>.

Температура спалаху бітуму і гудрону складає зазвичай більше 230 °С. За цим показником судять про наявність низько киплячих фракцій в сировині і готовому бітумі, отже про можливість їх вибухо-

пожежонебезпеку в процесі виробництва і застосування бітуму [12, 13–17].

В'язкість більш повно характеризує консистенцію бітумів при різних температурах застосування в порівнянні з пенетрацією і температурою розм'якшення. Бажано, щоб бітум при інших рівних показниках мав найбільшу в'язкість при максимальній температурі застосування.

Питома теплоємність практично однакова для різних бітумів. Вона збільшується з підвищенням температури: зміна теплоємності бітумів різної консистенції на 1 °С – 0,00032–0,00078 кал/(г град).

Вибірковість розчинників впливає на склад видобутих асфальтенів, що важливо при їх поділі на вузькі фракції. За розчинністю в органічних розчинниках, крім зольності і температури спалаху, судять про чистоту бітуму. Зольність визначають одночасно з випробуванням на розчинність. Допустимий вміст золи в бітумі не більше 0,1%. Розчинність бітумів в органічних розчинниках, таких як: хлороформ, бензол, сірковуглець і тетрахлорметан, характеризує наявність домішок – мінеральних і інших твердих речовин (карбенів, карбодів). У цих розчинниках окислені бітуми розчиняються більш ніж на 99%.

Показник пенетрації фіксує глибину проникнення стандартної голки в бітум при певному режимі (температура і зусилля навантаження). Пенетрація вимірюється в десятих частках міліметра.

Найважливіший показник визначає температуру фазового переходу бітуму з дисперсного в вільно-дисперсний стан. Температура розм'якшення. Випробування проводять за ГОСТ 11506-73 методом «Кільце і Куля» (КІШ).

Температура, при якій модуль пружності бітуму (тривалість стандартної напруги) має значення 1100 кг/см<sup>2</sup> або 1,0787–108 н/м<sup>2</sup>, називається температурою крихкості. Вона відповідає фазового переходу бітуму в пружно-крихкий реологічний стан.

Пластичні властивості бітумів, їх здатність до деформаційних змін при стандартних навантаженнях і напруженнях без руйнування структури і втрати суцільності, визначаються значеннями їх розтяжності або дуктільності. Низькі значення цього показника (менше 50 см при температурі 25 °С) не завжди однозначно свідчать про низькі експлуатаційні властивості дорожнього бітуму. Розтяжність бітумів при 25 °С характеризує ступінь структурованості і, отже, тип дисперсної структури бітуму. Низькі значення показника розтяжності свідчать про посилення схильності бітуму до старіння в процесі експлуатації. Більше 40 см розтяжність мають дорожні нафтові бітуми

Адгезія (прилипання) пояснюється процесом утворення подвійного електричного поля на поверхні розділу мінерального матеріалу і плівки бітуму. Адгезія бітумів залежить від полярності їх компонентів та кислотності мінерального матеріалу. Її визначають за значенням електропровідності.

### 3.3. Вимоги до якості бітумів.

Вимоги, що пред'являються до бітумів, особливо дорожнім, вельми різноманітні. Дорожні бітуми повинні:

- а) зберігати міцність при підвищених температурах, тобто бути теплостійкими;
- б) зберігати еластичність при різних температурах, тобто бути морозостійкими;
- в) чинити опір стисненню, удару, розриву під впливом транспорту, що рухається;
- г) забезпечувати добре зчеплення з сухою і вологою поверхнею мінеральних матеріалів;
- д) зберігати протягом тривалого часу первісну в'язкість і щільність.

Будівельні бітуми можуть бути менш еластичними, але вони повинні бути більш жорсткими.

Властивості бітумів залежать від компонентного складу, оптимальний зміст може бути досягнуто при певному співвідношенні Асфальтенів, смол і масел з необхідним вмістом ароматичних вуглеводнів і при відсутності значних кількостей твердих парафінів. Отже властивості бітумів визначаються природою вихідної нафти і можуть регулюватися підбором суміші вихідної сировини, а також в процесі окисного структурування.

Основними експлуатаційними властивостями, визначальними якістю бітумів, є: технічні властивості – проникність стандартної голки (пенетрація), температура розм'якшення, індекс пенетрації, розтяжність (дуктільність), температура крихкості. Це основні показники якості бітумів. Глибина проникнення голки (пенетрація) і температура розм'якшення характеризують твердість бітуму, розтяжність – його еластичність. Більш докладно вони будуть розглянуті нижче; фізико-хімічні властивості – стабільність, щільність, поверхневий натяг; реологічні властивості – дисперсність, в'язкість, модуль пружності, модуль деформації.

Реологічні властивості бітуму не повинні значно змінюватися при його розігріві в котлах, приготуванні і укладанні суміші і протягом тривалого терміну служби в асфальтобетонних та інших покриттях; теплові властивості – питома теплоємність, коефіцієнт теплопровідності, коефіцієнт об'ємного розширення, температура спалаху. Вони визначають можливість використання бітуму в якості теплоізоляційних матеріалів. За температури спалаху можна судити про наявність нізкокиплячих фракцій в сировині і в готовому бітумі, а також про їх вибухо- і пожежонебезпеки в процесі виробництва і застосування бітумів.

Діелектричні властивості – пробивна напруга, питома електропровідність, тангенс кута діелектричних втрат. За зміною цих показників можна контролювати адгезійні властивості бітумів. З підвищенням діелектричної проникності вони, як правило, поліпшуються.

Оптичні властивості – коефіцієнт рефракції, світлопоглинання бітуму. Ці властивості дозволяють глибше вивчити груповий склад бітуму.

За розчинності в органічних розчинниках судять про чистоту бітуму. Чим більше бітум містить продуктів розчинних в хлороформі, бензолі, тим менше в ньому домішок, що погіршують його властивості.

Водорозчинність характеризує гідрофобні властивості в'язучого і його стабільність;

Адгезія і когезія – найважливіші показники якості бітумів як в'язучих матеріалів.

Дорожні покриття повинні проектуватися на певний період експлуатації з урахуванням діапазону і типу найбільш ймовірних транспортних навантажень. В останні роки різко зросла інтенсивність руху транспорту, збільшилися навантаження на дорожнє полотно за рахунок використання великовантажних автомобілів з підвищеним тиском в шинах. Це призводить до швидкого руйнування асфальтобетонних покриттів, що виявляється у вигляді колії, тріщин і викришування входять матеріалів, що входять до їх складу [13–17].

**Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями.**

Загальноприйнятим є факт модифікації бітумів полімерами, що дозволяє підвищити довговічність асфальтобетону. Ступінь поліпшення властивостей залежить від вмісту полімеру в бітумі і їх якості. Аналіз літературних джерел свідчить про те, що введення найбільш часто застосовуваного полімеру типу СБС при поліпшенні багатьох властивостей бітуму практично не впливає на його зчеплення з мінеральним матеріалом. У той же час відомостей про стійкість асфальтобетонів на бітумах, модифікованих полімерами, проти руйнівної дії води недостатньо, а наявні відомості досить суперечливі.

Процес структуроутворення БМ композитів зобов'язаний, перш за все, адгезійною взаємодією бітумного в'язучого з поверхнею мінерального заповнювача. На всіх рівнях взаємодії бітумного в'язучого з поверхнею мінерального матеріалу важливою структуроутворюючою одиницею є контактна зона, розташована між двома сусідніми частинками мінерального матеріалу.

Адгезійне зчеплення дорожнього бітуму з поверхнею мінеральних частинок, має першорядне значення для забезпечення основних властивостей асфальтобетону

**Результати експериментальних досліджень.** Метою проведення експерименту визначено виявлення можливостей використання залишку фосфатидного концентрату – побічного продукту процесу виробництва біодизеля у якості добавки для підвищення зчеплення нафтового дорожнього бітуму із твердою фазою.

Фосфоліпіди – складні ефіри багатоатомних спиртів і вищих жирних кислот. Містять залишок фосфорної кислоти і з'єднану з нею додаткову групу атомів різної хімічної природи.

За фізико-хімічними показниками концентрат фосфатидний може мати властивості, зазначені у прикладі таблиці 2.

Таблиця 2 Фізико-хімічні показники фосфоліпідів

Назва показника	Показники якості концентрату для	
	Кормових цілей	Технічних цілей
Масова частка вологи і летких речовин, %, не більше	3,0	3,0
Масова частка фосфатидів, %, не менше	40,0	40,0
Масова частка олії, %, не більше	60,0	60,0
Масова частка речовин, не розчинних в етиловому ефірі, %, не більше	5,0	5,0
Кислотне число олії, виділеної з концентрату, мг КОН/г, не більше	20,0	-
Перекисне число, $\frac{1}{2}$ O <sub>2</sub> ммоль/кг, не більше	25,0	-
Масова частка кислоти в олії, виділеної з концентрату, %, до суми жирних кислот, не більше	5,0	не нормовано

Примітка. Норма показника «колірне число» для концентрату фосфатидного ріпакового кормового не більше ніж 20,0 мг йоду. Цей показник нормують і визначають за вимогами споживача по ГОСТ 5477.

У процесі вивчення адгезійних властивостей бітумів були проведені дослідження за різновидами зразків, включаючи вихідну сировину бітум марки БНД 60/90. Результати дослідів будуть приведені нижче в підсумкових таблицях.

Таблиця 3. Характеристики вихідного бітуму марки БНД 60/90.

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	48	49	51
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	49	52	56

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду в кількості 0,5% від загальної маси (композиція 1) представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Характеристики показників композиції 1

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	48	51	54
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	55	62	61

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду в кількості 0,7% від загальної маси (композиція 2) представлені в таблиці 5.

Таблиця 5. Характеристики показників композиції 2

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	46	49	53
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	89	96	90

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду в кількості 1,5% від загальної маси (композиція 3) представлені в таблиці 6.

Таблиця 6. Характеристики показників композиції 3

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	43	46	51
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	99	99	99

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду и СаО в кількості 0.5% від загальної маси (композиція 4) представлені в таблиці 7.

Таблиця 7. Характеристики показників композиції 4

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	46	51	48
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	46	51	55

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду и СаО в кількості 0.7% від загальної маси (композиція 5) представлені в таблиці 8.

Таблиця 8. Характеристика показників композиції 5

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	46	49	52
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	67	74	73

Характеристики бітуму марки БНД 60/90 з додаванням окисленого фосфоліпиду и СаО в кількості 1,5% від загальної маси (композиція 6) представлені в таблиці 9.

Таблиця 9. Характеристика показників композиції 6

Показник	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
КПШ	42	47	51
Температура спалаху	260...	260...	260...
Адгезія	99	99	99



Для БМ композиції з окисленим фосфоліпідом (рис. 1): кореляції Пірсона дорівнює 0,7697:

$$y = 30,357x + 56,345, R^2 = 0,5968.$$

Для отриманих експериментальних залежностей розраховано індекс кореляції (R), який є мірою зв'язку між змінними, за наступною формулою [9]:

$$R = \sqrt{1 - \frac{\sum(y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

де  $y_i$  – змінні;  $\hat{y}_i$  – значення змінних, розрахованих за рівнянням регресії;  $\bar{y}$  – середнє значення змінних.

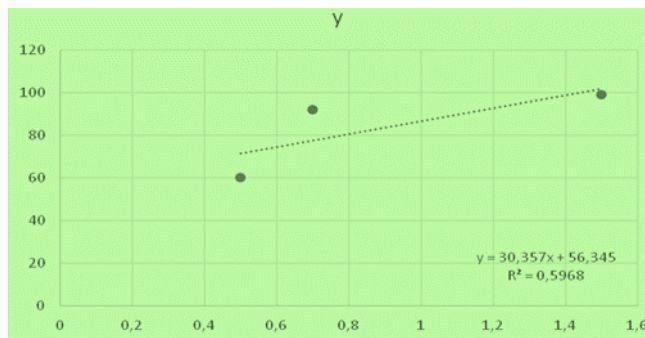


Рис. 1 – Відношення вмісту окисленого фосфоліпідів до площі покриття поверхні бітумом

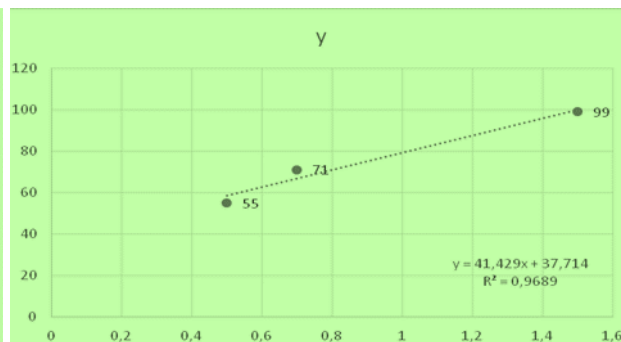


Рис. 2 – Відношення вмісту окисленого фосфоліпідів з домішкою CaO до площі покриття поверхні бітумом

Для БМ композиції з окисленим фосфоліпідом та домішкою оксиду кальцію CaO (рис. 2): кореляції Пірсона дорівнює 0,7697:

$$y = 41,429x + 37,714, R^2 = 0,9689$$

**Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку.**

Загальні підсумки проведеного дослідження можна визначити як: обґрунтування доцільності використання фосфоліпідів в якості складових БМ композитів.

За результатами дослідження був проведений математичний аналіз даних в ході якого були показані порівняльні графіки, коефіцієнти кореляції Пірсона та величина достовірності апроксимації. Встановлені залежності і індекси кореляції між показниками якості, які розглянуті у роботі, які

можуть бути корисними для прогнозування напрямків подальшого дослідження та при розробці системи автоматизованого контролю якості на стадії виробництва.

Тим самим було показано, що по коефіцієнтам кореляції Пірсона дослідження можна відтворити у подальших напівпромислових експериментах та розробках, також величина достовірності апроксимації досить близька до 1, що показує мінімальну розбіжність у дослідах.

Додатково до викладеного матеріалу необхідно формувати у студентів усіх рівнів навчання знання про теоретичні і правові засади нормування в Україні принципів якості довілля та категорій нормативних документів, з визначенням системи понятійної термінологічної бази якості довілля [1, 2, 18–22].

#### Список літератури

1. Родионов А. И. Техника защиты окружающей среды / Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. М.: Химия, 1989. – 512 с.
2. Грудников И.Б. Виробництво нафтових бітумів. М.: Хімія, 1983. 192 с.
3. Гуреев А.А., Чернишова Е.А., Коновалов А.А., Кожевникова Ю.В. Виробництво нафтових бітумів. -М. Вид. Нафта і газ, 2007, 102 с.
4. Сергієнко, С.Р. Високомолекулярні сполуки нафти. М.: Хімія, 1964. 540 с.
5. Пажітова, Н.П. Дослідження властивостей бітумів, що застосовуються в дорожньому будівництві / Н.П. Пажітова, Т.В. Потапова. М.: Праці СоюздорНИИ, 1970. 99 с.
6. Гун Р.Б. Нафтові бітуми. М.: Хімія. 1973, 472 с.
7. Розенталь, Д.А.. Бітуми. Отримання і способи модифікації. Л.: ЛТИ, 1979, 80 с.
8. Рудін, М.Г. Кишеньковий довідник нафтопереробника / М.Г.Рудін, В.Є. Сомов. ВАТ «ЦНПТЕнефтехім». М. 2002, 608 с.
9. Альбом технологічних схем процесів переробки нафти і газу / Под ред. Б.І. Бондаренко М.: Хімія, 198, 126 с.
10. Танатаров М.А., Ахметшина М.Н., Фасхутдінов Р.А. та ін. Технологічні розрахунки установок переробки нафти: навч. посібник для вузів. М.: Хімія, 1987, 302 с.
11. Кузнецов А.А., Кагерманов С.М. та ін. Розрахунки процесів і апаратів нафтопереробної промисловості. Л.: Хімія, 1974, 343 с.
12. Дубовкін Н.Ф. Довідник по теплофізичних властивостях вуглеводневих палив і їх продуктів згорання. - М.-Л.: Госенергоіздат, 1962, 195 с.
13. ГОСТ 11501-78. Бітуми нефтяные. Метод определения глубины проникания иглы.
14. ГОСТ 11505-75. Бітуми нефтяные. Метод определения растяжимости.
15. ГОСТ 11506-73. Бітуми нефтяные. Метод определения температуры размягчения по кольцу

- и шару.
16. ГОСТ 22245-90. Битумы нефтяные дорожные.
  17. Григоров А.Б. Методи визначення якості нафти та нафтопродуктів / І.В. Сінкевич, І.О. Лаврова, О.В. Богоявленська 2015, 146 с.
  18. Бухкало С.І. Визначення загальної технології комплексних курсових проєктів. Інформаційні технології: наука, техніка, технології, освіта, здоров'я: тези доповідей XXVII Міжн. н-практ. конференції (MicroCAD-2019), 15–17 мая 2019 р.: у 4 ч. Ч. II. / за ред. проф. Сокола Є.І. – Харків: НТУ «ХПІ». С. 217.
  19. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи) [текст] підручник. – К.: ЦНЛ, 2014. – 456 с.
  20. Бухкало С.І. Особливості розробки об'єктів інтелектуальної власності зі студентами. XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2018) 17-19 мая 2018. X.: Ч. II, с. 201.
  21. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Вісник НТУ «ХПІ». – X.: НТУ «ХПІ», 2019. – № 15(1340). – С. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
  22. Бухкало С.І. Структура потоків комплексного підприємства XXV Межд. н-практ. конф. «Информационные технологии: наука, техника, технология, образование, здоровье» (MicroCAD-2017) 17-19 мая 2017. X.: Ч. III, – с. 14.
  9. Al'bom tehnologichnih shem procesiv pererobki nafti i gazu / Pod red. B.I. Bondarenko M.: Himija, 198, 126 p.
  10. Tanatarov M.A., Ahmetshina M.N., Fashutdinov R.A. ta in. Tehnologichni rozrahunki ustanovok pererobki nafti: navch. posibnik dlja vuziv. M.: Himija, 1987, 302 p.
  11. Kuznecov A.A., Kagermanov S.M. ta in. Rozrahunki procesiv i aparativ naftopererobnoi promislovosti. L.: Himija, 1974, 343 p.
  12. Dubovkin N.F. Dovidnik po teplofizichnih vlastivostjah vuglevodnevih paliv i ih produktiv zgorjannja. M.-L.: Gosenergoizdat, 1962, 195 p.
  13. GOST 11501-78. Bitumy nefjtjanye. Metod opredelenija glubiny pronikanija igly.
  14. GOST 11505-75. Bitumy nefjtjanye. Metod opredelenija rastjazhivosti.
  15. GOST 11506-73. Bitumy nefjtjanye. Metod opredelenija temperatury razmjagchenija po kol'cu i sharu.
  16. GOST 22245-90. Bitumy nefjtjanye dorozhnye.
  17. Grigorov A.B. Metodi viznachennja jakosti nafti ta naftoproduktiv / I.V. Sinkevich, I.O. Lavrova, O.V. Bogojavlens'ka 2015, 146 p.
  18. Bukhhalo S.I. Viznachennja zagal'noi tehnologii kompleksnih kursovih proektiv. Informacijni tehnologii: nauka, tehnika, tehnologii, osvita, zdorov'ja: тези доповідей XXVII Mizhn. n-prakt. konferencii (MicroCAD-2019), 15–17 maja 2019 r.: u 4 ch. Ch. II. / za red. prof. Sokola Є.І. – Kharkiv: NTU «KhPI». P. 217.
  19. Bukhhalo S.I. Zagal'na tehnologija harchovoi promislovosti u prikladah i zadachah (innovacijni zahodi) [tekst] pidruchnik. – K.: CNL, 2014. – 456 p.
  20. Bukhhalo S.I. Osoblivosti rozrobki ob'ektiv intelektual'noi vlasnosti zi studentami. XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2018) 17–19 maja 2018. Kh.: Ch. II, p. 201.
  21. Bukhhalo S.I., Ageicheva A.O., Iglin S.P., Hlavcheva Yu. N., Miroshnichenko N.N., Olkhovska O.I., Zipunnikov M.M., Olkhovska V.O. Innovative complex projects'2018/2019 realization in the examples and tasks/ Visnik NTU «KhPI». – Kh.: NTU «KhPI», 2019. – № 15(1340). – pp. 80–88. doi: 10.20998/2220-4784.2019.15.14
  22. Bukhhalo S.I. Struktura potokiv kompleksnogo pidpriemstva XXV Mezhd. n-prakt. konf. «Informacionnye tehnologii: nauka, tehnika, tehnologija, obrazovanie, zdorov'e» (MicroCAD-2017) 17–19 maja 2017. Kh.: Ch. III, – p. 14.

#### Bibliography (transliterated)

1. Rodionov A. I. Tehnika zashhity okruzhajushhej sredy / Rodionov A. I., Klushin V. N., Torocheshnikov N. S. M. : Himija, 1989. – 512 p.
  2. Grudnikov I.B. Virobnictvo naftovih bitumiv. M.: Himija, 1983. 192 p.
  3. Gureev A.A., Chernishova E.A., Konovalov A.A., Kozhevnikova Ju.V. Virobnictvo naftovih bitumiv. -M. Vid. Nafta i gaz, 2007, 102 p.
  4. Sergienko, S.R. Visokomolekuljarni spoluki nafti. M.: Himija, 1964. 540 p.
  5. Pazhitova, N.P. Doslidzhennja vlastivostej bitumiv, shho zastosovujut'sja v dorozhn'omu budivnictvi/ N.P. Pazhitova, T.V. Potarova. M.: Praci SojuzdorNII, 1970. 99 p.
  6. Gun R.B. Naftovi bitumi. M.: Himija. 1973, 472 p.
  7. Rozental', D.A.. Bitumi. Otrimmannja i sposobi modifikacii. L.: LTI, 1979, 80 p.
  8. Rudin, M.G. Kishen'kovij dovidnik naftopererobnika / M.G.Rudin, V.E. Somov. VAT «CNIITEneftehim». M. 2002, 608 p.
- Поступила (received) 23.02.2020*

*Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Лаврова Інна Олегівна (Лаврова Инна Олеговна, Lavrova Inna Olegovna)** – кандидат технічних наук, доцент, заступник директора навчально-наукового інституту хімічних технологій та інженерії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [inlavr68@gmail.com](mailto:inlavr68@gmail.com)

**Бухкало Світлана Іванівна (Бухкало Светлана Ивановна, Bukhhalo Svetlana Ivanovna)** – кандидат технічних наук, професор кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1389-6921>; e-mail: [bis.khr@gmail.com](mailto:bis.khr@gmail.com)

**Валуйкін Станіслав Віталійович (Валуйкин Станислав Витальевич, Valuikin Stanislav Vitalyevich)** – студент групи 2.ХТ105.8н, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: [zigaxs@gmail.com](mailto:zigaxs@gmail.com)