

# ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 667.6, 665.5

DOI <https://doi.org/10.32782/2663-5941/2024.6.1/29>

## **Головенко В.О.**

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»  
Українського державного університету науки і технологій

## **Приходько Д.М.**

ННІ «Дніпровський інститут інфраструктури і транспорту»  
Українського державного університету науки і технологій

## **Коваль Д.С.**

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»  
Українського державного університету науки і технологій

## **Ясногор М.В.**

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»  
Українського державного університету науки і технологій

## **Андріянова М.В.**

ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»  
Українського державного університету науки і технологій

## **ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ЗІ ЗНИЖЕНИМ ВМІСТОМ ЛЕТКИХ ОРГАНІЧНИХ СПОЛУК**

*Розробка лакофарбових матеріалів зі зниженим вмістом летких органічних сполук – актуальна задача сьогодення. Традиційні лакофарбові матеріали та покриття призводять до значного забруднення навколишнього середовища через високі викиди летких органічних сполук (ЛОС) і ресурсомісткі виробничі процеси. В той же час екологічно чисті альтернативи, включаючи лакофарбові матеріали та покриття з низьким вмістом ЛОС, нульовим вмістом ЛОС і покриття на біологічній основі, пропонують багатообіцяючі рішення шляхом зниження рівня ЛОС і використання відновлюваних ресурсів. Помітні досягнення, такі як розробки лакофарбових матеріалів та покриття на водній основі, використання алкідних смол на основі різних рослинних олій та технології самовідновлення, підкреслюють зрушення галузі до екологічніших варіантів. Незважаючи на переваги, залишаються проблеми, такі як досягнення порівнянної продуктивності з традиційними матеріалами та покриттями, а також вищі витрати на виробництво. Нормативно-правові рамки та зростання споживчого попиту на екологічно чисті продукти спонукають галузь до цих інноваційних рішень. Очікується, що майбутні дослідження будуть зосереджені на підвищенні ефективності покриттів з низьким вмістом ЛОС, покращенні можливості переробки та розробці багатофункціональних покриттів.*

*У статті представлені нові підходи до рецептури лакофарбового матеріалу зі зниженим вмістом летких органічних сполук, а саме емалі для внутрішньої/зовнішньої обробки різних поверхонь та для покриття металу. З метою відповідності новим обмеженням ринку, пов'язаним зі зменшенням викидів ЛОС, запропоновано заміна традиційного алкідного лаку ПФ-060 на більш сучасний модифікований лак Synthalat, а також заміна розчинника та сикативу.*

*Досліджено фізико-хімічні характеристики одержаних лакофарбових матеріалів зі зниженим вмістом летких органічних сполук. Встановлено, що більшість показників знаходяться у межах допустимої норми, що дозволяє запропонувати одержаний лакофарбовий матеріал для внутрішньої і зовнішньої обробки та фарб для покриття металевих конструкцій.*

**Ключові слова:** лакофарбовий матеріал, фізико-хімічні характеристики, леткі органічні сполуки, лак, лакофарбове покриття.

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день на споживчих ринках України представлено досить широкий асортимент лакофарбових матеріалів (ЛФМ) [1]. Але високі вимоги до безпеки ЛФМ та зростаючі вимоги до охорони навколишнього середовища не лише обмежують вміст розчинників та інших токсичних летких органічних сполук (ЛОС) в рецептурах матеріалів, але й стимулюють розробку та удосконалення ЛФМ, що не шкодять навколишньому середовищу та забезпечують довготривалий захист металевих та інших конструкцій [1-4]. Тому аналіз рецептурних складників, визначення фізико-хімічних показників готових ЛФМ є важливим етапом при загальному оцінюванні їх якості та безпечності використання.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки зріс інтерес лакофарбової промисловості до нових перспектив, спрямованих на сталий розвиток, що спонукає виробників ЛФМ використовувати альтернативні варіанти, які допомагають знизити вплив викидів летких органічних сполук. Цей вплив особливо негативний, оскільки має екологічні наслідки, пов'язані із забрудненням атмосфери, та соціальні наслідки через їх шкідливий вплив на здоров'я людини [1]. В останній час були запропоновані напрямки пошуку, в ході яких було виявлено три ключові фактори [2]:

- зелена хімія, заснована на виробництві ЛФМ на основі використання та/або синтезу сировини з відновлюваних матеріалів;

- впровадження стратегій чистішого виробництва, які передбачають зміну технології виготовлення та нанесення ЛФМ, наприклад, на водну основу, порошкоподібну або зі зміною вмісту твердих речовин;

- правила та стандарти, яких необхідно дотримуватись щодо викидів ЛОС та які залежать від типу промисловості та країни, де вони виготовляються та застосовуються.

Властивості традиційних ЛФМ, таких як фарби, лаки та ін., безпосередньо залежать від рецептурного складу, а саме розчинників, смол і пігментів та ін.. Деякими типовими прикладами є алкідні фарби, поліуретанові покриття та епоксидні смоли [4]. Ці матеріали відомі своєю міцністю, захисними властивостями та візуальною привабливістю. Однак вони створюють значні екологічні перешкоди. Важливим питанням є виділення ЛОС під час нанесення та затвердіння продукту. Летючі органічні сполуки відіграють певну роль у забрудненні повітря, утворюючи приземний озон і смог, створюючи ризики для здоров'я людини та навколишнього середовища.

Крім того, виробництво та утилізація звичайних покриттів часто містять небезпечні речовини, що призводить до забруднення ґрунту та води [5].

Зростаюча потреба в екологічно чистих альтернативах зумовлена екологічним впливом звичайних покриттів. Екологічно чисті покриття спрямовані на зниження впливу на навколишнє середовище за рахунок зменшення викидів летких органічних сполук, використання відновлюваних ресурсів і покращеної здатності до біологічного розкладання. Попит на ці екологічні варіанти підживлюється зростаючими нормативними вимогами та свідомістю споживачів щодо екологічних проблем. Наприклад, покриття на біологічній основі, виготовлені з натуральних олій і смол, стають все більш популярними, оскільки вони менше впливають на навколишнє середовище та зменшують залежність від викопного палива. Ці речовини є можливим варіантом замість традиційних покриттів, забезпечуючи порівняльні характеристики з акцентом на екологічність [6].

Покриття з низьким і нульовим вмістом ЛОС – це нові варіанти, спрямовані на зменшення викиду летючих органічних сполук у повітря. Покриття з низьким вмістом ЛОС мають нижчу концентрацію ЛОС порівняно зі звичайними ЛФМ, тоді як покриття з нульовим вмістом ЛОС виготовляються без будь-яких вимірних ЛОС відповідно до нормативних вказівок. Для транспортування цих покриттів використовується вода або інші безпечні розчинники, що зменшує викиди шкідливих речовин під час нанесення та затвердіння. Переваги для навколишнього середовища від використання покриттів з низьким і нульовим вмістом ЛОС значні. Зменшуючи викиди ЛОС, ці покриття допомагають покращити якість повітря та мінімізують утворення приземного озону, який може призвести до респіраторних проблем та інших проблем зі здоров'ям. Крім того, ці покриття часто мають менший вплив на якість повітря в приміщенні, що робить їх більш безпечним варіантом для житлових і комерційних приміщень [7].

Тому для зниження летких органічних сполук, енергоємності процесу покриття, підвищення якості лакофарбових покриттів (ЛФП) актуальною є розробка вітчизняних ЛФМ зі зниженим вмістом ЛОС.

**Постановка завдання.** Метою роботи є наукове обґрунтування, оптимізація складу та вивчення властивостей лакофарбових матеріалів зі зниженим вмістом летких органічних сполук.

**Виклад основного матеріалу.** Класичні лакофарбові матеріали для внутрішньої і зовнішньої

обробки та для покриття металевих конструкцій являють собою складні хімічні композиції, що містять плівкоутворювачі, наповнювачі, диспергатори, змочувачі, сикативи, прискорювачі затвердіння, розріджувачі, розчинники тощо. Такі ЛФМ можуть бути призначені для фарбування радіаторів опалення, а також для будь-яких дерев'яних і заґрунтованих металевих поверхонь, що зазнають постійну температурне навантаження [1]. Нанесення ЛФМ і подальша експлуатація покриття обумовлює контакт людини із вищезазначеними компонентами. Більш того, деякі хімічні сполуки можуть мігрувати в навколишнє середовище й негативно впливати на екологію та здоров'я людей [5].

В даній роботі для оптимізації складу і технологічного процесу виробництва алкідних емалей шляхом зниження кількості ЛОС у технології отримання ЛФМ передбачалася заміна деяких компонентів у рецептурі виготовлення алкідної емалі для радіаторів опалення. Було запропоновано замінити деякі компоненти:

- класичний лак ПФ-060 замінити на модифікований лак Synthalat;
- розчинник уайт-спірит замінити на деароматизований розчинник Ehxsol;
- для покращення часу висихання ЛФМ традиційний сикатив замінити на модифікований безсвинцевий сикатив, що має у своєму складі солі марганцю та барію.

Визначення фізико-хімічних показників лакофарбових матеріалів проведено у відповідності до стандартизованих методик. Характеристика основних рецептурних складників модифікованого зразка ЛФМ наведена нижче.

Модифікований лак Synthalat представляє собою алкідний лак з високим сухим залишком, що використовується для швидковисихаючих промислових покриттів з гарним збереження блиску. Вибір лаку Synthalat обумовлений його 70%-вою жирністю. Відомо, що за кількістю залишків кислот алкідні смоли підрозділяють на надхуді (<35%), худі (35–45%), середні (46–55%), жирні (56–70%) і дуже жирні (>70%). Жирні алкідні смоли отримують на основі висихаючих олій, тобто таких, які містять в карбонільному залишку 3 супряжених зв'язки – висихаючі олії (тунгова, льняна і гідратована касторова). Напіввисихаючі олії утворюють плівки при температурі 60–70°C (соєва, соняшникова). Невисихаючі олії не містять подвійних зв'язків чи містять один (кокосова, сира касторова). Вони не тверднуть навіть при температурі 120°C. При виробництві алкідних смол, модифікованих олією, використовують принцип – чим вище ненасиче-

ність (більша функціональність) вихідних олій, тим швидше відбувається утворення смоли і тим вище повинна бути жирність випускаємих алкідних смол. Таким чином, лак Synthalat підходить для радіаторних емалей з низькою тенденцією до пожовтіння. Це сприятиме отриманню швидковисихаючих емалей з високою еластичністю, високим блиском і відмінною атмосферостійкістю.

Деароматизований розчинник Ehxsol представляє собою деароматизований уайт-спірит, містить менше 0,0001% бензолу і менше 0,0005% сірки. Завдяки такому складу цей розчинник має слабкий запах і низьку токсичність. Застосовується в лакофарбних матеріалах для зовнішньої і внутрішньої обробки, а також для знежирення поверхні перед забарвленням і чищення робочого інструменту (кистей, валиків, фарборозпилювача). Також застосовується для розбавлення лакофарбових матеріалів (фарб, емалей, лаків, ґрунтовок) на основі алкідних і поліакрилових смол.

Модифікований безсвинцевий сикатив представляє собою суміш солей марганцю та барію. Сикатив марганцю має темний колір і з часом не викликає зміну кольору лакофарбового покриття, тому він використовується у рецептурах, де зміна кольору на дуже важлива. Присутність марганцю забезпечує формування лакофарбового покриття при більш низькій температурі, ніж у випадку з сикативом кобальту. Лакофарбові покриття, що містять марганець менш піддаються зморщуванню в умовах високої вологості. Сикатив на основі барію сприяє внутрішньому висиханню та покращує блиск захисних лакофарбових покриттів. Крім того, сикатив на основі барію діє як гарний змочувач для пігментів та наповнювачів та сприяє процесу їх диспергування, перешкоджаючи адсорбції первинних сикативів на поверхні часток твердої фази. Також сикатив на основі барію збільшує стабільність лакофарбових матеріалів при їх зберіганні.

Таким чином, до складу досліджуваного лакофарбового матеріалу входять дієві та достатньо безпечні компоненти. Аналіз результатів експериментальних досліджень по визначенню основних фізико-хімічних показників якості лакофарбових матеріалів до і після зміни рецептури показав, що більшість показників знаходяться у межах допустимої норми. Результати досліджень наведені у таблиці.

У якості зразка 1 було обрано класичну емаль для радіаторів опалення, зразок 2 – емаль зі зміненою рецептурою. Отримані дані свідчать, що ЛФМ цілком відповідають проектним вимогам і основному призначенню.

## Фізико-хімічні та механічні показники досліджуваних лакофарбових матеріалів

Найменування показника	Норма	Зразок 1	Зразок 2
Умовна в'язкість при температурі (20±5)°С, по віскозиметру ВЗ-246 (ВЗ-4), сек	80-120	147	120
Масова частка нелетких речовин, %	55-95	55	55
Ступінь перетиру, мкм, не більше	25	25	25
Укривність висушеної плівки, г/м <sup>2</sup> , не більше	100	82,9	93,3
Час висихання до ступеня 3 при температурі (20±5)°С, год, не більше	24	24	24
Еластичність плівки при вигині, мм, не більше	1	1	1
Адгезія плівки, бали, не більше	1	1	1
Міцність плівки при ударі по приладу У-1, см, не менше	45	45	45
Твердість плівки по маятниковому приладу, ум.од., не менше	0,25	0,25	0,25
Стойкість покриття при температурі (20±5)°С до статичної дії води, не менше	2	2	2
Стойкість покриття до статичної дії 0,5 %-вого розчину миючого засобу, хв., не менше	15	15	15

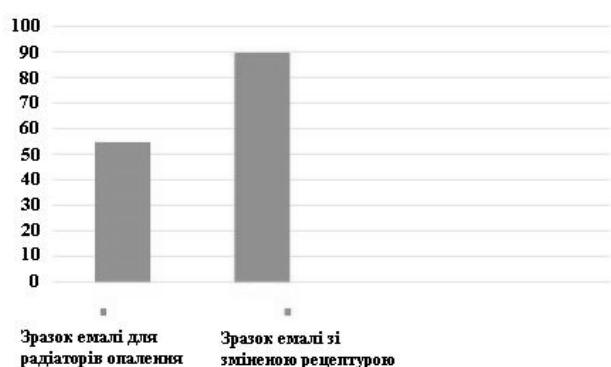


Рис. 1. Зміна коефіцієнту контрастності досліджуваних лакофарбових матеріалів

Для аналізу декоративних властивостей досліджуваних лакофарбових матеріалів було визначено коефіцієнт контрастності (рис. 1).

Як видно з рисунку зразок емалі зі зміненою рецептурою має більше значення коефіцієнту контрастності, що свідчить про кращу укривність покриття, що також підтверджується даними таблиці.

**Висновки.** Результати досліджень показали, що лакофарбовий матеріал зі зміненою рецепту-

рою має фізико-хімічні та механічні показники на рівні з контрольною при меншій кількості ЛОС у складі. Одержані результати дозволяють рекомендувати використання зміненої рецептури для отримання лакофарбових матеріалів з меншим вмістом ЛОС. Особливо зважаючи на те, що зростання обсягів виробництва та споживання ЛФМ потребує вдосконалення технологій їх отримання з метою зменшення екологічного впливу.

Застосування цих розробок сприятиме просуванню індустрії лакофарбових матеріалів до підвищення екологічної відповідальності та ефективності. Промисловість може зменшити шкоду навколишньому середовищу та підтримати сталие майбутнє, використовуючи екологічно чисті матеріали та передові технології. Удосконалення покриттів покращують продуктивність, а також сприяють відповідальному використанню ресурсів і мінімізації відходів. Із суворішими правилами та зростаючим інтересом споживачів до екологічно чистих продуктів постійні інвестиції в дослідження та розробки матимуть вирішальне значення для сприяння відповідальним інноваціям і досягнення цілей сталого розвитку в довгостроковій перспективі.

#### Список літератури:

1. Дудла І. Гармонізація вимог до безпечності лакофарбових матеріалів в Україні та ЄС. *Товари і ринки: проблеми безпечності товарів*. 2016, №1, с. 222-235.
2. Jiménez-López A. M., Hincapié G. A. Identification of factors affecting the reduction of VOC emissions in the paint industry: Systematic literature review. *Progress in Organic Coatings*. 2022, №170, p.1-11.
3. Суворова Ю. О., Черваков О. В., Андріянова М. В., Бортницький В. І., Комлякова О. М. Плівкоутворення бутанолізованих дифенілолпропан-формальдегідних олігомерів, модифікованих жирами рослинного та тваринного походження. *Питання хімії та хімічної технології*. 2016, № 4 (108), с. 67-72.
4. Pratyush Malik, Durgapada Sarkhel. Advancements in bio-based materials and low-voc formulations: paving the way for sustainable innovation in the coatings industry. *Journal of coating technology and innovation*. 2024, №. 2 (2), p. 34-38.
5. Schieweck A., Bock M.-C. Emissions from low-VOC and zero-VOC paints – Valuable alternatives to conventional formulations also for use in sensitive environments? *Building and Environment*. 2014, № 85, p.243-252.

6. Jouyandeh M, Seidi F, Habibzadeh S, Hasanin MS, Wiśniewska P, Rabiee N. An overview of green and sustainable polymeric coatings. *Surface Innovation*. 2023, №12(5-6), p.268-281.

7. Liu Y, Zeng C, Wang M, Shao X, Yao Y, Wang G. Characteristics and environmental and health impacts of volatile organic compounds in furniture manufacturing with different coating types in the Pearl River Delta. *Journal of Clean Production*. 2023, №397, p.136-189.

**Holovenko V.O., Prykhodko D.M., Koval D.S., Yasnohor M.V., Andriianova M.V.**

#### **PHYSICAL-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF PAINT MATERIALS WITH REDUCED CONTENT OF VOLATILE ORGANIC COMPOUNDS**

*The development of paint and varnish materials with a reduced content of volatile organic compounds is an urgent task today. Traditional paints and coatings lead to significant environmental pollution due to high emissions of volatile organic compounds (VOCs) and resource-intensive production processes. At the same time, environmentally friendly alternatives, including low-VOC, zero-VOC and bio-based paints and coatings, offer promising solutions by reducing VOC levels and using renewable resources. Notable advances such as the development of water-based paints and coatings, the use of alkyd resins based on various vegetable oils, and self-healing technology highlight the industry's shift toward greener options. Despite the advantages, challenges remain, such as achieving comparable performance with traditional materials and coatings, as well as higher manufacturing costs. Regulatory frameworks and growing consumer demand for environmentally friendly products are driving the industry toward these innovative solutions. Future research is expected to focus on improving the performance of low-VOC coatings, improving recyclability, and developing multi-functional coatings.*

*The article presents new approaches to the formulation of paint and varnish material with a reduced content of volatile organic compounds, namely enamels for internal/external treatment of various surfaces and for metal coating. In order to comply with the new market restrictions related to the reduction of VOC emissions, it is proposed to replace the traditional PF-060 alkyd varnish with a more modern modified Synthalat varnish, as well as to replace the solvent and desiccant.*

*The physicochemical characteristics of the obtained paint and varnish materials with a reduced content of volatile organic compounds were studied. It was established that most of the indicators are within the permissible norm, which allows us to offer the resulting paint and varnish material for interior and exterior finishing and paints for covering metal structures.*

**Key words:** *physical and chemical characteristics, paint material, volatile organic compounds, varnish, paint coating.*