

УДК 662.612:662.769.21

DOI 10.36910/10.36910/6775-2313-5352-2024-25-11

**Когут В. М., Витвицька Л. А.**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

## РОЗРОБЛЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ КОМПЛЕКСНОГО ЕКСПРЕС-КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ЛАКІВ І ФАРБ

*У роботі проведено аналіз основних характеристик різних видів фарб. Визначено вимоги до властивостей фарби в залежності від умов та способів її використання. Встановлено перелік властивостей лакофарбових матеріалів, за якими визначається їх якість. Визначено залежність властивостей фарб від виду форми, структури та пористості поверхонь, на які вони наносяться. Проаналізовано існуючі методи контролю окремих властивостей лакофарбових матеріалів. Обґрунтовано необхідність розроблення комплексного методу експрес-контролю якості лакофарбового матеріалу для забезпечення контролю у конкретних умовах його нанесення на певну поверхню при заданих умовах використання. На основі моделювання процесу змочування лакофарбовим матеріалом певної поверхні встановлено, що саме за цим процесом можна здійснювати контроль якості фарби та визначати умови її використання. Обґрунтовано, що контроль швидкості процесу змочування фарбою конкретної поверхні доцільно проводити в автоматизованому режимі на основі оптичного методу, який дає можливість у динамічному візуальному режимі проводити експрес-контроль лакофарбового матеріалу.*

**Ключові слова:** *лакофарбовий матеріал, якість, характеристики фарб, змочуваність поверхні, комплексний експрес-контроль якості, змочуваність твердої поверхні, оптичний метод.*

**Вступ.** Проблема захисту від корозії на сьогоднішній день є настільки актуальною, що все більше уваги приділяється засобам від корозії, серед яких важливе місце займають лакофарбові матеріали. Контроль якості лакофарбових матеріалів повинен бути впроваджений у всіх технологічних процесах, оскільки довговічність антикорозійних покриттів багато в чому визначається якістю фарби, способом нанесення і матеріалом поверхні, котра фарбується. Незалежно від складу всі фарби та інші декоративні покриття мають ряд критеріїв, яким вони повинні відповідати [1, 2]. До них відносяться: легкість в догляді, здатність витримувати сухе і вологе прибирання, екологічність і простота нанесення. Окрім цих якостей, до багатьох видів матеріалів висуваються додаткові вимоги, такі як: висока стійкість до стирання в місцях частого використання, вологостійкість при застосуванні у ванних кімнатах, кухнях тощо. Окрім експлуатаційних характеристик фарби, на вибір покупця також сильно впливають декоративні властивості фарби, такі як: колір, фактура і блиск, а також вартість фарби.

Наразі кожна властивість фарби - колір, відтінок, в'язкість та довговічність – визначається окремим методом, що потребує значної кількості часу та громіздких процесів контролю якості [3]. Тому виникає необхідність об'єднати більшість окремих показників і використовувати певний комплексний показник якості, який би дозволив здійснювати однозначний контроль якості конкретної фарби за короткий час і, відповідно, з меншою складністю. З цією метою необхідно розглянути основні показники якості лакофарбових матеріалів та вимоги до них.

**Метою даної роботи** є розробка комплексного методу контролю якості лакофарбових матеріалів, що наносяться на конкретну поверхню, на основі моделювання процесу змочування цієї поверхні.

Емалі, фарби, лаки, шпаклівки, ґрунтовки та розчинники мають певні властивості, які визначають їхню якість [4]. Зокрема, це властивості фарби або лаку до затвердіння та властивості готової плівки покриття. Основні властивості лакофарбової продукції такі:

- хімічні властивості (наприклад, загальний вміст основних інгредієнтів, легких і нелегких речовин, окремих компонентів, води, водорозчинних солей, води тощо, кислотний рН);
- фізико-хімічні (в'язкість, густина, час затвердіння (висихання), коефіцієнт прозорості);
- покриття і технологія нанесення (ступінь полірування, нанесений «розлив», засмічення, плінність).

Властивості покривної плівки:

- фізико-механічні властивості (твердість, адгезія, еластичність, міцність на вигин і розрив, стійкість до стирання, ударна в'язкість);

- декоративні (блиск, зовнішній вигляд, колір);
- захист (світлостійкість, атмосферостійкість, стійкість до температурних змін, теплостійкість, морозостійкість);
- електроізоляція (питомий електричний опір, електрична міцність, діелектричні втрати);
- покриття і технології (абразивні та шліфувальні можливості);
- стійкість до лугів, кислот, води, агресивних газів, масел, мильних розчинів, бензину, емульсій та інших хімічних речовин.

Крім того, лакофарбові матеріали мають специфічні властивості. Наприклад, вони повинні бути електропровідні, стійкі до холоду та відкритого вогню.

Покривна здатність – це здатність фарби (або пігменту) робити «контраст» останньої невидимим при рівномірному нанесенні на контрастні поверхні. Цей показник залежить головним чином від форми, розміру частинок і кольору пігменту [2]. Зазвичай, його виражають у кількості грамів фарби, необхідної для фарбування одного квадратного метра поверхні. Однак у більшості випадків на упаковці вказується витрата фарби у кілограмах (літрах) фарби на квадратний метр, а не на покриття. Практично, це той самий показник площі нанесення і його можна просто перевести в  $г/м^2$ . Деякі фарби маркуються як «двошарові» і вказується витрата фарби на один шар. Це означає, що лише один шар фарби потрібен, щоб повністю закрити колір поверхні, що фарбується, і кожен шар фарби наноситься з витратою, зазначеною на банці. Таким чином, фактична витрата фарби, яка вдвічі наноситься, перевищує кількість, зазначену на банці.

Блиск - це здатність поверхні цілеспрямовано відбивати світло. Ступінь блиску, тобто глянець лакофарбового покриття, вимірюється в лабораторії за допомогою фотоелектричного методу. При цьому вимірюється величина фотоструму, що збуджується у фотоприймачі під впливом світлових променів, відбитих від поверхні досліджуваного покриття. Одиниці, отримані в результаті вимірювання, не дуже промовисті для пересічного покупця, тому прийнято маркувати глянець банки таким чином: М - напівматовий, ГМ – глибокий матовий та ін.

Світлостійкість – це властивість матеріалу зберігати свій колір під впливом ультрафіолетової складової сонячного світла. Чим вища світлостійкість лакофарбового матеріалу (а не зв'язуючих пігментів та інших компонентів), тим краще. Світлостійкість має особливе значення при зовнішньому фарбуванні фасадів і дахів.

Атмосферостійкість – це властивість лакофарбового покриття чинити опір руйнівній дії не тільки сонячних променів, але і дощу, морозу, снігу, вітру тощо. Для визначення цієї властивості зразки з лакофарбовим покриттям витримують в атмосферних умовах і потім кількісно оцінюють зміну декоративних і захисних його властивостей. На банках так і пишуть слово - «атмосферостійка».

Контроль мікроструктури поверхні, особливо шорсткості, широко використовується у виробництві напівпровідникових приладів, мікросхем, оптичного обладнання, прецизійних компонентів і деталей для машинобудування та приладобудування.

Для отримання лакофарбових покриттів з відмінною хімічно- і атмосферостійкістю, хорошими декоративними і захисними властивостями, тривалим терміном служби необхідна спеціальна підготовка оброблюваної поверхні, відповідний підбір ґрунтовки, лакофарбових матеріалів, технології фарбування і сушіння. Контроль якості також дуже важливий під час виробництва та відвантаження готової лакофарбової продукції, а також під час її використання для фарбування виробів.

Контроль якості у виробництві лакофарбової продукції включає перевірку відповідності проміжних продуктів, сировини і готової продукції показникам, встановленим чинними національними стандартами, технічними умовами і галузевими стандартами [5]. Проміжні продукти і сировина повинні бути перевірені і випробувані, незалежно від того, чи отримані вони від постачальників, чи вироблені безпосередньо на підприємстві.

Кількісний склад лакофарбових матеріалів визначають за допомогою оптичних аналізаторів. Принцип дії оптичних аналізаторів оснований на залежності коефіцієнтів заломлення, відбиття та оптичної густини від концентрації компонента, що визначається. Метод оснований на тому, що степінь поглинання світла залежить від концентрації і складу рідини. Оптична густина пропорційна концентрації речовини в розчині. Інтенсивність забарвлення розчину використовується для визначення концентрації компонента візуально або за допомогою фотоелемента.

Колір рідини визначають фотометричним методом. Даний метод передбачає хімічну реакцію, в ході якої компонент, що нас цікавить, перетворюється на сполуку, а кількість цього

компонента визначається шляхом вимірювання ступеня поглинання світлових променів розчином цієї сполуки.

Фотоелектричні колориметри вимірюють концентрацію у видимій області спектра. Для цього в якості джерела випромінювання використовують лампи розжарювання. Інтенсивність потоку в колориметрі реєструється за допомогою різних типів фотоелементів і фоторецепторів, наприклад, фоторезисторів. Чутливість фотоколориметра залежить від спектра поглинання досліджуваного розчину і спектральних властивостей фотоелемента, тобто від правильного вибору фотоелемента і оптичного фільтра.

Показник заломлення аналізованої речовини визначається методами рефракційного аналізу, які залежать від її складу, тобто співвідношення компонентів. Коли світлові промені потрапляють на межу розділу фаз, вони частково відбиваються, а частково заломлюються.

Якість покриття також можна визначити за ступенем змочування ним твердих поверхонь. Змочуваність пористого матеріалу рідиною визначається швидкістю руху поверхні досліджуваної рідини в горизонтальній трубці. Також за іншим методом пористий матеріал розташовують у вертикальній трубці, у другій паралельній трубці визначається висота підняття поверхні розділу фаз «досліджувана рідина – повітря».

Швидкість  $v$  і висота  $h$  підняття рідини в трубці, заповненій пористим матеріалом, що тестується, визначаються наступним чином. Для ньютонівських рідин швидкість рідини, що рухається по циліндричній трубці, визначається наступним рівнянням:

$$v = \frac{\Delta P \cdot r^2}{4\mu \cdot h}, \quad (1)$$

де  $\Delta P$  – різниця тисків на початку та кінці трубки;  $r$  – радіус трубки,  $h$  – довжина трубки,  $\mu$  – динамічна в'язкість.

Якщо рідина піднімається по вертикальній трубці, то потрібно враховувати гідростатичний тиск рідини. З врахуванням того, що швидкість підняття рідини визначається відношенням висоти  $h$  і часом її підняття  $t$ , можна рівняння (1) подати у вигляді:

$$h^2 = \frac{\Delta P \cdot r^2}{4\mu} \cdot t. \quad (2)$$

Різниця тисків на початку та на кінці трубки визначається сумою тиску, зумовленого змочуванням внутрішніх стінок трубки, і гідростатичного тиску. Перепад тиску, зумовлений змочуванням визначається таким чином:

$$\Delta P_{\text{ж}} = \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r}, \quad (3)$$

де  $\theta$  – крайовий кут змочування,  $\sigma$  – поверхневий натяг на границі розділу рідина-газ.

Таким чином, отримуємо:

$$h^2 = \frac{r^2}{4\mu} \left( \frac{2\sigma \cdot \cos \theta}{r} + \Delta P \right) \cdot t. \quad (4)$$

При русі рідини в пористому тілі горизонтально, величиною  $\Delta P$  можна знехтувати. Тоді (4) можна подати таким чином:

$$\frac{h^2}{t} = \frac{r\sigma \cdot \cos \theta}{2\mu} \quad \text{або} \quad v = \frac{r\sigma}{2h\mu} \cos \theta. \quad (5)$$

Замість висоти  $h$  необхідно визначити шлях, пройдений рідиною за час  $t$  в пористому тілі.

При відомих значеннях в'язкості  $\mu$  та поверхневого натягу рідини  $\sigma$  і, вимірявши час руху рідини  $t$  та величину  $h$  згідно (4), визначається косинус крайового кута змочування:

$$\cos \theta = \frac{2\mu h^2}{r\sigma t}. \quad (6)$$

Недоліком цього методу є складність вибору еталонної рідини, з якою порівнюють значення, визначені для досліджуваної рідини.

Оптичні методи найкраще підходять для отримання зображень процесу нанесення за допомогою лінійного датчика зображення (або серії фотодіодів) і пристрою, який перетворює зображення в електричний сигнал. Принцип роботи блоку управління, (конструкція якого подана на рис. 1) полягає в тому, що світловий промінь, випромінюваний потужним напівпровідниковим лазером (потужність лазера залежить від вимог до стабільності роботи), фокусується на заготовку за допомогою лінзи. Оптична система ОС складається з об'єктива ОБ, світловідбивної пластини СП, лінзи Л, відеокамери ВК, лазера ЛЗ. В якості оптоелектронного перетворювача

використовується тільки відеокамера ВК. Джерелом випромінювання для моніторингу є напівпровідниковий лазер ЛЗ, температура якого контролюється і підтримується системою контролю температури СКТ і системою охолодження СО. Датчиком температури лазерного нагріву є напівпровідниковий резистор  $R_t$  з лінійною характеристикою опору в залежності від температури. Вся система пристрою працює від імпульсного джерела живлення БЖ, який підключений до мережі через мережевий фільтр МФ. Аналоговий вихід відеокамери підключений до відео входу комп'ютерного пристрою відеозахоплення ЕОМ.

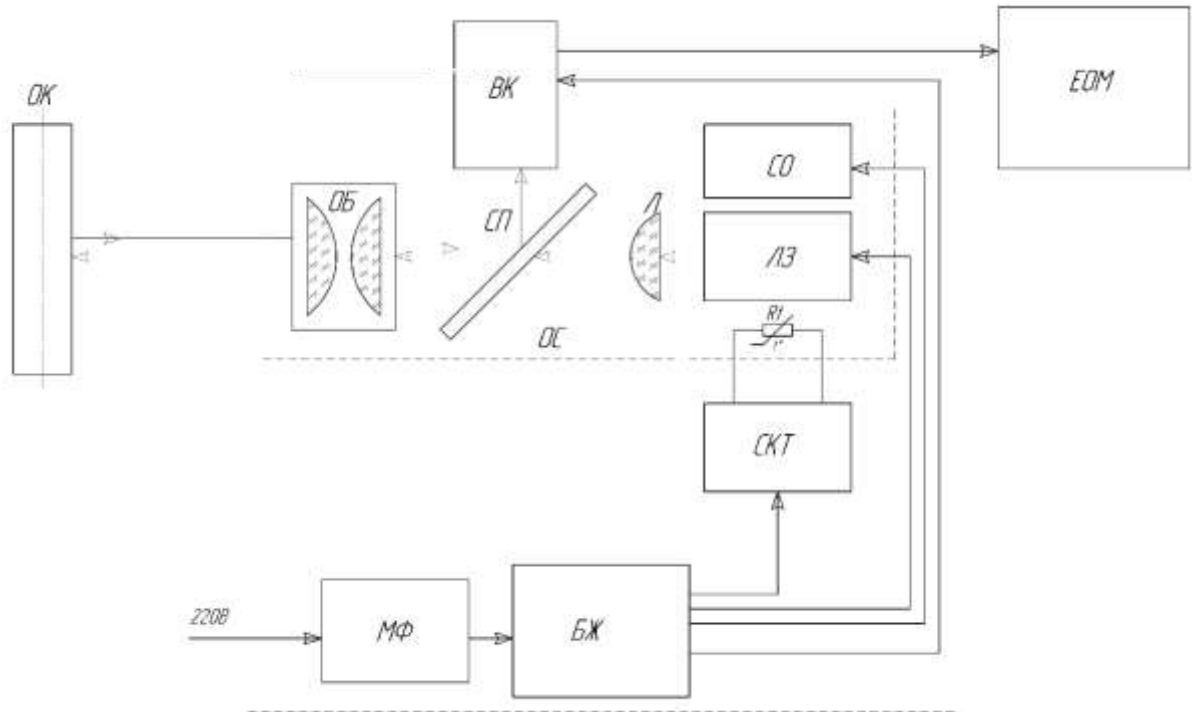


Рисунок 1 – Функціональна схема пристрою для контролю якості лакофарбового покриття

Для того, щоб пристрій, який контролює мікроструктуру поверхні, працював належним чином, його компоненти повинні живитися стабільною напругою живлення. Використовувати звичайні трансформаторні стабілізатори напруги недоцільно через їхні великі розміри, високий рівень електромагнітного випромінювання, низьку ефективність випромінювання та низького ККД. Для подолання цих недоліків рекомендується зробити блок живлення імпульсним. У цьому випадку вага і габарити джерела живлення значно зменшуються порівняно зі звичайними трансформаторними джерелами живлення, а коефіцієнт корисної дії підвищується до більш ніж 80%.

Розмір світлової плями на поверхні заготовки, зазвичай, становить 1-2 мм, в особливих випадках 0,2-4 мм. Залежно від якості поверхні деталі, що перевіряється, світло розсіюється в області світлової плями, і розсіяне світло направляєється на датчик зображення за допомогою світлорозподільника (напівпрозорого дзеркала). Дисперсія розсіяного світла дає оптичну характеристику шорсткості поверхні. Отже, за ступенем змочування лакофарбовим матеріалом досліджуваної поверхні твердого тіла можна визначати якість лакофарбового матеріалу. Використання оптичного методу контролю дає можливість одночасно виявляти інші вищевказані властивості фарби.

При розточуванні і шліфуванні оброблюваної поверхні отримується рівномірна канавка або канавоподібна форма поверхні, а при обробленні поверхні шляхом катання отримується нерегулярний поверхневий рельєф. Ця різниця чітко стає видима на картині розсіювання світла, оскільки катані поверхні мають розподіл інтенсивності розсіяного світла центросиметричний на відміну від поверхонь, які отримані розточуванням і шліфуванням.

Шорсткість просвердлених і шліфованих поверхонь також визначається оптичним методом за формою кривої розподілу світлорозсіювання [6]. Однак важливим недоліком цієї системи контролю якості покриття є те, що при цьому використовуються фотодіодні матриці зображення з низькою роздільною здатністю, що знижує точність визначення ступеня змочуваності поверхні фарбою. Також при цьому контролюються невеликі ділянки поверхні об'єкта.

Тому пропонується удосконалений метод контролю, згідно з яким основним комплексним показником якості фарби є ступінь змочуваності фарбою твердої поверхні. При цьому оптична система контролю аналізує швидкість розтікання фарби при її нанесенні на тверду поверхню. Для нанесення фіксованої кількості фарби використовується шприц-поршнева система і визначається швидкість зміни площі розтікання фарби за зміною інтенсивності кольору. При недостатньому змочуванні відбувається різке падіння інтенсивності колірності в центрі плями, тобто у місці крапельного нанесення фарби. Контроль повинен проводитися при постійній температурі фарби і поверхні, що тестується ( $20 \pm 2^\circ\text{C}$ ). Зображення плями залежить від роздільної здатності камери, яка визначається кількістю пікселів. Сучасні камери забезпечують можливість розрізнити різнокольорові плями в межах 0,1 мм, що перевищує роздільну здатність людського ока. Швидкість розтікання визначається вбудованим таймером комп'ютера і розрахунком різниці площі поверхні. Різні типи лакофарбових матеріалів та різні типи твердих поверхонь, на які вони наносяться, мають різні вимоги до їх розтікання. Тому доцільно контролювати та інтерпретувати результати контролю якості тестованої фарби шляхом порівняння швидкості її розтікання з еталонними значеннями, які отримані при розтіканні високоякісної фарби, яка крапельно наноситься на тверду контрольовану поверхню. При цьому різниця в показниках розтікання не повинна перевищувати 1%. Наприклад, було проведено дослідження червоної емалевої фарби ПФ-115, яка наносилася на поверхню металеві труби з шорсткістю Rz30. Ця фарба вважалася за еталон, оскільки використовувалася у період її терміну придатності, плівки на її поверхні не було і крапельне нанесення проводилося після її інтенсивного перемішування в упаковці. З дозатора наносили  $100 \text{ мм}^3$  фарби, виміряна швидкість її розтікання становила  $5 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Для порівняння була використана фарба тієї ж марки, але з вичерпаним терміном придатності, наявністю плівки на поверхні. Швидкість її розтікання становила  $0,5 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Тому для покращення характеристик фарби до її складу було додано розчинник марки 647 у співвідношенні 1:100. Це покращило її покривну здатність, але зменшило колірність, блиск, атмосферостійкість. При додаванні розчинника у співвідношенні 1:10 швидкість розтікання становила  $8 \text{ мм}^2/\text{с}$ , але інтенсивність кольору плями зменшилася на 10%, що свідчить про погіршення якості фарби.

Таким чином, можна визначити, у якому співвідношенні додавати розчинник, щоб якість покриття, колірність, товщина плівки та інші властивості фарби саме при нанесенні на конкретну поверхню задовольняли вимоги при певних заданих умовах використання. Також є можливість визначити непридатність фарби для застосування при невідповідності однієї чи декількох властивостей

Отже, за ступенем змочування лакофарбовим матеріалом досліджуваної поверхні твердого тіла можна визначити його якість. Використання оптичного методу контролю дає можливість одночасно виявляти в комплексі вище вказані властивості фарби, причому в режимі експрес-контролю.

**Висновки.** Таким чином, ступінь змочуваності поверхні фарбою враховує як властивості фарби, так і самої поверхні з врахуванням певних умов зовнішнього середовища. Тому дослідження утворення лакофарбової плівки на досліджуваній поверхні дає можливість дослідити якість фарби. Отже, доцільно розробити саме такий експрес-метод перевірки комплексного показника якості фарби, а також реалізувати цей метод на основі оптичного пристрою для проведення експрес-контролю в автоматизованому режимі, який дасть можливість у динаміці візуально здійснювати визначення швидкості процесу змочування конкретним лакофарбовим матеріалом конкретної поверхні твердого тіла при певних кліматичних умовах зовнішнього середовища.

#### Інформаційні джерела

1. ДСТУ ISO 12944-2019. Фарби та лаки. Захисні лакофарбові системи. [Чинний від 2019-13-05]. Вид. офіц. Київ, 2019.
2. Рудко В. М. Технічні вимоги до захисного лакофарбового покриття об'єктів підземних сховищ газу АТ «Укртрансгаз». Київ, 2023. 23 с.
3. Іванов С. В., Тітова Н. В., Трачевський В. В., Грушак З. В. Контроль якості лакофарбових матеріалів: підручн. Київ: НАУ, 2017. 452 с.
4. Павленко В. М. Дослідження методів випробування лакофарбового покриття на стійкість до корозії. Вісник машинобудування та транспорту. № 2. 2024. С. 127-133.
5. Дмитрів І. В. Оцінка якості лакофарбових матеріалів транспортних засобів // Вісник Кременчуцького національного університету ім. М. Остроградського. 2023. №. 3. С. 55-101.

6. Білинський Й. І. Класифікація методів крайового детектування зображень. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. 2017. С.161-169

7. Когут В. М., Витвицька Л. А. Обґрунтування вибору комплексного показника якості фарбового покриття. Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості». Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу. 2023. С. 285-286

**Kogut V., Vytvytska L.**

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

#### **DEVELOPMENT OF AN IMPROVED METHOD OF COMPLEX EXPRESS QUALITY CONTROL OF VARNISHES AND PAINTS**

*This article analyzed the main characteristics of different types of paints. Defined requirements for paint property depending on conditions and methods of use. Established the property list of paint and varnish materials that determine its quality. Defined dependence to property of paints from the type of shape, structure and porosity of the surfaces that they are applied on. The existing methods of control of individual properties of paints and varnishes are analyzed. The need to develop a comprehensive method of express quality control of paint and varnish material to ensure its quality control in the specific conditions of its application to a certain surface under the given conditions of use was substantiated. Based on a simulation of the process of wetting a certain surface with a paint and varnish material, it was established that with the help of this method, it is possible to control the quality of the paint and determine the conditions of its use. Substantiated that it is advisable to control the speed of the process of wetting a specific surface with paint in an automated mode based on an optical method, which makes it possible to perform express control of paint and varnish material in a dynamic visual mode.*

**Key words:** *paint and varnish material, quality, characteristics of paints, surface wettability, complex express quality control, wettability of a solid surface, optical method.*