

ОЦІНКА ЯКОСТІ ЛАКОФАРБОВИХ МАТЕРІАЛІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**Ігор Дмитрів**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри автомобільного транспорту

Національний університет «Львівська політехніка», вул. Степана Бандери, 12, Львів, Україна, 79000, Dmytriv_Ihor@ukr.net

ORCID: 0000-0002-5107-7273

Стаття присвячена дослідженню якості лакофарбових матеріалів різних цінкових сегментів. Проведені аналітичні дослідження показують, що більшість характеристик покриттів визначаються методами, що ґрунтуються на технологічних пробах. Довговічність покриттів визначають візуальним оглядом за різних умов експлуатації. Такий метод не дозволяє отримати достатньо інформативні дані, що характеризували б процес руйнації покриттів. Довговічність таких покриттів визначається хімічною природою компонентів, що входять до складу плівки, фізико-хімічними та механічними властивостями покриттів: адгезією, міцністю, еластичністю, проникністю та стійкістю в процесі експлуатації.

Фізико-механічні дослідження властивостей лакофарбових покриттів не дозволяють встановити механізм руйнації покриття, а відповідно і спрогнозувати їх довговічність. Дослідження внутрішніх напружень проводяться із використанням модельних систем (желатин, нітроцелюлоза та інші). Внутрішні напруження досліджуються лише на етапах формування покриття. Проведений аналіз літературних джерел демонструє відсутність досліджень, спрямованих на вивчення внутрішніх напружень в лакофарбових покриттів із врахуванням їх старіння, зумовленого експлуатаційними умовами. А отже, перспективним є напрямком вивчення внутрішніх напружень, що виникають в промислових зразках лакофарбових покриттів за їх формування і старіння та їхнього впливу на процес руйнації покриття. Відсутні наукові публікації, спрямовані на вивчення закономірностей механічного руйнування та розроблення науково-обґрунтованих методів та засобів створення покриття із достатньою механічною стійкістю. Розглянуто методику та проведені дослідження якісних характеристик лакофарбових матеріалів різних цінкових груп. Випробуванню на міцність піддавались багат шарові покриття (ґрунт та лак). Найвищу стійкість продемонстрували покриття IV групи – механічна руйнація наставала за падіння тягарця з висоти 30 см. Обґрунтований критерій узагальненого показника якості на основі експлуатаційних та технологічних показників.

Ключові слова: ударна міцність, механічна руйнація, лакофарбові матеріали, автомобільний транспорт.

Актуальність роботи. Ринок автомобільних лакофарбових матеріалів (ЛФМ) динамічно розвивається, оновлюється номенклатура, змінюються технології їх використання. Основним призначенням лакофарбового покриття є надійний захист металу від корозії, впливу атмосферного середовища та забезпечення естетичної якості. На сьогодні існує потреба в незалежній оцінці якості автомобільних ЛФМ за основними характеристиками: ударній міцності, міцності на згин та стійкості до атмосферних впливів. Відомі методи контролю характеристики ЛФМ передбачають необхідність отримання технологічних проб [1]. Довговічність покриття за різних умов експлуатації узагалі контролюють органолептичними методами [2]. За сучасного рівня розвитку цифрової техніки та систем вимірювання використання таких примітивних методів є недоцільним, оскільки вони не забезпечують отримання достатньої інформативності щодо характеру процесу руйнації покриттів. Жорстка основа призводить до виникнення внутрішніх напружень в ЛФМ. В процесі експлуатації транспортного

засобу ЛФМ, як і полімери, піддаються старінню, змінюється технічні властивості плівок [3–5].

Відомі дослідження процесів старіння лакофарбових покриттів шляхом дослідження хімічної складової процесу та частково фізико-механічних властивостей [6]. Проте ці дослідження не дозволяють встановити механізм руйнації покриття, а відповідно, і спрогнозувати їх довговічність. Усі хімічні процеси активізуються механічними напруженнями [7].

Дослідження внутрішніх напружень проводились із використанням модельних систем (желатин, нітроцелюлоза та інші). Внутрішні напруження досліджувались на етапах формування покриття. Аналіз літературних джерел [1–7] показує відсутність досліджень, спрямованих на вивчення внутрішніх напружень в лакофарбових покриттів із врахуванням їх старіння, зумовленого експлуатаційними умовами. Перспективним напрямком є дослідження внутрішніх напружень, що виникають в промислових зразках лакофарбових покриттів за їх формування та старіння та їхнього впливу на процес руйнації покриття.

На сьогодні немає робіт, присвячених вивченню закономірностей механічного руйнування та розробленню науково-обґрунтованих методів та засобів створення покриття із достатньою механічною стійкістю. Аналіз публікацій [1–7] дозволяє зробити висновок, що в більшості випадків самовільне розтріскування чи відшарування покриттів зумовлено внутрішніми напруженнями, які виникають в них на етапі формування та подальшої експлуатації.

Ряд досліджень присвячені процесу затвердіння покриття та виникнення в них внутрішніх напружень [8]. Недоліком даних робіт є відсутність аналітичного дослідження залежності між фізико-механічними та механічними властивостями покриттів та внутрішніми напруженнями на стадії затвердіння. Питання вивчення механізму формування полімерних та лакофарбових покриттів залишається достатньо актуальним та потребує подальшого дослідження. Необхідно удосконалити експериментальні методи дослідження.

ЛФМ – це речовина, що зберігається в певній ємності, а лакофарбове покриття – невід’ємна частина конкретного предмета. Зважаючи на це вони розглядаються як проміжні об’єкти по відношенню до автомобіля. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити значиму інформацію, отриману в результаті дослідження слідів контак-

тного впливу предметів. Реалізується можливість дослідження об’єкта в межах визначеного дослідження (морфологія та структура лакофарбового матеріалу та лакофарбового покриття). Часто дослідження лакофарбового матеріалу та лакофарбового покриття проводять в рамках комплексних експертиз. Усі результати дослідження проміжного об’єкта необхідно оцінювати в якості окремої ознаки. Розглянута сукупність проміжних об’єктів приводить до отримання інформації про об’єкт дослідження в цілому.

Закономірності ознак формуються на стадії виникнення (виготовлення) об’єкта та зумовлюються його призначенням. Для прикладу, вибір системи лакофарбового покриття, що наноситься в умовах заводу виготовлювача із матеріалів певного складу, характеризується типом транспортного засобу та майбутніми умовами експлуатації. До цієї категорії ознак відносять зміну складу, структури та морфології покриття, що відбувається під дією природних факторів навколишнього середовища.

Експлуатація покриття в умовах, що стимулюють виникнення внутрішніх напружень (перепад температур, сухе повітря, сонячна радіація), призводить до відшарування та утворення тріщин (рис. 1). Можна зробити висновок, що внутрішні напруження є основним джерелом механічних

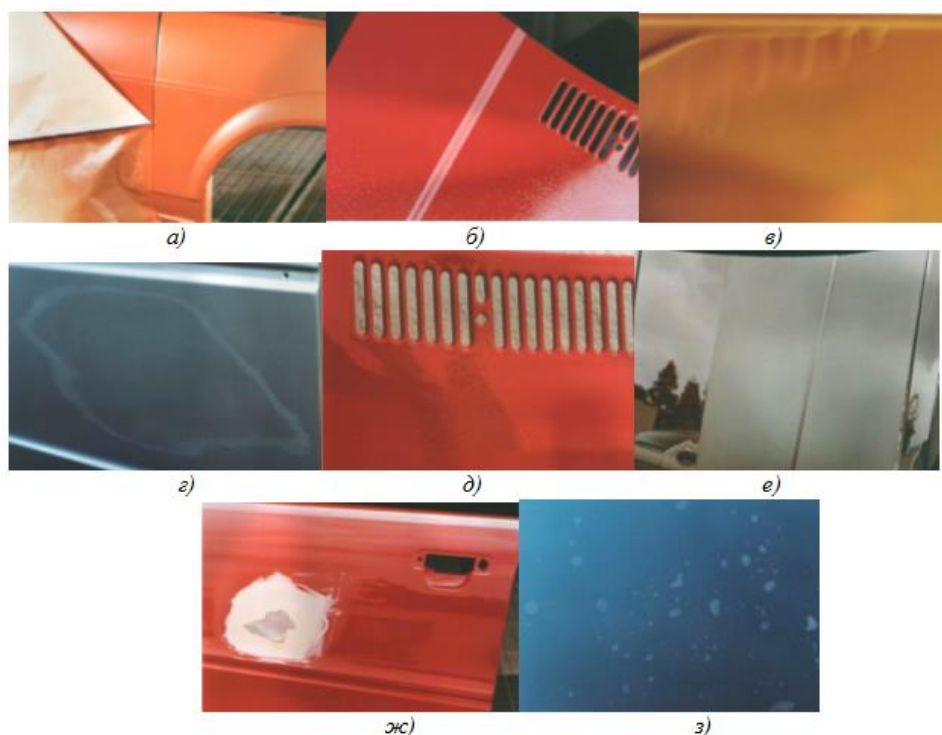


Рис. 1. Основні дефекти лакофарбового покриття: а) відхилення кольору; б) кратери; в) розтрікання фарби; г) здуття покриття; д) раковини; е) потемніння; ж) відшарування; з) водяні плями

пошкоджень лакофарбових покриттів. Процес зменшення товщини шару покриття та кородування прискорюється напруженнями.

Останні десятиліття велику увагу приділяють вивченню механічних властивостей плівок та покриттів. Визначалась еластичність покриттів, міцність та розривні подовження плівок. Ці дослідження зумовлені метою удосконалення технології виготовлення покриттів та потребою моделювання терміну служби покриттів у експлуатаційних умовах. Основною причиною розтріскування покриттів є внутрішні напруження. Проте, що дивно, ці напруження не досліджувались.

Були зроблені спроби прогнозування терміну служби покриттів за зменшенням розривних подовжень. Результати досліджень дозволили встановити, що для емалевих покриттів (нітроцелюлозних) перебування на відкритому повітря (2–3 місяці) зменшило на 90% розривні подовження, а розтріскування наступало через 3–4 роки.

Матеріал і результати досліджень. Для реалізації досліджень було зібрати інформацію про вартість автомобільних лакофарбових матеріалів станом на 01.12.2022 (рис. 2, 3) та розподілено їх за групами (табл. 1, 2).

Експериментальні дослідження проводились у відповідності до ДСТУ ISO 12944-9:2019 Фарби та лаки [9]. Суть методу полягає у визначенні максимальної висоти за падіння тягарця на пластину із лакофарбовим покриттям. Розмір контрольних пластин для проведення досліджень мали такі параметри: товщина – від 0,8 до 1 мм; ширина – від 90 до 70 мм; довжина – від 120 до 150 мм.

Випробуванню на міцність піддавались багатошарові покриття грунт+лак. Підготовані зразки витримувались за температури +20°C та нормальної вологості повітря. Отримані результати приведено на (рис. 4).

Випробування міцності на згин проведені аналогічно у відповідності до ДСТУ ISO 12944-9:2019 Фарби та лаки [9]. Зразки підля-

Таблиця 1

Цінові групи грунтів

Група	Назва грунту	Середня вартість, грн/л.
I	REOFLEX, VIKA, MOBHEL, AUTOLAK	340
II	Body, SOLID, USP, QUICKLINE	433
III	NOVOL, C.A.R. FIT, Duxone, Value-PRO	568
IV	SPIES HECKER, Dupont	788

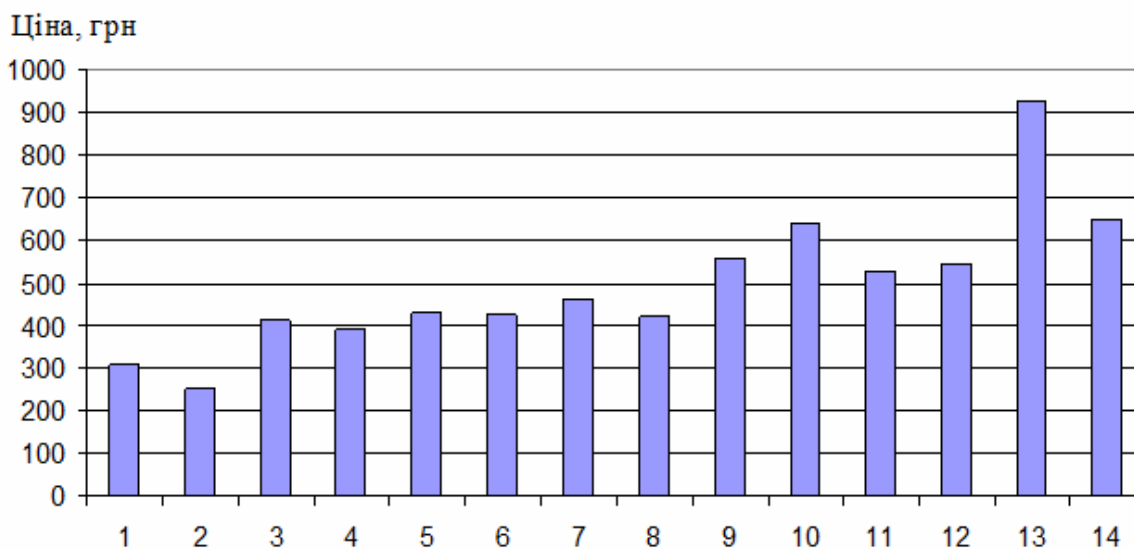


Рис. 2. Середня ринкова ціна автомобільних грунтів: 1 – REOFLEX; 2 – VIKA; 3 – MOBHEL; 4 – AUTOLAK; 5 – Body; 6 – SOLID; 7 – USP; 8 – QUICKLINE; 9 – NOVOL; 10 – C.A.R. FIT; 11 – Duxone; 12 – Value-PRO; 13 – SPIES HECKER; 14 – Dupont

Цінові групи лаків

Група	Назва ґрунту	Середня вартість, грн/л.
I	ILPA, DUXONE, REOFLEX, ARC	444
II	SOLID, USP, CARFIT, HELIOS	558
III	Brulex, NOVOL, U-POL, SOLID JET	637
IV	MIPA, SPIES, Dupont	1395

Ціна, грн

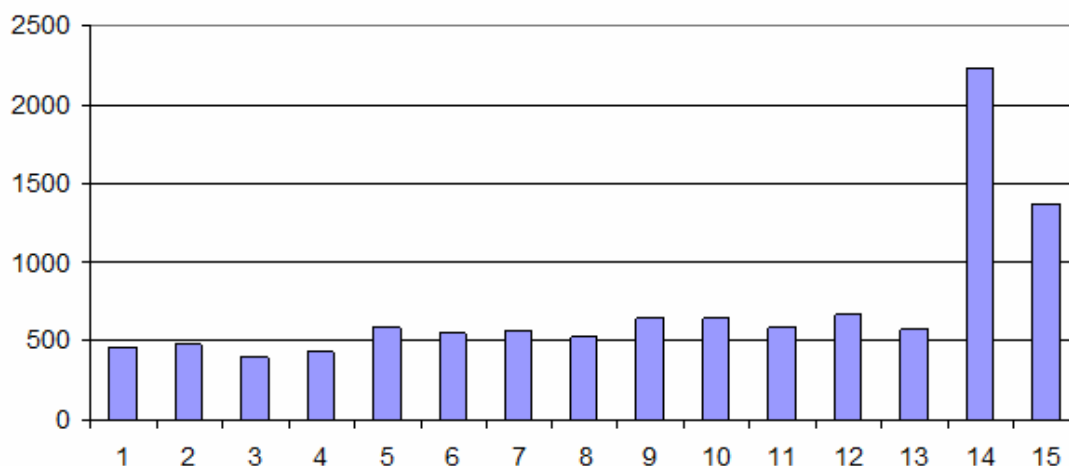


Рис. 3. Середня ринкова ціна автомобільних лаків: 1 – ILPA; 2 – DUXONE; 3 – REOFLEX; 4 – ARC; 5 – SOLID; 6 – USP; 7 – CARFIT; 8 – HELIOS; 9 – Brulex; 10 – NOVOL; 11 – U-POL; 12 – SOLID JET; 13 – MIPA; 14 – SPIES; 15 – Dupont

Висота, см

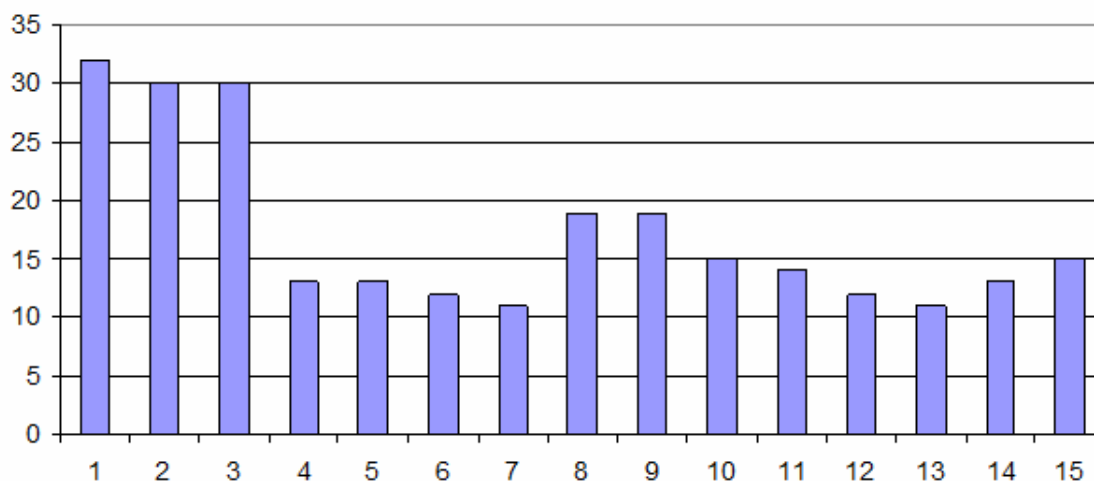


Рис. 4. Результати випробувань на міцність (руйнація покриття): 1 – Dupont; 2 – SPIES HECKER; 3 – MIPA; 4 – CARFIT; 5 – U-POL; 6 – USP; 7 – NOVOL; 8 – SOLID JET; 9 – Brulex; 10 – HELIOS; 11 – SOLID; 12 – ARC; 13 – ILPA; 14 – REOFLEX; 15 – DUXONE

гали випробуванню міцності ЛФП до розтріскування чи відшарування за згину навколо циліндричного стержня. Отримані результати подано на рис. 5.

Отримані експериментальних шляхом дані необхідно оцінити за параметром якості. Оцінка рівня якості проводиться за комплексних показником. Даний показник характеризує поєднання декількох властивостей. Комплексний метод оцінки рівня якості потребує використання комплексних (узагальнених) показників якості.

Комплексний показник характеризує взаємозв'язок властивостей, що утворюють якість (лакофарбових матеріалів) та подається одним числом. Розрахунок комплексного показника неможливий без коефіцієнтів вагомості. Зведений коефіцієнт якості для усіх лакофарбових матеріалів (дослідних) приведено на (рис. 6).

Графічне подання розрахованого коефіцієнта якості для чотирьох груп лакофарбових матеріалів представлено на рис. 7.

діаметр, мм

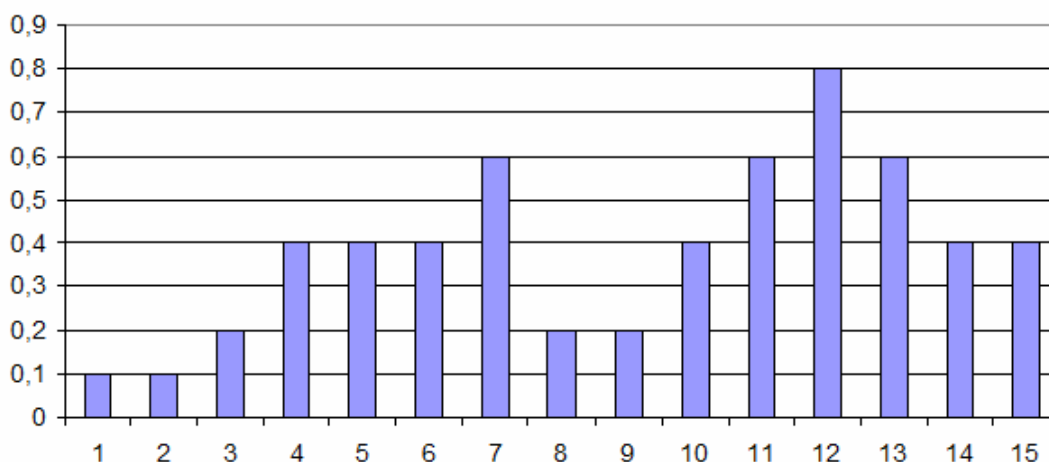


Рис. 5. Результати випробувань міцності на згин: 1 – Dupont; 2 – SPIES HECKER; 3 – MIPA; 4 – CARFIT; 5 – U-POL; 6 – USP; 7 – NOVOL; 8 – SOLID JET; 9 – Brulex; 10 – HELIOS; 11 – SOLID; 12 – ARC; 13 – ILPA; 14 – REOFLEX; 15 – DUXONE

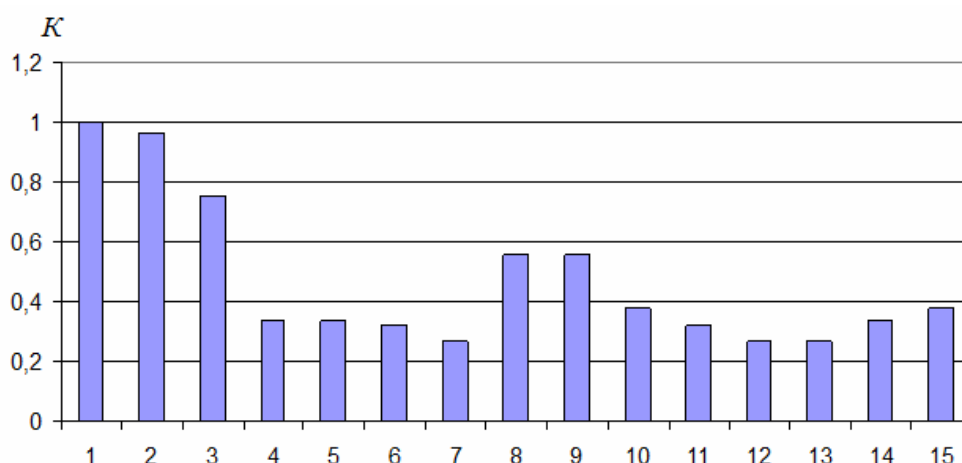


Рис. 6. Коефіцієнт якості ЛФМ: 1 – Dupont; 2 – SPIES HECKER; 3 – MIPA; 4 – CARFIT; 5 – U-POL; 6 – USP; 7 – NOVOL; 8 – SOLID JET; 9 – Brulex; 10 – HELIOS; 11 – SOLID; 12 – ARC; 13 – ILPA; 14 – REOFLEX; 15 – DUXONE

Аналіз показує (рис. 7), що лакофарбові матеріали 1 та 2 груп практично ідентичні за якістю. І за певних ситуацій можуть скласти конкуренцію 3 цінній групі. Розрахуємо функцію залежності коефіцієнта якості від вартості лакофарбових матеріалів. Для цього визначимо середнє значення коефіцієнта якості кожної групи (рис. 8). Функція отримана за допомогою STATISTICA 12 [10].

$$K_i = 0,0103 + 0,0006 \cdot x \quad (1)$$

Варто зауважити, що цінні групи не є однорідними за якістю лакофарбових матеріалів (різна якість). Клієнтоорієнтована концепція: недорогий лакофарбовий матеріал достатньої якості – можливий.

Висновки. Проведені дослідження якісних характеристик лакофарбових матеріалів різних

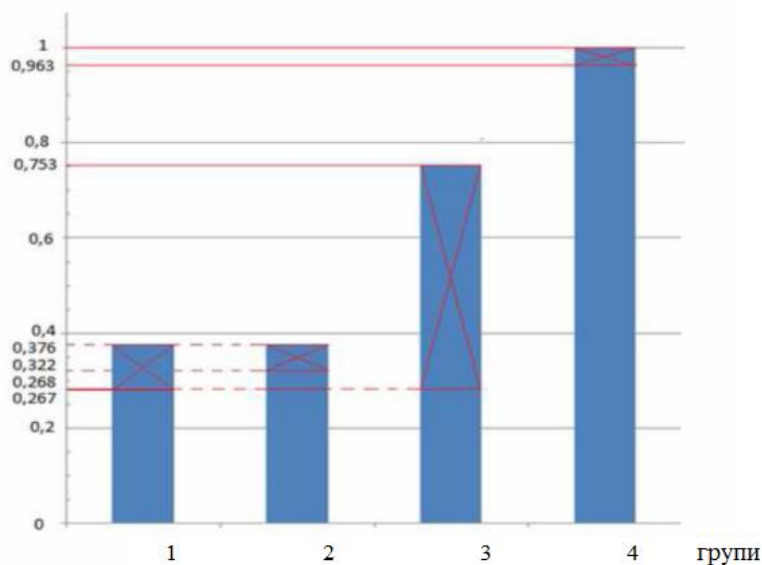


Рис. 7. Коефіцієнт якості за групами ЛФМ

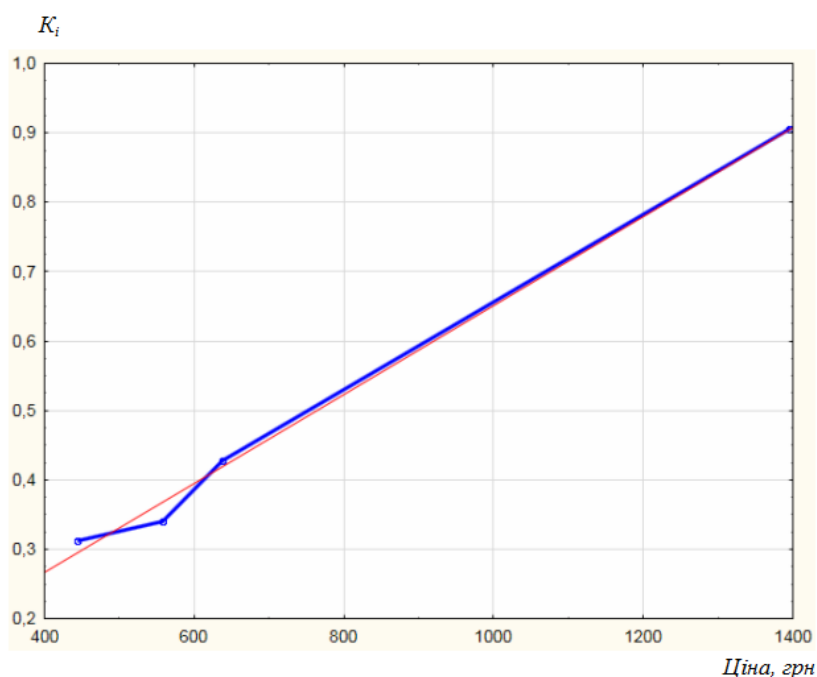


Рис. 8. Залежність коефіцієнта якості від ціни ЛФМ

цінових груп демонструють доцільність створення пакетів лакофарбових матеріалів відповідно до їх якісних характеристик та цінового сегменту. Отриманий критерій узагальненого показника якості на основі експлуатаційних та технологічних показників.

Виявлено залежність економічного ефекту від коефіцієнту якості лакофарбових матеріалів. Встановлено, що перехід на 1 групи лакофарбових матеріалів з 3 дає вигоду 126,3 грн лише на одній дверці. Перехід з 4 групи на 1 дозволяє заощадити 419,7 грн.

ЛІТЕРАТУРА

1. Mark E. Nichols. Anticipating paint cracking: The application of fracture mechanics to the study of paint weathering. *Journal of Coatings Technology*. Vol. 74. 2002. P. 39–46.
2. Ігор Кузєв, Володимир Драгобецький, Сергій Шлик. Морфологічний аналіз технологій ремонту кузовних і облицювальних деталей наземного транспорту. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 1/2022(132). С. 157–164.
3. EN ISO 6270-1:2001 PAINTS AND VARNISHES – DETERMINATION OF RESISTANCE TO HUMIDITY – PART 1: CONDENSATION (SINGLE-SIDED EXPOSURE). URL: https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/UNI-EN-ISO-6270-1-2001-1084156_SAIG_UNI_UNI_2524944/ (дата звернення: 10.07.2023).
4. EN ISO 9514:2005 Paints and varnishes – Determination of the pot life of multicomponent coating systems –

Preparation and conditioning of samples and guidelines for testing. URL: <https://www.iso.org/standard/37490.html> (дата звернення: 10.07.2023).

5. EN ISO 11341:2004 Paints and varnishes – Artificial weathering and exposure to artificial radiation – Exposure to filtered xenon-arc radiation. URL: <https://www.iso.org/standard/33045.html> (дата звернення: 10.07.2023).

6. Tony Misovski, Mark E. Nichols, Henry K. Hardcastle, The Influence of Water on the Weathering of Automotive Paint Systems. *Service Life Prediction of Polymeric Materials*. 2011. P. 295–308.

7. Манько Т.А., Сєдачова К.Г., Козіс Х.В. Селективний метод тверднення епоксидних сполучників для створення тонкостінних високоміцних конструкцій. *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*. Вип. 5/2021(130). С. 74–79.

8. J. Salcedo-Hernández et al. Predicting Enamel Layer Defects in an Automotive Paint Shop. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 114(2016). P. 22748–22757. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8970510> (дата звернення: 13.07.2023).

9. ДСТУ ISO 12944-9:2019 Фарби та лаки. Захист від корозії сталевих конструкцій захисними лакофарбовими системами. Частина 9. Захисні лакофарбові системи та лабораторні методи випробувань для офшорних і подібних конструкцій (ISO 12944-9:2018, IDT). URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91636 (дата звернення: 13.07.2023).

10. Дмитрів І.В. Автомобільний транспорт. Теорія і практика наукових досліджень : навчальний посібник. Національний університет «Львівська політехніка». Львів : СПОЛОМ, 2019. 316 с.

ASSESSMENT OF THE QUALITY OF VEHICLE PAINT MATERIALS

Ihor Dmytriv

PhD, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Motor Vehicle Transports
Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandera str., Lviv, Ukraine, 79000, Dmytriv_Ihor@ukr.net
ORCID: 0000-0002-5107-7273

The article is dedicated to the investigation of the quality of paint and varnish materials from different price segments. Analytical studies demonstrate that the majority of coating characteristics are determined using methods based on technological tests. The durability of coatings is assessed through visual inspections under various conditions of use. However, this method does not provide sufficiently informative data characterizing the coating degradation process.

The durability of such coatings is influenced by the chemical composition of the film components, as well as the physicochemical and mechanical properties of the coatings, including adhesion, strength, elasticity, permeability, and resistance during use.

Physical and mechanical studies of paint and varnish coatings do not allow for the determination of the coating's failure mechanism and, consequently, the prediction of their durability. Research into internal stresses is carried out using model systems such as gelatin, nitrocellulose, and others. Internal stresses are investigated only at the stages of coating formation.

The analysis of literary sources demonstrates the absence of research focused on studying internal stresses in paint and varnish coatings considering their aging due to operational conditions. Therefore, a promising direction is the study of internal stresses that arise in industrial samples of paint and varnish coatings during their formation and aging, and their influence on the coating's failure process.

Scientific publications aimed at studying the laws of mechanical failure and developing scientifically grounded methods and means for creating coatings with sufficient mechanical stability are also lacking.

The article discusses the methodology and research of qualitative characteristics of paint and varnish materials from different price groups. Multi-layer coatings (primer and varnish) underwent strength testing. The highest resistance was demonstrated by Group IV coatings – mechanical failure occurred when a load was dropped from a height of 30 cm. A justified criterion for the generalized quality index is based on operational and technological indicators.

Key words: impact strength, mechanical destruction, paint and varnish materials, automobile transport.

REFERENCES

1. Mark E. Nichols. (2002). Anticipating paint cracking: The application of fracture mechanics to the study of paint weathering. *Journal of Coatings Technology*, Vol. 74, 39-46.
2. Ihor Kuziev, Volodymyr Drahobetskyi, Sergii Shlyk, Dmytro Moloshtan. (2022). Morfolohichniy analiz tekhnolohii remontu kuzovnykh i oblytsiuvalnykh detalei nazemnoho transportu [A morphological analysis of repair technologies for body and facing parts of ground transport]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Transactions of KrNU Mykhailo Ostrohradskyi*, Vol. 1 (132), 157-164 [in Ukrainian].
3. EN ISO 6270-1:2001 PAINTS AND VARNISHES – DETERMINATION OF RESISTANCE TO HUMIDITY – PART 1: CONDENSATION (SINGLE-SIDED EXPOSURE). Retrieved from https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/UNI-EN-ISO-6270-1-2001-1084156_SAIG_UNI_UNI_2524944/.
4. EN ISO 9514:2005 Paints and varnishes – Determination of the pot life of multicomponent coating systems – Preparation and conditioning of samples and guidelines for testing. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/37490.html>.
5. EN ISO 11341:2004 Paints and varnishes – Artificial weathering and exposure to artificial radiation – Exposure to filtered xenon-arc radiation. Retrieved from <https://www.iso.org/standard/33045.html>.
6. Tony Misovski, Mark E. Nichols, Henry K. Hardcastle. (2011). The Influence of Water on the Weathering of Automotive Paint Systems. *Service Life Prediction of Polymeric Materials*, 295-308.
7. Manko T.A., Siedachova K.H., Kozis Kh.V. (2021). Selektivnyi metod tverdnennia epoksydnykh spoluchnykiv dlia stvorennia tonkostinnykh vysokomitsnykh konstruksii [Selective method of curing epoxy binders for the creation of thin-walled highstrength structures]. *Visnyk KrNU imeni Mykhaila Ostrohradskoho. Transactions of KrNU Mykhailo Ostrohradskyi*, Vol. 5 (130), 74-79 [in Ukrainian].
8. J. Salcedo-Hernández et al. (2016). Predicting Enamel Layer Defects in an Automotive Paint Shop. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering (Vols. 114)*, (pp. 22748-22757). Retrieved from <https://ieeexplore.ieee.org/document/8970510>
9. Farby ta laky. Zakhyst vid korozii stalevykh konstruksii zakhysnymy lakofarbovymy systemamy. Chastyna 9. Zakhysni lakofarbovi systemy ta laboratorni metody vyprobuvan dlia ofshornykh i podibnykh konstruksii (ISO 12944-9:2018, IDT) [Paints and varnishes. Protection against corrosion of steel structures by protective paint systems. Part 9. Protective paint systems and laboratory test methods for offshore and similar structures]. (2019). *DSTU ISO 12944-9:2019*. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=91636 [in Ukrainian].
10. Dmytriv I.V. (2019). Avtomobilnyi transport. Teorija i praktyka naukovykh doslidzhen [Automobile transport. Theory and practice of scientific research.]. Lviv : SPOLOM [in Ukrainian].

Стаття надійшла 13.06.2023