

УДК 65.018

[https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.364-370](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.364-370)**Л. А. Тарандушка**, проф., д-р техн. наук, **І. П. Тарандушка***Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна,**e-mail: tarandushkal@ukr.net*

Розробка морфологічної матриці системи нанесення лакофарбового покриття для забезпечення можливості прогнозування якості відновлювального лакофарбового покриття на кузовних деталях автомобіля

На основі методу морфологічного аналізу розроблено морфологічну матрицю, що описує систему нанесення лакофарбового покриття, яка складається з морфологічних структур та морфологічних ознак для можливості прогнозування якості лакофарбового покриття на кузовних деталях, що підлягають ремонту. Градація кількісних варіантів морфологічних ознак визначалася за допомогою методу кількісних оцінок. Поєднання окремих варіантів усіх морфологічних ознак формує нову морфологічну структуру системи нанесення лакофарбового покриття.

лакофарбове покриття, відновлення, морфологічна матриця, якість

Постановка проблеми. Підвищення ефективності роботи малярно-кузовного сервісу за рахунок забезпечення необхідних умов для отримання якісного лакофарбового покриття є важливою складовою систем автосервісу, що надають послуги з відновлення кузовних деталей.

Фарбування є складним технологічним процесом, що потребує від працівників глибокого розуміння як теоретичних аспектів, так і практичних деталей його виконання. Цей процес охоплює низку етапів – від первинного огляду та оцінки обсягу ремонту до завершального полірування. Важливо дотримуватися встановленої послідовності дій і точно виконувати всі необхідні дії на кожному етапі, щоб забезпечити якісне лакофарбове покриття, яке відповідає за кольором з неремонтованими частинами кузова [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У публікації Гнатова А.В. та Аргуна Щ.В. [2] було проаналізовано чинники, що впливають на якість ремонту кузова автомобілів, а також розроблено схему взаємозв'язку основних етапів цього процесу. Авторами запропоновано методику комплексного оцінювання якості кузовного ремонту, що базується на анкетуванні як замовників, так і виконавців робіт.

У дослідженні [3] розглядається ефективне використання ресурсів малярно-кузовного цеху, проводиться класифікація ресурсних втрат та пропонуються методи їх виявлення. У роботі [4] подано модель управління якістю технічного обслуговування та ремонту автомобілів, а також визначено ключові параметри, що впливають на якість наданих послуг. Дослідники Molina J, Solanes J. E., Arnal L. та Tornero J. [5] розглядали шляхи зниження витрат і підвищення якості малярно-кузовних робіт під час ремонту легкових автомобілів шляхом оптимізації характеристик комплектуючих елементів фарбувально-сушильних камер. Тригуб О.А. розглядає обладнання, що використовується для якісного нанесення лакофарбового покриття [6].

В роботах [7-9] розглянуто технології та методики моніторингу показників якості технічного обслуговування та ремонту автомобілів.

В [10] досліджено технічні характеристики фарборозпилювачів.

Постановка завдання. Таким чином метою даного дослідження є розробка морфологічної матриці системи нанесення лакофарбового покриття на основі базових її параметрів для забезпечення можливості прогнозування якості лакофарбового покриття, кузовних деталей автомобілів, що ремонтуються.

Виклад основного матеріалу.

Фарбування є одним із основних методів захисту кузова автомобіля від корозійних процесів, а також забезпечує привабливий зовнішній вигляд транспортного засобу. Захисна функція лакофарбового покриття (ЛФП) полягає в утворенні на металевій поверхні суцільної захисної плівки. Ця плівка ізолює метал від зовнішніх впливів, запобігаючи проникненню агресивних середовищ до основи й тим самим захищає її від корозії. Ефективність ЛФП залежить від низки чинників: сили зчеплення плівки з основою, її цілісності, дії пігментів та інших фізико-хімічних характеристик. У сукупності ці властивості визначають загальний рівень антикорозійного захисту.

У виробничому процесі фарбування відіграє важливу роль, займаючи до 10% від загального обсягу трудових витрат. Це пояснюється складністю лакофарбових систем, що використовуються в автомобілебудуванні. Вони включають кілька шарів – ґрунтовки, емалі, лаки – кожен із яких має власну технологію нанесення та сушіння. Сучасні системи покриттів представляють собою комплексні багатошарові рішення, що включають матеріали для підготовки основи, проміжних шарів і остаточного декоративного покриття.

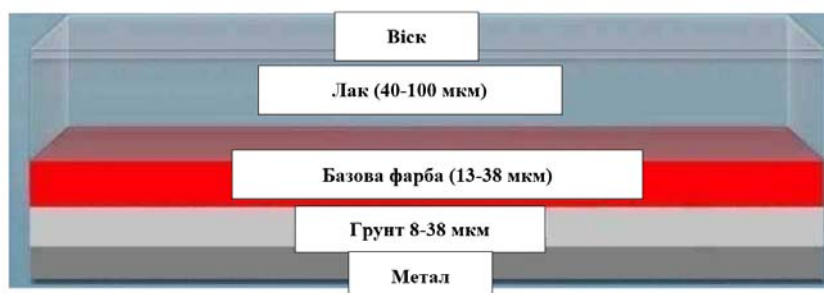


Рисунок 1 - Структура лакофарбового покриття

Джерело: розроблено авторами

Структура автомобільного лакофарбового покриття передбачає поетапне виконання всіх стадій фарбування, що включає попередню підготовку металевої поверхні, ґрунтування, шпаклювання, а також нанесення проміжного та остаточного шару фарби.

Більшість компаній-виробників лакофарбових матеріалів для автомобільного сегменту пропонують повні комплексні системи, до складу яких входять усі необхідні компоненти для відновлення покриття: ґрунти, шпаклівки, базові емалі, лаки, а також відповідні розріджувачі та затверджувачі.

Фарбування кузовних елементів автомобіля є складним і трудомістким технологічним процесом, успішне виконання якого можливе лише за умови чіткого дотримання технологічних норм. Підготовка поверхні деталі до фарбування починається зі шліфування залишків попереднього лакофарбового покриття за допомогою мокрого або сухого абразивного оброблення зернистістю Р120. У випадку виявлення слідів корозії їх обробляють до чистого металу. Усі зони, що підлягали виправленню або рихтуванню, а також прилеглі ділянки шліфують для забезпечення рівномірного переходу між відновленою та оригінальною частиною покриття.

Подальше шліфування проводиться абразивом зернистістю P180-400. Результатом цього процесу є отримання поверхні, яка повністю готова до нанесення нового шару фарби (рис.2).

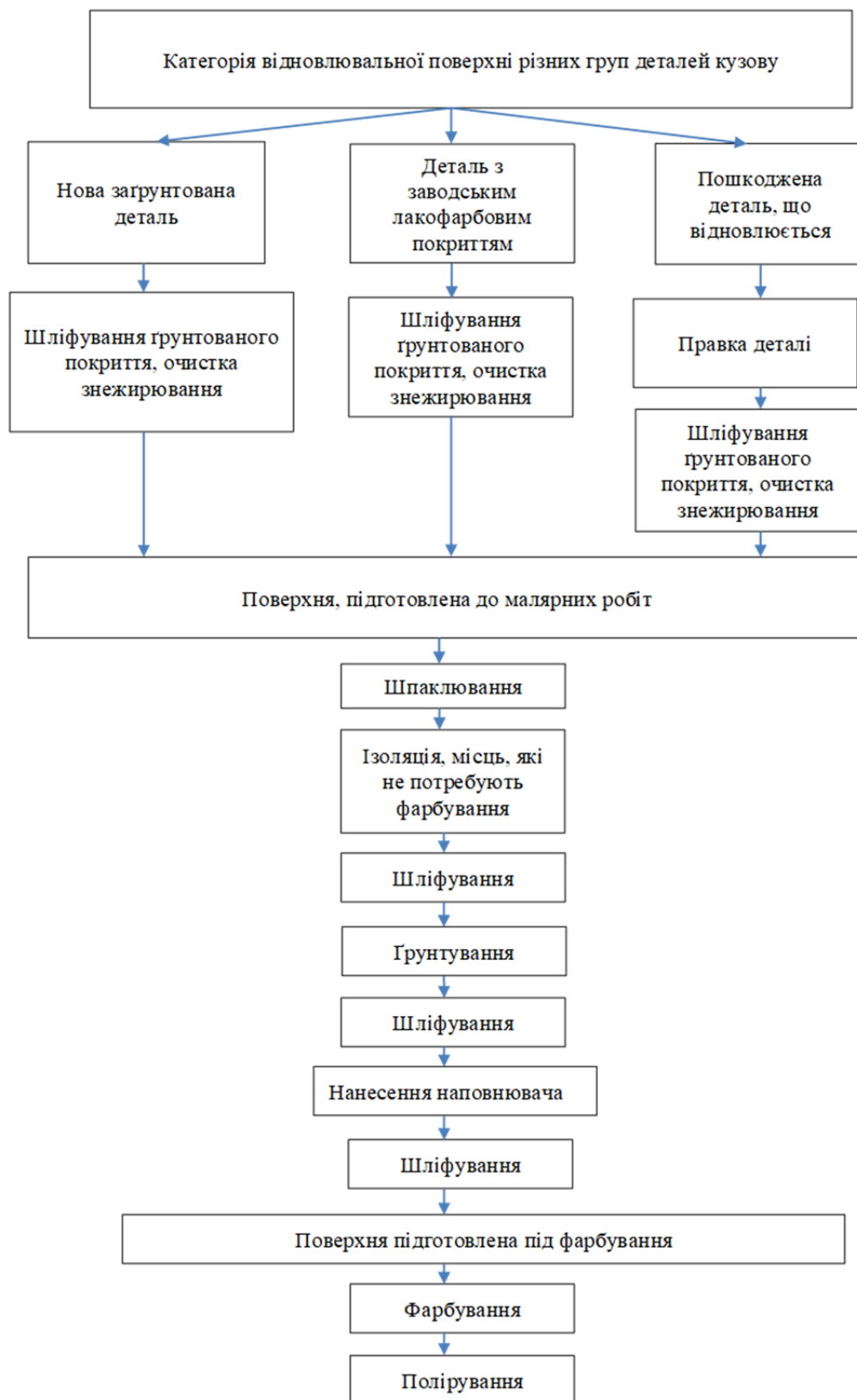


Рисунок 2 – Схема процесу підготовки поверхні до фарбування

Джерело: розроблено авторами

На етапі підготовки кузовних елементів до фарбування виконуються такі основні операції: нанесення шпаклівки, захист елементів, що не підлягають фарбуванню, шліфування зашпакльованих зон, ґрунтування з подальшим шліфуванням, а також нанесення і обробка ґрунту-наповнювача.

Залежно від виду ремонту лакофарбового покриття використовують різні типи шпаклівок, які відрізняються між собою за зернистістю, наповненістю, еластичністю та стійкістю до механічних пошкоджень. Серед них – скловолокнисті, алюмінієві, легкі, пластичні шпаклівки, а також спеціальні варіанти з пластифікаторами для деталей із пластику. При їх застосуванні важливо суворо дотримуватись технологічних рекомендацій виробника.

Після вирівнювання шпаклівки наносять шар ґрунту, який забезпечує заповнення мікротріщин і покращує зчеплення наступних шарів покриття. Існують різні види ґрунтовок: антикорозійні, наповнювачі, ізолятори – кожен із них має свій хімічний склад і технологію нанесення.

Одним із важливих моментів у ремонті є точний підбір кольору фарби. Для цього автовиробники розробляють системи ідентифікації кольорів, які включають коди та назви, що зазвичай розміщуються на спеціальних табличках на кузові. Повна інформація про відтінки також надається в каталогах.

Процес підбору кольору здійснюється на основі рецептур, запропонованих виробниками лакофарбових матеріалів. Для досягнення максимальної відповідності фактичному кольору застосовуються спеціалізовані системи підбору, що включають програмне забезпечення та відповідне обладнання.

Фарбування виконується у фарбувальних камерах з використанням професійних пістолетів-розпилювачів. Перед фарбуванням поверхню ретельно очищують засобами для видалення смол та силікону, а також протирають спеціальною тканиною, що утримує пил. Зазвичай фарба наноситься у два шари: другий шар – після висихання першого. Після завершення нанесення останнього шару виконується сушка, і лише тоді деталь можна монтувати. Як правило, поверхню додатково покривають прозорим лаком. Повна стабілізація фарби триває 7–10 днів, після чого допускаються зовнішні впливи, такі як миття автомобіля.

Для визначення шляхів вдосконалення якості лакофарбового покриття застосовуємо метод морфологічного аналізу. За допомогою цього методу можливо систематизувати дані, які забезпечують процес нанесення лакофарбового покриття та виконати аналіз можливих їх конфігурацій.

Для отримання якісного лакофарбового покриття на поверхні автомобільних деталей, що відновлюються, необхідно враховувати фактори, що впливають на якість цього покриття. Для максимального врахування основних факторів та визначення ступеня їхньої важливості пропонується розробити морфологічну матрицю. В ході дослідження було виявлено морфологічні структури, від яких залежить якість лакофарбового покриття, а саме: «Фарбувальна камера», «Фарборозпилювачі», «Джерело стисненого повітря», «Матеріал, що наноситься», «Технологія нанесення покриття».

Отже, необхідно описати кожен морфологічний елемент морфологічними ознаками.

Морфологічну структуру «Фарбувальна камера» можна описати морфологічними ознаками: «1. Вентиляція», «2. Освітлення», «3. Теплообмінник», «4. Піч полімеризації (принцип роботи)». Морфологічна ознака «Вентиляція» має три можливих варіанти, що застосовуються в системах автосервісу, а саме: 1.1. Припливно-втяжна; 1.2. Одномоторна; 1.3. Двомоторна.

Морфологічна ознака «2. Освітлення» має три можливих варіанти, що регламентуються будівельними стандартами, а саме: 2.1. Стінове; 2.2. Стельове; 2.3.

Стінове + Стельове.

Морфологічними ознака «3. Теплообмінник» описує принцип роботи фарбувальної камери і має два можливі варіанти: 3.1. Рекуперативний та 3.2. Регенеративний.

Морфологічна ознака «4. Піч полімеризації (принцип роботи)» в описі фарбувальної камери може приймати один з трьох варіантів: 4.1. Відсутня піч полімеризації; 4.2. Конвективний принцип роботи печі; 4.3. Променистий теплообмін (інфрачервоний) принцип роботи печі.

Морфологічну структуру «Фарборозпилювачі» можна описати морфологічними ознаками: «5. Подача фарби» та «6. Розмір дюзи, мм». Відповідно, морфологічна ознака «5. Подача фарби» може приймати два значення: 5.1. Самоплинна; 5.2. Під тиском. Морфологічна ознака «6. Розмір дюзи, мм» описується трьома можливими варіантами: 6.1. 1,2мм; 6.2. 1,3 -1,6 мм; 6.3. 1,4-1,7 мм.

Морфологічну структуру «Джерело стисненого повітря» описуємо двома морфологічними ознаками: «7. Тип джерела», що може приймати два можливі варіанти: 7.1. Компресор та 7.2. Турбіна, а також та «8. Потужність, мПа», що може приймати один з трьох варіантів: 8.1. Мала потужність в діапазоні 0-0,19 мПа; 8.2. Оптимальна потужність в діапазоні 0,20 - 0,30 мПа та 8.3. Надмірна потужність в діапазоні 0,31-0,60 мПа.

Морфологічна структура «Матеріал, що наноситься» описується п'ятьма морфологічними ознаками: «9. Тип матеріалу», «10. Тип розріджувача», «11. Кількість розріджувача», «12. Кількість затверджувача», «13. Температура матеріалу, ».

Морфологічна ознака «9. Тип матеріалу» може приймати один з трьох варіантів 9.1. Лак; 9.2. Рідка фарба; 9.3. Порошкова фарба.

Морфологічна ознака «10. Тип розріджувача» описується одним з трьох можливих варіантів: 10.1. Відсутній; 10.2. Повільний; 10.3. Швидкий.

Морфологічна ознака «11. Кількість розріджувача» розраховується як відношення кількості матеріалу, що наноситься до кількості розріджувача та може приймати значення: 11.1. Мала в діапазоні 0-0,19; 11.2. Оптимальна 0,2; 11.3. Велика в діапазоні 0,21-0,3; 11.4. Надмірна в діапазоні 0,31-1,0.

Морфологічна ознака «12. Кількість затверджувача» визначається як частка від кількості матеріалу, що наноситься та може приймати значення: 12.1. Мала в діапазоні 0-0,49; 12.2. Оптимальна 0,5; 12.3. Висока в діапазоні 0,51-0,6; 12.4. Надмірна в діапазоні 0,61-1,0.

Морфологічна ознака «13. Температура матеріалу, » може приймати три варіанти: 13.1. Низька в діапазоні 15-19 ; 13.2. Оптимальна в діапазоні 20-22 ; 13.3. Висока в діапазоні 23-27 .

Морфологічну структуру «Технологія нанесення покриття» можна описати трьома морфологічними ознаками: «14. Техніка нанесення»; «15. Відстань від фарбопульта до основи, см»; «16. Кількість шарів».

В свою чергу, морфологічна ознака «14. Техніка нанесення» може описуватися трьома варіантами: 14.1. Вертикально; 14.2. Горизонтально; 14.3. Вертикально + Горизонтально.

Морфологічна ознака «15. Відстань від фарбопульта до основи, см» може приймати одне з трьох значень: 15.1. 10-19 см; 15.2. 20-9 см; 15.3. 30-40 см.

Морфологічна ознака «16. Кількість шарів» може описуватися трьома варіантами: 16.1. - 1; 16.2. - 2; 16.3 - 3.

Отже, для кожної з 16 морфологічних ознак визначено варіанти реалізації, що представлені в табл. 1, тобто система нанесення лакофарбового покриття описується морфологічною матрицею (табл.1).

Таблиця 1 – Морфологічна матриця системи нанесення лакофарбового покриття

Фарбувальна камера				Фарбопульти (фарборозпилювачі)		Джерело стисненого повітря		Матеріали, що наносяться					Технологія нанесення покриття		
1. Вентиляція	2. Освітлення	3. Теплообмінник	4. Пін полімеризації (принцип роботи)	5. Подача фарби	6. Розмір дюзи, мм	7. Тип джерела	8. Потужність, мПа	9. Тип матеріалу	10. Тип розсіювача	11. Кількість розсіювача	12. Кількість затверджувача	13. Температура матеріалу, °C	14. Техніка нанесення	15. Відстань від фарбопульта до основи, см	16. Кількість шарів
1.1. Приплив но-витажна 1	2.1. Стінове 1	3.1. Рекупера-тивний 1	4.1. Відсутня 1	5.1. Сомотьок ові 1	6.1. 1,2 1	7.1. Компрес-ор 1	8.1. Мала 0-0,19	9.1. Лак 1	10.1. Відсутній 1	11.1. Мала 0-0,19	12.1. Мала 0-0,49	13.1. Низька 15-19	14.1. Вертикаль-но 1	15.1. 10-19	16.1. 1
1.2. Одно-моторна 2	2.2. Стельове 2		4.2. Конвектив-ний 2		6.2. 1,3-1,6 2		8.2. Оптима-льна 0,20-0,30	9.2. Рідка фарба 2	10.2. Повільний 2	11. Оптимал-на 0,2			14.2. Горизонта-льно 2	15.2. 20-29	
1.3. Дво-моторна 3	2.3. Стельове +стінове 3	3.2. Регенера-тивний 2	4.3. Промени-стий теплооб-мін (інфрачер-воний) 3	5.2. Під-тиском 2	6.3. 1,4-1,7 3	7.2. Турбіна 2	8.3. Надмірна 0,31-0,60	9.3. Порошко-ва фарба 3	10.3. Швидкий 3	11.3. Велика 0,21-0,3	12.2. оптима-льна 0,50	13.2. Оптима-льна 20-22	14.3. Вертикаль-но+Горизо-нтально 3	15.3. 30-40	16.2. 2
										11.4. Надмірна 0,31-1	12.3. Висока 0,51-0,60	13.3. Висока 23-27			16.3. 3
										12.4. Надмірна 0,61-1					

Висновки. В результаті аналізу технологій відновлення лакофарбового покриття кузовних деталей автомобілів було розроблено морфологічну матрицю системи нанесення лакофарбового покриття на основі базових її параметрів. Використовуючи морфологічну матрицю стає можливим проводити аналіз будь-якої комбінації морфологічних ознак та обрати найкращу з них для забезпечення високої якості поверхні лакофарбового покриття кузовних деталей автомобіля після їх відновлення.

Список літератури

1. Тарандушка Л. А. Організація проведення обов'язкового технічного контролю автотранспортних засобів. Черкаси : Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2025. 144 с.
2. Гнатов А.В., Аргун І.В. Сучасні технології зовнішнього магнітноімпульсного кузовного ремонту автомобілів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 4. С.103-108.
3. Kipriyanov F. A., Shushkov R. A., Mikhailov A. S. Quality research of paintwork of Volkswagen Tuareg car body elements June 2020 IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 832(1), 012008. DOI:10.1088/1757-899X/832/1/012008.
4. Тарандушка Л.А. Побудова функціональної моделі автосервісного підприємства. *Вісник Національного транспортного університету*. 2020. №1(46). С. 333–340.
5. Molina J, Solanes J E, Arnal L and Tornero J (2017) On the detection of defects on specular car body surfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, p. 263–78. doi:10.1016/j.rcim.2017.04.009.
6. Тригуб О. А. Технологічне обладнання для обслуговування та ремонту автомобілів : навч. посіб. Черкаси : ЧДТУ, 2021. – 187 с.
7. Тарандушка Л.А. Технологія моніторингу показників якості технічного обслуговування та ремонту автомобілів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2014. №1(71). С.116-122.
8. Leopoldo Pedro Guimarães Filho; Vilson Menegon Bristot; Sara Pizzolo Silva; Edison Uggioni; Vilmar Menegon Bristot (2019) The Analysis of the Quality Indicator of the Paint Process of a Metalmechanical Industry. *International Journal for Innovation Education and Research*, 7(4), p.342-358. DOI:10.31686/ijer.Vol7.Iss4.1421.
9. Форнальчик Є. Ю. Основи технічного сервісу транспортних засобів. Львівська політехніка, 2017. 324 с.

10. Maximilian Kuhnhenh, Max F. Luh, Tórstein V. Joensen, Mads Reck, Ilia V. Roisman, Cameron Tropea Modelling of the breakup process of viscous fluids by a high-speed rotary atomizer. *Experiments in Fluids*, Volume 59, article number 117. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00348-018-2573-5>

References

1. Tarandushka, L.A. (2025). *Orhanizatsiia provedennia obov'iazkovoho tekhnichnoho kontroliu avtotransportnykh zasobiv*. Cherkasy: Vertykal', vydavets' Kandych S.H. [in Ukrainian].
2. Hnatov, A.V., & Arhun, Sh.V. (2015). Suchasni tekhnologii zovnishnoho mahitnoimpulsnoho kuzovnoho remontu avtomobiliv. *Visnyk Vinnyts'koho politekhnichnoho instytutu*, (4), 103–108 [in Ukrainian].
3. Kipriyanov, F.A., Shushkov, R.A., & Mikhailov, A.S. (2020). Quality research of paintwork of Volkswagen Tuareg car body elements. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 832(1), 012008. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/832/1/012008>
4. Tarandushka, L.A. (2020). Pobudova funktsional'noi modeli avtoservisnoho pidpriemstva. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu*, 1(46), 333–340 [in Ukrainian].
5. Molina, J., Solanes, J.E., Arnal, L., & Tornero, J. (2017). On the detection of defects on specular car body surfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 44, 263–278. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2017.04.009>
6. Tryhub, O.A. (2021). *Tekhnologichne obladnannia dlia obsluhovuvannia ta remontu avtomobiliv: navch. posib*. Cherkasy: ChDTU [in Ukrainian].
7. Tarandushka, L.A. (2014). Tekhnologhiia monitorynhu pokaznykiv yakosti tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu avtomobiliv. *Visnyk Chernihivs'koho derzhavnoho tekhnologichnoho universytetu. Seriia "Tekhnichni nauky"*, 1(71), 116–122 [in Ukrainian].
8. Guimarães Filho, L.P., Bristot, V.M., Silva, S.P., Uggioni, E., & Bristot, V.M. (2019). The analysis of the quality indicator of the paint process of a metalmechanical industry. *International Journal for Innovation Education and Research*, 7(4), 342–358. <https://doi.org/10.31686/ijer.Vol7.Iss4.1421>
9. Fornal'chyk, Ye.Yu. (2017). *Osnovy tekhnichnoho servisu transportnykh zasobiv*. Lviv: Lvivs'ka politekhnika [in Ukrainian].
10. Kuhnhenh, M., Luh, M.F., Joensen, T.V., Reck, M., Roisman, I.V., & Tropea, C. (2018). Modelling of the breakup process of viscous fluids by a high-speed rotary atomizer. *Experiments in Fluids*, 59, Article 117. <https://doi.org/10.1007/s00348-018-2573-5>.

Liudmyla Tarandushka, Prof., DSc., **Ivan Tarandushka**

Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Development of a Paint Application System Morphological Matrix for Enable Prediction of Restoration Paint Coating Quality on Car Body Parts

Increasing the efficiency of the bodywork service by ensuring the necessary conditions for obtaining high-quality paintwork is an important component of car service systems that provide bodywork restoration services. Improving the quality of the paintwork of repaired car body parts leads to a reduction in the costs of car service systems and an increase in their operating efficiency.

As a result of the analysis of technologies for restoring the paintwork of car body parts, a scheme of the surface preparation process for painting was developed, consisting of the technological process operations for restoring the paintwork. If we assume that all preparatory operations for applying the paintwork are performed qualitatively, then it is possible to describe the paintwork application system by determining its significant parameters and, based on the morphological analysis method, develop a morphological matrix describing this system. The morphological matrix of the paintwork application system consists of morphological structures and morphological features by which this system is described. The gradation of quantitative variants of morphological features was determined using the method of quantitative assessments. The combination of individual variants of all morphological features forms a new morphological structure of the paint and varnish application system. That is, the morphological matrix allows describing all existing, as well as form new, more effective structures of paint and varnish application systems.

This matrix is used to predict the quality of the paint and varnish coating on body parts to be repaired, taking into account the initial parameters of the paint and varnish application system. To determine the most significant morphological features of the system, it is necessary to conduct an examination of at least 20 systems of different morphological structure and use the Farrar-Glober algorithm to determine independent parameters and select the most significant ones among them.

paint coating, restoration, morphological matrix, quality

Одержано (Received) 11.04.2025

Прорецензовано (Reviewed) 02.05.2025

Прийнято до друку (Approved) 06.05.2025