

Л.А. Тарандушка, проф., д-р техн. наук, І.П. Тарандушка, ст. викл.
Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна
e-mail: tarandushkal@ukr.net; tarandushka@ukr.net

Розробка методики забезпечення якісного лакофарбового покриття під час виконання малярно-кузовних робіт в системах автосервісу

Розроблено методику за допомогою якої стає можливим визначати якість лакофарбового покриття в системах автосервісу. Дана методика основана на визначенні важливих параметрів, які описують технологічний процес нанесення лакофарбового покриття. На основі алгоритму Фаррара-Глобера виокремлено серед 16 параметрів системи 8 незалежних, що впливають на якість покриття та визначено ступінь їх вагомості. Виокремлення незалежних параметрів сприяло побудові адекватної моделі прогнозування якості лакофарбового покриття. Це дає можливість організувати конкурентоздатні системи автосервісу з відновлення лакофарбових покриттів транспортних засобів.

параметри, системи автосервісу, лакофарбові покриття, математична модель

Постановка проблеми. Фарбування автомобіля – складний технологічний процес. Даний процес включає в себе багато етапів, починаючи від огляду та оцінки можливості виконання кузовного ремонту і закінчуючи фінішним поліруванням. Правильна черговість виконання робіт та дотримання всіх необхідних параметрів технологічного процесу відновлення – це гарантія отримання якісного лакофарбового покриття. Відновленням зовнішнього вигляду автомобілів після дорожньо-транспортних пригод або автомобілів з вторинного ринку Європи займаються системи автосервісу.

З кожним роком кількість зареєстрованих автомобілів в Україні з вторинного ринку Європи зростає. Для підвищення конкурентоздатності систем автосервісу, що займаються кузовним ремонтом необхідно виконувати послуги на високому професійному рівні. Отже, забезпечення якісного лакофарбового покриття під час виконання малярно-кузовних робіт є актуальною тематикою сьогодення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для забезпечення виконання якісно малярних робіт в системах автосервісу необхідно визначити ряд параметрів від яких залежить якість. Даною проблематикою займалися багато вчених. В роботі Гнатова А.В., Аргуна Щ.В. [1] було розглянуто чинники, що впливають на якість кузовного ремонту автомобілів, розроблено схему взаємного впливу процесів кузовного ремонту, запропоновано методику комплексної оцінки якості кузовного ремонту колісних транспортних засобів на основі виробничих та споживчих критеріїв.

В роботі [2] авторами виконано дослідження ефективного використання ресурсів малярно-кузовного цеху, визначено перелік ресурсів, що несуть втрати та способи їх зменшення.

В роботі [3] запропоновано модель управління якістю послуг з ТО та ремонту автомобілів, виокремлено основні параметри, що впливають на якість виконання послуг.

Molina J, Solanes J E, Arnal L and Tornero J виконали дослідження можливостей

зниження витрат та підвищення якості малярно-кузовних послуг при ремонті легкових автомобілів на основі оптимізації параметрів фарбувально-сушильних камер [4].

Лудченко, О. А. виконав аналіз щодо оцінки якості послуг автосервісу [5].

В роботі [6] запропоновано технологію моніторингу показників якості технічного обслуговування та ремонту автомобілів в системах автосервісу.

Keller, H. запропонував заходи, що покращують технологію підготовки деталей для нанесення лакофарбових покриттів, тим самим було досягнуто зниження витрат на матеріали та підвищення продуктивності їх відновлення лакофарбовим покриттям [7].

У рамках даного дослідження потрібно визначити групу параметрів, що впливають на якість виконання малярних робіт під час виконання ремонту кузова, визначити їх ступінь вагомості, що дасть можливість прогнозувати якість отриманого лакофарбового покриття та, в сою чергу, підвищить ефективність функціонування систем автосервісу.

Постановка завдання. Метою даного дослідження є підвищення ефективності функціонування автосервісів, що надають малярно-кузовні послуги на основі визначення важливих чинників та забезпечення необхідних умов для отримання якісного лакофарбового покриття.

Виклад основного матеріалу. Для визначення шляхів вдосконалення якості лакофарбового покриття застосуємо метод морфологічного аналізу. За допомогою цього методу можливо систематизувати дані, які забезпечують процес нанесення лакофарбового покриття та виконати аналіз можливих їх конфігурацій [8].

Для отримання якісного лакофарбового покриття на поверхні автомобільних деталей, що відновлюються необхідно враховувати чинники, що впливають на якість цього покриття. Для максимального врахування основних чинників та визначення ступеня їх 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». В нашому випадку розглядаємо останній етап нанесення лакофарбового покриття, вважаємо, що підготовчі роботи до нанесення покриття було виконано якісно. Для кожної з 16 морфологічних ознак визначено варіанти реалізації, що представлені в табл. 1.

Зазначений метод дозволяє аналізувати будь-яку комбінацію морфологічних ознак та обрати найкращу з них.

В межах даного дослідження було виконано обстеження 20 типових автосервісів, а саме аналіз їх роботи – отримання певної якості лакофарбового покриття. Прикладом морфологічної формули, що описує процес нанесення лакофарбового покриття, який виконується на ТОВ «Моторкар Черкаси» представлено формулою:

$$\left[\begin{array}{l} (X_{131}; X_{231}; X_{331}; X_{431}) + (X_{521}; X_{621}) + (X_{721}; X_{821}) + (X_{921}; X_{1021}; X_{1121}; X_{1221}; X_{1321}) + \\ + \\ (X_{1421}; X_{1521}; X_{1621}) \end{array} \right] \quad (1)$$

Для дослідження характеру впливу, визначених на стадії морфологічного аналізу важливих параметрів, що впливають на структуру процесу нанесення лакофарбового покриття, а відповідно і на якість отриманого покриття необхідно побудувати математичну модель даної структури. Для цього необхідно здійснити структурну специфікацію моделі (2).

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_n), \quad (2)$$

де Y – результуючий параметр моделі;
 X_1, X_2, \dots, X_n – вектор вхідних параметрів;
 n – кількість параметрів.

В якості початкової інформації для моделі використовуємо результати дослідження 20 автосервісних підприємств, що надають послуги з малярно-кузовного ремонту.

Таблиця 1 – Морфологічна матриця морфологічних структур процесу нанесення лакофарбового покриття

Фарбувальна камера				Фарбопульти (фарборозпилювач)		Джерело стисненого повітря		Матеріали, що наносяться					Технологія нанесення покриття		
1. Вигляд	2. Овиплення	3. Теплообмінник	4. Підпідмерзді (принцип роботи)	5. Подача фарби	6. Розмір дози, мм	7. Тип джерела	8. Потужність, кВт	9. Тип матеріалу	10. Тип розсіювача	11. Кількість розсіювача	12. Кількість заправлювача	13. Температура матеріалу, °C	14. Техніка нанесення	15. Відстань від фарбопульта до основи, см	16. Кількість шарів
1.1. Припливно-витяжна 1	2.1. Стінове 1	3.1. Рекупераційний 1	4.1. Відсутня 1	5.1. Самотіток 1	6.1. 1,2 1	7.1. Компресор 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. Вертикально 1	15.1. 10-29	16.1. 1
1.2. Одно-моторна 2	2.2. Стільове 2	3.2. Рекупераційний 2	4.2. Конвективний 2	5.2. Під тиском 2	6.2. 1,3-1,6 2	7.2. Турбина 2	8.2. Оптимальна 0,20-0,30	9.2. Рідка фарба 2	10.2. Повільний 2	11. Оптимальна 0,2	12.2. Оптимальна на 0,50	13.2. Оптимальна 20-22	14.2. Горизонтально 2	15.2. 20-29	16.2. 2
1.3. Дво-моторна 3	2.3. Стільове +стінове 3		4.3. Промисловий теплообмін (інфрачервоний) 3		6.3. 1,4-1,7 3		8.3. Надмірна 0,31-0,60	9.3. Порошкова фарба 3	10.3. Швидкий 3	11.3. Велика 0,21-0,3			11.4. Надмірна 0,31-1	12.3. Висока 0,51-0,60	

Джерело: розроблено авторами

Результуючим параметром системи «Фарбувальна камера -Фарборозпилювач - Джерело стисненого повітря - Матеріал, що наноситься - Технологія нанесення покриття» виступає рівень якості отриманого покриття K_n . Даний параметр розраховується за формулою (3):

$$K_n = \min(K_i), \tag{3}$$

де K_i – коефіцієнт схвальних оцінок замовників i -ї роботи (послуги) з нанесення лакофарбового покриття.

Розглянемо лінійну залежність, що описує вплив параметрів на рівень якості отриманого лакофарбового покриття.

Визначимо незалежні параметри системи.

Математичну модель системи представимо у вигляді лінійної множинної регресії (4):

$$Y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i X_i, \tag{4}$$

де n – кількість факторів, які буде враховано;

a_i – невідомі коефіцієнти.

Побудова даної моделі виконується на основі методу найменших квадратів. Адекватне застосування методу найменших квадратів залежить від використання в моделі (4) незалежних факторів. Для визначення незалежних факторів застосуємо алгоритм Фаррара-Глобера [9]. Зазначений алгоритм дає можливість виявити три види

кореляційного взаємозв'язку між факторами (параметрами) системи: мультиколінеарність у всьому масиві вхідних даних, мультиколінеарність кожного параметру з усіма та лінійну залежність між кожною парою параметрів [10]. Залежні параметри поступово вилучаються з подальшого розгляду. Процедура вилучення параметрів є суб'єктивною і єдиним критерієм її ефективності є відсутність мультиколінеарності параметрів в системі.

І ітерація.

Крок 1. Нормуємо та центруємо значення параметрів системи:

$$x_{ik}^H = \frac{x_{ik} - \bar{x}_k}{\sigma_k}, \quad 1 \leq k \leq 19, 1 \leq i \leq 20, \quad (5)$$

де x_{ik}^H – нормоване значення k -го параметру i -го АСП;

x_{ik} – початкове значення k -го параметру i -го АСП;

\bar{x}_k – середнє значення k -го параметру;

σ_k – дисперсія k -го параметру.

Крок 2. Визначаємо вибірккову кореляційну матрицю:

$$\hat{R} = \frac{1}{n} (X^H)^T X^H, \quad (6)$$

де n – кількість АСП, $n = 20$.

Крок 3. Визначаємо значення критерію Пірсона χ^2 :

$$\chi^2 = - \left(n - 1 - \frac{1}{6} (2m + 5) \right) \ln |\hat{R}|, \quad (7)$$

де m – кількість вхідних параметрів.

n – кількість спостережень.

Порівнюємо його з табличним значенням при $\frac{1}{2}m(m-1) = \frac{1}{2}16(16-1) = 120$

ступенях свободи і рівні значущості α . Якщо $\chi^2 > \chi_{\text{табл}}^2$, то у векторі вхідних параметрів є мультиколінеарність.

При $m = 16, n = 20, \alpha = 0,05$ отримано наступне значення критерію:

$$\chi^2 = - \left(20 - 1 - \frac{1}{6} (2 \cdot 16 + 5) \right) \ln(5,9 \cdot 10^{-10}) = 272,66. \quad (8)$$

Оскільки $\chi^2 > \chi_{\text{табл}}^2(120; 0,05) = 146,56$, то мультиколінеарність у масиві вхідних змінних наявна.

Крок 4. Визначаємо обернену матрицю $D = \hat{R}^{-1}$.

Крок 5. Розраховуємо значення F -критерію Фішера для k -го параметру за формулою (9):

$$F_k = |d_{kk} - 1| \frac{n-m}{m-1}, \quad (9)$$

де d_{kk} – діагональні елементи матриці D , $1 \leq k \leq 16$;

n – кількість АСП, $n = 20$;

m – кількість вхідних параметрів системи, $m = 16$.

Результати розрахунку F_k наведено в табл. 1.

Розраховані значення критерію порівнюються з табличними при $(n-m) = 4$ та $(m-1) = 15$ ступенях свободи і рівні значущості $\alpha = 0,05$. Табличне значення $F_{\text{табл}}(0,05; 4; 15) = 5,85$. Якщо для k -го параметру $F_k > F_{\text{табл}}$ (в табл. 2 виділено жирним), то даний параметр є мультиколінеарним з іншими. Вочевидь, що найбільш мультиколінеарним з іншими є параметр X_1 .

Крок 6. Знаходимо вибірккові часткові коефіцієнти кореляції:

$$\beta_{kj} = \frac{-d_{kj}}{\sqrt{d_{kk}d_{jj}}}, 1 \leq k \leq 16, 1 \leq j \leq 16. \tag{10}$$

Крок 7. Обчислюємо значення *t*-критерію Ст'юдента за формулою (11):

$$t_{kj} = \frac{\beta_{kj} \sqrt{n-m}}{\sqrt{1-\beta_{kj}^2}}. \tag{11}$$

Розраховані значення t_{kj} (табл. 3) порівнюються з табличним при $(n - m) - 4$ ступенях свободи і рівні значущості $\alpha = 0,05$. Якщо $|t_{kj}| > t_{\text{табл}}(0,05; 4) = 2,132$, то між X_k та X_j існує мультиколінеарність. У табл. 21 значення, що за модулем перевищують табличне, виділено жирним, це параметр X_1 - його вилучаємо з розгляду у II ітерації.

Для кожного стовпця табл. 20 знаходимо суми S_j значень критеріїв Ст'юдента t_{jk} , які за модулем перевищують табличне значення:

$$S_j = \sum_{k=1}^{16} t_{jk} \text{ якщо } |t_{jk}| > t_{\text{табл}}, k = \overline{1, 16}. \tag{12}$$

Суми впорядковуємо за спаданням

Враховуючи значення $F_k, k = \overline{1, 16}$ (табл. 4), з подальшого розгляду вилучаємо вхідні параметри, яким відповідає найбільша сума $S_j: X_{14}$.

Необхідно перевірити на мультиколінеарність відкоригований масив вхідних даних: $X_2, X_3, X_4, X_5, X_6, X_7, X_8, X_9, X_{10}, X_{11}, X_{12}, X_{13}, X_{15}, X_{16}$.

Таблиця 2 - Значення критерію Фішера для *k*-го параметру на I ітерації алгоритму

F_k	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8	F_9	F_{10}	F_{11}	F_{12}	F_{13}	F_{14}	F_{15}	F_{16}
Значення	6,13	0,43	0,65	3,48	1,31	1,20	3,26	2,99	1,96	0,67	0,74	3,23	1,30	3,68	1,27	4,10
я	7	3	5	5	2	8	3	7	0	9	0	9	2	7	8	7

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 - Значення *t*-критерію Ст'юдента t_{kj} на I ітерації

$X_k \backslash X_j$	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8
X_1	0	-0,426	-0,098	1,137	0,490	0,471	0,792	1,564
X_2	-0,426	0	1,715	0,170	0,997	-1,714	-0,107	-0,729
X_3	-0,098	1,715	0	0,371	-0,579	1,842	0,918	1,521
X_4	1,137	0,170	0,371	0	-1,679	-0,858	0,660	-1,187
X_5	0,490	0,997	-0,579	-1,679	0	0,539	1,088	-0,062
X_6	0,471	-1,714	1,842	-0,858	0,539	0	-0,208	-1,818
X_7	0,792	-0,107	0,918	0,660	1,088	-0,208	0	-0,963
X_8	1,564	-0,729	1,521	-1,187	-0,062	-1,818	-0,963	0
X_9	-0,756	-0,515	-0,622	0,547	0,472	0,005	1,062	0,831
X_{10}	0,151	-0,524	1,325	-1,057	-0,366	-1,042	0,110	-1,117
X_{11}	-0,519	-0,357	0,403	1,147	0,960	0,259	-1,088	0,129
X_{12}	-0,771	0,236	-1,445	0,946	0,409	0,770	0,745	1,743
X_{13}	0,745	0,692	-0,191	0,594	0,219	0,900	-1,592	-0,015
X_{14}	-1,389	-0,013	-0,264	4,347	1,868	0,854	-0,577	1,491
X_{15}	-1,029	0,274	-0,561	2,026	1,108	0,868	-0,141	1,803
X_{16}	1,580	-0,422	0,714	-2,343	-0,791	-1,491	0,048	-2,257

Продовження таблиці 3

$X_i \backslash X_k$	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
X_1	-0,756	0,151	-0,519	-0,771	0,745	-1,389	-1,029	1,580
X_2	-0,515	-0,524	-0,357	0,236	0,692	-0,013	0,274	-0,422
X_3	-0,622	1,325	0,403	-1,445	-0,191	-0,264	-0,561	0,714
X_4	0,547	-1,057	1,147	0,946	0,594	4,347	2,026	-2,343
X_5	0,472	-0,366	0,960	0,409	0,219	1,868	1,108	-0,791
X_6	0,005	-1,042	0,259	0,770	0,900	0,854	0,868	-1,491
X_7	1,062	0,110	-1,088	0,745	-1,592	-0,577	-0,141	0,048
X_8	0,831	-1,117	0,129	1,743	-0,015	1,491	1,803	-2,257
X_9	0	0,826	0,482	-3,042	0,987	-0,515	-0,889	0,600
X_{10}	0,826	0	0,871	1,912	0,255	1,089	1,117	-0,896
X_{11}	0,482	0,871	0	0,165	-0,532	-1,114	-0,639	0,763
X_{12}	-3,042	1,912	0,165	0	0,426	-1,117	-1,597	1,412
X_{13}	0,987	0,255	-0,532	0,426	0	-0,542	-0,277	0,518
X_{14}	-0,515	1,089	-1,114	-1,117	-0,542	0	-2,541	3,225
X_{15}	-0,889	1,117	-0,639	-1,597	-0,277	-2,541	0	2,902
X_{16}	0,600	-0,896	0,763	1,412	0,518	3,225	2,902	0

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 4 - Суми абсолютних значень t -критерію S_j , що перевищують $t_{\text{табл}}$, на i ітерації

Параметр	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}	X_{13}	X_{14}	X_{15}	X_{16}
S_j	11,918	8,890	12,569	19,070	11,627	13,639	10,099	17,230	12,152	12,656	9,428	16,737	8,484	20,946	17,774	19,961

Джерело: розроблено авторами

Після виконання трьох ітерацій мультиколінеарність у масиві вхідних змінних зникає.

У відкоригованому масиві вхідних даних залишилося 8 незалежних параметрів: $X_2, X_4, X_5, X_8, X_{11}, X_{13}, X_{15}, X_{16}$. На цьому виконання алгоритму завершено.

Побудуємо лінійну модель системи «Фарбувальна камера - Фарборозпилювач - Джерело стисненого повітря - Матеріал, що наноситься - Технологія нанесення покриття» у вигляді лінійної множинної регресії:

$$K_R = a_0 + a_2 X_2 + a_4 X_4 + a_5 X_5 + a_8 X_8 + a_{11} X_{11} + a_{13} X_{13} + a_{15} X_{15} + a_{16} X_{16} \quad (13)$$

Коефіцієнти моделі знаходимо за формулою [9]:

$$A = (a_0, a_2, a_4, a_5, a_8, a_{11}, a_{13}, a_{15}, a_{16}) = (X^T \cdot X)^{-1} \cdot X^T \cdot K_R \quad (14)$$

де X – матриця, яка складається з векторів-стовпців незалежних параметрів, що було визначено на III ітерації алгоритму Фаррара-Глобера;

K_R – вектор-стовпець, що відповідає рівням якості нанесеного лакофарбового покриття на кожному АСП.

Таким чином, отримуємо наступну математичну модель:

$$K_R = 0,6204 + 0,0042 \cdot X_2 + 0,0301 \cdot X_4 + 0,0603 \cdot X_5 + 0,0925 \cdot X_8 - 0,4730 \cdot X_{11} - 0,0047 \cdot X_{13} + 0,0022 \cdot X_{15} + 0,0943 \cdot X_{16} \quad (15)$$

Середньоквадратичне відхилення модельних значень від табличних розраховується за формулою:

$$\bar{\sigma} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (K_{Я\ табл}^i - K_{Я\ модел}^i)^2, \quad (16)$$

де n – кількість АСП у вибірці;

i – індекс АСП в масиві вихідних даних;

$K_{Я\ табл}^i, K_{Я\ модел}^i$ – відповідно табличне та модельне значення коефіцієнту якості виконаних технологічних процесів на i -му АСП.

При реалізації моделі середнє квадратичне відхилення модельних значень рівня якості отриманого лакофарбового покриття від статистичних складо $\bar{\sigma} = 0,0008$, що підтверджує адекватність моделі.

Для розрахунку відносного середньоквадратичного відхилення використано формулу

$$S_r = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^n \frac{(K_{Я\ табл}^i - K_{Я\ модел}^i)^2}{(K_{Я\ табл}^i)^2} \cdot 100\%. \quad (17)$$

Графічне відображення результатів моделювання представлено на рис. 1-2.



Рисунок 1 – Порівняння табличних та модельних значень рівня якості отриманого лакофарбового покриття при побудові лінійної моделі

Джерело: розроблено авторами



Рисунок 2 – Похибка лінійної моделі, що побудовано на початковій вибірці

Джерело: розроблено авторами

В результаті аналізу графіку (рис.2) можна зробити висновок, що отримана лінійна модель, що описує рівень якості нанесеного лакофарбового покриття може застосовуватися для прогнозування якості лакофарбового покриття, знаючи 8 вхідних параметрів системи, а саме:

X_2 - освітлення фарбувальної камери;

- X_4 - піч полімеризації (принцип роботи);
- X_5 – спосіб подачі фарби;
- X_9 – потужність джерела стисненого повітря;
- X_{11} – кількість розріджувача;
- X_{13} - температура матеріалу, що наноситься;
- X_{15} - відстань від фарбопульту до основи;
- X_{16} - кількість шарів нанесеного матеріалу.

Відповідно, для підвищення якості нанесеного лакофарбового покриття можливо організувати виробництво з врахуванням незалежних вхідних параметрів системи.

Висновки. Запропонована методика визначення важливих чинників під час виконання лакофарбового покриття дає можливість виокремити незалежні з них та визначити ступінь вагомості кожного з них. Завдяки цьому стає можливим забезпечувати організаційно-технологічну структуру виробництва необхідним обладнанням та технологіями. Ефективність автосервісних підприємств підвищується, витрати зменшуються. Дана методика також може застосовуватися для прогнозування якості лакофарбового покриття, враховуючи важливі чинники цього процесу.

При реалізації запропонованої методики, було розроблено математичну модель визначення якості лакофарбового покриття від чинників, що впливають на даний процес. Середнє квадратичне відхилення модельних значень рівня якості отриманого лакофарбового покриття від статистичних склало $\bar{\sigma} = 0,0008$, що підтверджує адекватність моделі.

Список літератури

1. Гнатів А.В., Аргун Ш.В. Сучасні технології зовнішнього магнітноімпульсного кузовного ремонту автомобілів. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2015. № 4. С.103-108.
2. Kipriyanov F. A., Shushkov R. A., Mikhailov A. S. Quality research of paintwork of Volkswagen Tuareg car body elements. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 2020. 832(1). 1-8. URL: https://www.researchgate.net/publication/342050669_Quality_research_of_paintwork_of_Volkswagen_Tuar_eg_car_body_elements (дата звернення: 15.03.2024).
3. Тарандушка Л.А. Побудова функціональної моделі автосервісного підприємства. *Вісник Національного транспортного університету*. 2020. №1(46). С. 333–340.
4. Molina J, Solanes J. E., Arnal L. and Tornero J. On the detection of defects on specular car body surfaces. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*. 2017. Vol. 48 263-78. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584517300194> (дата звернення: 16.03.2024).
5. Лудченко О. А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів : підручник. К. : Знання-Прес, 2003. 511 с.
6. Тарандушка Л.А. Тарандушка І.П. Технологія моніторингу показників якості технічного обслуговування та ремонту автомобілів. *Вісник Чернігівського державного технологічного університету. Серія «Технічні науки»*. 2014. №1(71). С.116-122.
7. Keller, H. Steady Growth Key for Top Injection Molders. *Plastics News*. 2023. URL: www.plasticsnews.com/all-things-data/top-injection-molders-report-growing-sales. (дата звернення: 15.03.2024).
8. Методи оцінювання якості технологічних процесів у системах автосервісу : монографія / Л.А. Тарандушка та ін. Херсон : ОЛДІ-ПЛЮС, 2021. 212 с.
9. Снитюк В. Є. Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми. Київ: Маклаут, 2008. 364.
10. Shrestha N. Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*. 2020. 8(2): 39-42. URL: https://www.researchgate.net/publication/342413955_Detecting_Multicollinearity_in_Regression_Analysis. (дата звернення: 17.03.2024).

References

1. Hnatov, A.V. & Arhun, Sch.V. (2015). Suchasni tekhnolohii zovnishn'oho mahnitnoimpul'snoho kuzovnoho remontu avtomobiliv [Modern technologies of external magnetic pulse body repair of cars]. *Visnyk Vinnys'koho politekhnichnoho instytutu – Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute*, 4, 103-108. [in Ukrainian].

2. 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), P.1-8. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/342050669_Quality_research_of_paintwork_of_Volkswagen_Tuareg_car_body_elements [in English].
3. Tarandushka, L.A. (2020). Pobudova funktsional'noi modeli avtoservisnoho pidpriemstva [Building a functional model of a car service enterprise]. *Visnyk Natsional'noho transportnoho universytetu – Bulletin of the National Transport University*, 1(46), 333–340. [in Ukrainian].
4. 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*, 48, 263-78, Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584517300194> [in English].
5. Ludchenko, O. A. (2003). *Tekhnichne obsluhovuvannia i remont avtomobiliv [Car maintenance and repair]*. K. : Znannia-Pres [in Ukrainian].
6. Tarandushka, L.A. & Tarandushka, I.P. (2014) Tekhnolohiia monitorynhu pokaznykiv iakosti tekhnichnoho obsluhovuvannia ta remontu avtomobiliv [Technology for monitoring quality indicators of car maintenance and repair]. *Visnyk Chernihiv'skoho derzhavnoho tekhnolohichnoho universytetu. Seriya «Tekhnichni nauky» – Bulletin of the Chernihiv State University of Technology. Series "Technical Sciences"*, 1(71), 116-122 [in Ukrainian].
7. Keller, H. (2023). Steady Growth Key for Top Injection Molders. *Plastics News*. Retrieved from www.plasticsnews.com/all-things-data/top-injection-molders-report-growing-sales [in English].
8. Tarandushka, L.A. et al. (2021). *Metody otsiniuvannia iakosti tekhnolohichnykh protsesiv u systemakh avtoservisu [Methods of evaluating the quality of technological processes in car service systems]*. Kherson : OLDI-PLIuS [in Ukrainian].
9. Snytiuk, V. Ye. (2008). *Prohnozuvannia. Modeli. Metody. Alhorytmy [Prognostication. Models. Methods. Algorithms]*. Kyiv: Maklout. [in Ukrainian].
10. Shrestha, N. (2020). Detecting Multicollinearity in Regression Analysis. *American Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 8(2): 39-42. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/342413955_Detecting_Multicollinearity_in_Regression_Analysis [in English].

Ludmyla Tarandushka, Prof., DSc., **Ivan Tarandushka**, Senior Lecturer
Cherkasy State Technological University, Cherkasy, Ukraine

Development of the method for ensuring quality paint coating during painting and body work in car service systems

A technique has been developed that makes it possible to determine the quality of paintwork in car service systems. This technique is based on the determination of important parameters that describe the technological process of applying a paint coating. Based on the Farrar-Glober algorithm, among the 16 parameters of the system, 8 independent ones affecting the quality of the coating were singled out and their degree of importance was determined. Isolation of independent parameters contributed to the construction of an adequate model for predicting the quality of the paint coating. This makes it possible to organize competitive car service systems for the restoration of vehicle paint coatings.

Thanks to the proposed methodology, it becomes possible to provide the organizational and technological structure of production with the necessary equipment and technologies. The efficiency of car service enterprises increases, costs decrease. This technique can also be used to predict the quality of the paint coating, taking into account the important factors of this process.

When implementing the proposed methodology, a mathematical model was developed for determining the quality of the paint coating from the factors affecting this process. The average quadratic deviation of the model values of the quality level of the obtained paint coating from the statistical values was $\bar{\sigma}=0,0008$, which confirms the adequacy of the model.

So, it can be concluded that the obtained linear model describing the level of quality of the applied paint coating can be used to predict the quality of the paint coating, knowing the 8 input parameters of the system, namely:

X_1 - lighting of the dyeing chamber; X_2 - polymerization furnace (principle of operation); X_3 - method of paint feeding; X_4 - compressed air source capacity; X_5 - amount of diluent; X_6 - temperature of the applied material; X_7 - distance from the spray gun to the base; X_8 - the number of applied material layers.

parameters, car service systems, paint coatings, mathematical model

Одержано (Received) 25.01.2024

Прорецензовано (Reviewed) 01.03.2024

Прийнято до друку (Approved) 25.03.2024