

Іванченко О.В.

Національна академія Національної гвардії України

Бойков І.В.

Національна академія Національної гвардії України

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ РЕМОНТНО-ОБСЛУГОВУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА СЕРЕДНІЙ ЧАС ВІДНОВЛЕННЯ АВТОМОБІЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

У матеріалах статті розглядаються питання надійності автомобільної техніки за допомогою одичного показника середнього часу відновлення. Наявні методики оцінювання рівня технічної готовності й методи визначення середнього часу відновлення не враховують різноманіття факторів, які впливають на дійсний технічний стан автомобільної техніки. Час простою в ремонті впливає на готовність до використання автомобіля за призначенням, який потрібно враховувати під час визначення дійсного технічного стану автомобільної техніки й залишкового ресурсу.

Визначення часу відновлення є актуальним завданням, дозволить повніше оцінювати технічний стан автомобільної техніки й впливати на виконання виробничої програми підприємства.

У статті проведено аналіз досліджень із питань оцінки технічного стану автомобільного парку, надана класифікація найпоширеніших відмов автомобільної техніки, розглядається можливий спосіб визначення середнього часу відновлення елементів автомобільної техніки в залежності від впливу ремонтно-обслуговуючих факторів. Запропоновано регресійну залежність середнього часу відновлення від впливу ремонтно-обслуговуючих факторів на різних рівнях варіювання. Проведено статистичний аналіз отриманого рівняння регресії, а саме однорідність дисперсії за розрахунковим значенням за критерієм Кохрена. Оцінка значущості коефіцієнтів здійснюється за критерієм Стьюдента, адекватність лінійних рівнянь регресії, які використовуються для розв'язання практичних завдань, перевіряється за критерієм Фішера. Проаналізовано результати обробки даних повного факторного експерименту по визначенню часу відновлення в умовах виробничої бази й зроблено висновки.

Ключові слова: технічний стан, відмова, середній час відновлення, експеримент, фактор, матриця планування, поліном, апроксимація.

Постановка проблеми. Автомобіль, як механічна система працює у важких умовах динамічних навантажень, та з часом інтенсивність відмов підвищується. У зв'язку з цим, частину амортизаційного часу він може простоювати в ремонті та обслуговуванні.

Час простою впливає на готовність до використання автомобіля за призначенням (рівень технічної готовності). Час простою в ремонті (час відновлення) потрібно враховувати при визначенні дійсного технічного стану автомобільної техніки та залишкового ресурсу.

Існуючі методики оцінювання рівня технічної готовності та методи визначення середнього часу відновлення не враховують різноманіття факторів, які впливають на дійсний технічний стан автомобільної техніки (далі – АТ).

Тому визначення часу відновлення є актуальним завданням, рішення якого дозволить більш повно оцінювати технічний стан автомобільної техніки та впливати на виконання виробничої програми підприємства.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Питання оцінки технічного стану автомобільного парку розглядаються в ряді наукових робіт [1–10].

Підтримка в працездатному технічному стані АТ за допомогою проведення технічних впливів наведені в роботах [1–6]. У роботах розглядаються способи визначення раціональної періодичності виконання технічного обслуговування і ремонту АТ за різними показниками. Але при цьому, використовуються прості, аналітичні і імітаційні методи, які доцільні за певних умов.

Наявні підходи [1; 3; 6–8] щодо оцінки рівня технічної готовності автомобільної техніки використовують виробничий показник – коефіцієнт технічної готовності (K_{me}), який не враховує факторів, що впливають на відновлення АТ.

У роботах [1; 3; 9; 10] для оцінки технічного стану системи пропонується застосовувати комплексні показники надійності, такі як коефіцієнт оперативної готовності (K_{oe}), коефіцієнт готовності (K_c), коефіцієнт технічного використання (K_{me}), які включають в себе середній час відновлення (T_e).

Але він зворотно пропорційний інтенсивності відновлення і не враховує найбільш значущих факторів, від яких залежить час відновлення.

Постановка завдання. Оцінка впливу ремонтно-обслуговуючих факторів на середній час відновлення (простою) автомобільної техніки в умовах виробничої бази автомобільного парку.

Викладення основного матеріалу дослідження. Серед різноманіття відмов, які відбуваються з АТ, слід виділити декілька основних груп (рис. 1).

Найпоширенішими серед відмов двигуна є відмови бензонасоса, стартера, генератора, кривошипно-шатунного механізму, водяного насоса, паливного насоса, системи живлення, системи відведення відпрацьованих газів, системи охолодження, електрообладнання, запалення, датчиків.

Серед найчастіших відмов кузова є деформація і псування його елементів внаслідок механічних пошкоджень (вм'ятини, вибоїни, тріщини), зміна геометричних параметрів, корозійні пошкодження, руйнування лакофарбового та протикорозійного покриття.

Відмовами трансмісії найчастіше є неповне вмикання зчеплення, зменшення вільного ходу педалі зчеплення, зношування фрикційних накладок зчеплення, заклинювання редукторів, ускладнене перемикавання передач, відмови синхронізаторів та вилок коробки передач та роздавальної коробки, витікання робочої рідини із головного циліндра зчеплення, коробки передач та роздавальної коробки.

В ходовій частині найчастіше відбуваються такі відмови: деформація важелів передньої підвіски, пошкодження опор амортизаторів, відмова стабілізатора поперечної стійкості, порушення паралельності переднього та заднього мостів, пошкодження, або відмова підшипників маточин коліс, ресор, амортизаторів, сайлентблоків, шарових опор, наконечників кермових тяг, порушення кута розвалу та сходження коліс.

Стосовно систем автомобіля, найчастіше відбуваються такі відмови: перегорання ламп накаливання в системі освітлення, збільшення вільного ходу кермового колеса, відмова кер-

мового керування через відмову наконечників кермових тяг, недостатня ефективність гальмування, відмова гальмівної системи через витікання гальмівної рідини, збільшений вільний хід педалі гальма.

Всі ці, та багато інших несправностей можуть впливати на безпеку руху, або зовсім зробити неможливим переміщення АТ самостійно.

Проведений аналіз відмов, які відбулися в досліджуваному парку вантажних автомобілів показав, що найбільшого поширення набули відмови ходової частини і трансмісії, що обумовлено складними умовами експлуатації.

Пропонується більш детально дослідити відновлення підшипника передньої маточини колеса, як однієї з найпоширеніших відмов АТ. Дані дослідження можуть бути застосовні до будь-яких відмов АТ.

Застосуємо підхід, заснований на оцінці рівня впливу в умовах експлуатації АТ з можливістю відновлення на виробничій базі автомобільного парку.

Час відновлення є функцією ряду змінних:

$$t_g = F(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (1)$$

де x_1, x_2, \dots, x_n – незалежні змінні.

У термінах активного планування експерименту [11, 12] t_g є відгуком, а змінні x_i – факторами.

Як основні ремонтно-обслуговуючі фактори, що впливають на відновлення і визначають технічний стан АТ при проведенні операцій, можуть бути прийняті [13]:

- наявність технічної документації на проведення технічних обслуговувань і ремонтів x_{p1} ;
- оснащеність необхідним обладнанням x_{p2} ;
- кваліфікація фахівців x_{p3} .

Рівні ремонтно-обслуговуючих факторів визначають час, витрачений на проведення відновлення. Перераховані фактори відповідають вимогам, які використовуються в теорії активного планування експерименту. Для проведення експерименту визначено рівні варіювання незалежних змінних, які представлені в таблиці 1.

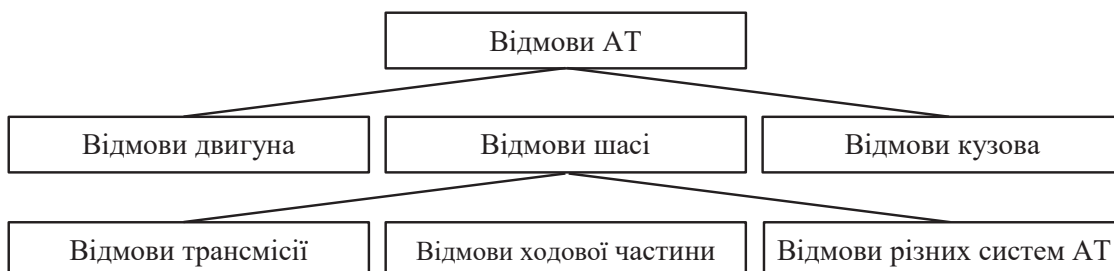


Рис. 1. Класифікація відмов АТ

Таблиця 1

Рівні варіювання факторів

Позначення	Ремонтно-обслуговуючі фактори		
	X _{p1}	X _{p2}	X _{p3}
Нульовий рівень x=0	50 %	50 %	50 %
Інтервал варіювання	100	100	100
Нижній рівень x=-1	0	0	0
Верхній рівень x=+1	100 %	100 %	100 %

Матриця планування та результати проведення експерименту представлені в таблиці 2.

За результатами повного факторного експерименту оцінимо вплив ремонтно-обслуговуючих факторів на час відновлення КрАЗ-5233Н2 в умовах виробничої бази при двох крайніх значеннях рівнів факторів (0 % і 100 %).

Для оцінки впливу перерахованих факторів на надійність проводиться спрямований факторний експеримент, який реалізує відповідно всі можливі неповторювані комбінації трьох незалежних факторів, кожен з яких варіюється на двох крайніх рівнях.

Таке планування дозволяє описати процес поліноміальною математичною моделлю, що включає також і взаємодію факторів у вигляді рівняння регресії.

Знаходження функціональної залежності часу відновлення від змінних факторів проводимо методом активного планування експерименту [14]. З метою отримання незалежних оцінок значень коефіцієнтів регресії і максимальної інформації при мінімальній кількості дослідів матриця планування будується з виконанням вимог [11, 12], а саме:

– симетричності відносно центру експерименту:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 0 ; \tag{2}$$

– умови нормування:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}^2 = N ; \tag{3}$$

– ортогональності:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij}x_{iu} = 0; \quad j \neq u; \quad j, u = \overline{0, k} . \tag{4}$$

При цьому кількість дослідів *N* повного факторного експерименту (ПФЕ) дорівнює $N=2k=23=8$, де *k* – число досліджуваних факторів.

У ПФЕ варіюються одночасно всі фактори. Це призводить до того, що дисперсія оцінки коефіцієнтів регресії виявляється в *N* раз менше помилки дослідів [11; 12].

Оскільки на величину вихідної змінної випадковим чином впливають перешкоди, кожен досвід плану реалізується кілька разів, отримуючи *m* паралельних значень відгуків. Щоб уникнути випадкового зв'язку між реалізаціями кожного експерименту або серії експериментів, досліди рандомізують у часі, призначаючи випадкову послідовність реалізації дослідів плану експерименту.

Коефіцієнти полінома обчислюються за формулами [11; 12]:

$$b_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_0 I_i}{n} ; \quad b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n x_1 I_i}{n} . \tag{5}$$

У задачах апроксимації математична модель повинна адекватно описувати об'єкт в області факторного простору і тому може бути нелінійною [11]. План повного факторного експерименту дозволяє досить просто розрахувати коефіцієнти при взаємодіях факторів і, якщо вони значимі, використовувати отриману модель для інтерполяційних цілей. З іншого боку, значимість коефіцієнтів парних і більш високих порядків взаємодії факторів відразу ж дає можливість зробити висновок про неадекватність лінійної моделі.

Для знаходження коефіцієнтів парних ефектів плану ПФЕ доповнюють стовпцями – добутком стовпців взаємодіючих факторів. Урахування ефектів взаємодії відбувається автоматично в програмі по визначенню рівнянь регресії.

Таблиця 2

Матриця планування повного факторного 2³ експерименту з оцінки впливу рівнів ремонтно-обслуговуючих факторів на час відновлення АТ

№ з/П	x _{p0}	x _{p1}	x _{p2}	x _{p3}	x _{p1} x _{p2}	x _{p1} x _{p3}	x _{p2} x _{p3}	x _{p1} x _{p2} x _{p3}	Час t _г відновлення АТ, хв.			
									y ₁	y ₂	y ₃	y _{сеп}
1	+	-	-	-	+	+	+	-	79	93	83	85
2	+	+	-	-	-	-	+	+	74	69	76	73
3	+	-	+	-	-	+	-	+	60	61	65	62
4	+	+	+	-	+	-	-	-	55	54	62	57
5	+	-	-	+	+	-	-	+	47	53	53	51
6	+	+	-	+	-	+	-	-	40	45	44	43
7	+	-	+	+	-	-	+	-	42	37	41	40
8	+	+	+	+	+	+	+	+	30	35	40	35

Коефіцієнти b_{ij} розраховується за формулою [11]:

$$b_{ij} = \frac{1}{N} \sum_{u=1}^N x_{iu} x_{ju} I_u \quad (i \neq j). \quad (6)$$

Оскільки властивість ортогональності матриці планування при додаванні до неї стовпців x_j не змінюється, отримуємо математичну модель виду [11]:

$$I = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i=1}^n b_{ij} x_i x_j. \quad (7)$$

Знайдені за формулами (5), (6) коефіцієнти при незалежних змінних і ефекти парної взаємодії підставляємо в рівняння (7), отримуючи шукані поліноми часу відновлення в умовах виробничої бази автомобільного парку для КраЗ-5233Н2:

$$t_B = 55,75 - 3,75x_{p1} - 7,25x_{p2} - 13,5x_{p3} + 1,25x_{p1}x_{p2} + 0,5x_{p1}x_{p3} + 2,5x_{p2}x_{p3} - 0,5x_{p1}x_{p2}x_{p3}. \quad (8)$$

Числові значення коефіцієнтів при змінних говорять про силу впливу факторів на відгуки. Чим більше чисельна величина коефіцієнта, тим більший вплив робить фактор. Якщо коефіцієнт має знак плюс, то зі збільшенням значення фактора відгук збільшується, а при знаку мінус, відповідно, зменшується. Величина коефіцієнта відповідає внеску такого фактора на величину відгуку при переході фактора з нульового рівня на верхній або нижній. Знак плюс коефіцієнта парної взаємодії факторів вказує на те, що для зменшення відгуку фактори повинні одночасно змінюватися в різних напрямках.

Проведемо статистичний аналіз отриманого рівняння регресії.

Однорідність дисперсії перевіряється по розрахунковим значенням критерію Кохрена [11]:

$$G_p = \frac{S_{u \max}^2}{\sum_{u=1}^N S_u^2}, \quad (9)$$

де $S_{u \max}^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{k=1}^m (I_{uk} - \bar{I}_u)^2$ – максимальна з розрахованих построчних дисперсій;

$\sum_{u=1}^N S_u^2$ – сума всіх дисперсій по N рядках матриці планування;

m – число паралельних дослідів.

У разі виконанні умови $G_p < G_m$ гіпотеза про однорідність дисперсій приймається.

Оцінку значущості коефіцієнтів здійснюється за критерієм Стюдента [11]:

$$t_{ip} = \frac{|b_i|}{s_{b_i}^2}, \quad (10)$$

де $s_{b_i}^2 = \frac{s_0^2}{N}$ – дисперсія коефіцієнтів регресії;

$|b_i|$ – абсолютне значення i -го коефіцієнта регресії, за умови:

$$t_{ip} > t_m, \quad (11)$$

де t_m – табличне значення Стюдента для числа ступенів свободи $f_0 = N(m-1)$ і рівня значущості q .

За результатами статистичного аналізу, коефіцієнти при x_{p3} не значущі, тобто умова (11) не виконується. Тому цей фактор виключаємо з рівнянь регресії. При цьому рівняння регресії (8) набуває вигляду:

$$t_B = 55,75 - 3,75x_{p1} - 7,25x_{p2} - 13,5x_{p3} + 1,25x_{p1}x_{p2} + 2,5x_{p2}x_{p3} - 0,5x_{p1}x_{p2}x_{p3}. \quad (12)$$

Адекватність лінійних рівнянь регресії, які використовуються для вирішення практичних завдань, перевіряється, при цьому оцінюється таке відношення:

$$F_p = \frac{s_{\epsilon/B}^2}{s_0^2}, \quad (13)$$

за критерієм Фішера:

$$F_p < F_m, \quad (14)$$

де $s_{\epsilon/B}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{u=1}^N (\bar{I}_u - \tilde{I}_u)^2$ – розсіювання середніх дослідних значень відгуків відносно значень відгуків, передбачених отриманим лінійним рівнянням регресії;

m – число паралельних дослідів;

l – число членів в рівнянні регресії, що залишилися після оцінки значущості.

Виходячи з умови (14), рівняння регресії визнаються адекватними.

Надалі для оцінки роботи системи застосовується рівняння регресії (12).

Аналізуючи результати обробки даних повного факторного експерименту по визначенню часу відновлення в умовах виробничої бази можна зробити висновки:

– при порівнянні ремонтно-обслуговуючих факторів і їх взаємодії, не значущою виявилася взаємодія $x_{p1}x_{p3}$, тобто наявність технічної документації на проведення обслуговування і ремонту та кваліфікація фахівців;

– для автомобілів КраЗ-5233Н2 коефіцієнти в порядку зростання мають значення $x_{p1}x_{p2}x_{p3}=0,5$, $x_{p2}x_{p3}=2,5$, $x_{p1}x_{p2}=1,25$, $x_{p1}=3,75$, $x_{p2}=7,25$, $x_{p3}=13,5$, тобто найбільш впливовим коефіцієнтом виявився $x_{p3}=13,5$ – кваліфікація фахівців, а найменш впливовим серед значущих сполучення коефіцієнтів $x_{p1}x_{p2}x_{p3}=0,5$ – наявність технічної документації, оснащення необхідним обладнанням, кваліфікація фахівців.

Вплив значень ремонтно-обслуговуючих факторів на відгук t_B розглянемо при фіксації їх на нижньому, верхньому і проміжних рівнях, які представлені в таблиці 3.

Вплив значень ремонтно-обслуговуючих факторів на відгук при фіксації на нижньому, верхньому і проміжних рівнях

№ з/п	x_{p0}	x_{p1}	x_{p2}	x_{p3}	$x_{p1} x_{p2}$	$x_{p1} x_{p3}$	$x_{p2} x_{p3}$	$x_{p1} x_{p2} x_{p3}$	Час відновлення t_e
1	+	-	-	-	+	+	+	-	77,00
2	+	+	-	-	-	-	+	+	73,5
3	+	-	+	-	-	+	-	+	61,5
4	+	+	+	-	+	-	-	-	57,5
5	+	-	-	+	+	-	-	+	51,5
6	+	+	-	+	-	+	-	-	42,5
7	+	-	+	+	-	-	+	-	40,5
8	+	+	+	+	+	+	+	+	34,5

Як можна побачити (табл. 3), найменше значення відгуку t_e досягається при верхньому рівні всіх коефіцієнтів (+1), а найбільше, відповідно, при нижньому значенні всіх рівнів (-1). Це означає, що на автомобілі КрАЗ-5233Н2 заміна підшипника маточини колеса відбувається приблизно за 34 хвилини при наявності технічної документації на проведення обслуговування і ремонту x_{p1} , необхідного обладнання x_{p2} та кваліфікованих фахівців x_{p3} . При нижніх значеннях таких коефіцієнтів (-1), час на відновлення такої відмови зростає до 77 хвилин і більше. У проміжних значеннях при різних варіантах взаємодії таких коефіцієнтів t_e приймає проміжні значення між максимальним і мінімальним.

Таким чином, для прогнозування та скорочення часу відновлення необхідно більше приділяти уваги рівню найбільш значних факторів в кожному рівнянні регресії.

Висновки. Для проведення обслуговування і ремонту автомобільної техніки необхідно враховувати найбільш впливові фактори та їх взаємодію з метою зменшення середнього часу

відновлення в умовах виробничої бази автомобільних парків.

Отримана регресійна залежність показує не тільки характер впливу факторів на відгук, а й показує чисельні значення можливого часу відновлення в залежності від умов, в яких вони проводяться. Це дозволяє якісніше організувати роботу, впливати на час її проведення і характеристики готовності автомобільної техніки на різних рівнях.

Так, при необхідності зменшення середнього часу відновлення з 77 хвилин до 41 хвилин при заміні підшипника маточини переднього правого колеса автомобіля КрАЗ-5322Н2 в умовах виробничої бази необхідно забезпечити роботи на рівнях:

- наявність технічної документації на проведення ТО і Р – min;
- оснащеність необхідним обладнанням – max;
- кваліфікація фахівців – max.

Отриману регресійну залежність можна використовувати для розробки алгоритмів визначення можливого часу проведення профілактичних впливів з урахуванням ремонтно-обслуговуючих факторів.

Список літератури:

1. Технічна експлуатація та надійність автомобілів : навчальний посібник / Є.Ю. Форнальчик., М.С. Оліскевич, О.Л. Мاستикаш, Р.А. Пельо ; за загальною ред. Є.Ю. Форнальчика. Львів : Афіша, 2004. 492 с.
2. Коробкін В.Ф. Технічна експлуатація автомобілів. Краматорськ : Донбаська нац. академія будівництва і архітектури, 2010. 411 с.
3. Лудченко О.А. Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів. Технологія : підручник. Київ : Вища школа, 2007. 527 с.
4. Канарчук В.Є., Полянський С.К., Дмитрієв М.М. Надійність машин : підручник. Київ : Либідь, 2003. 424 с.
5. Іванушко О.М., Сахно В.П. До аналізу методів визначення періодичності виконання технічних впливів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2017. № 3. С. 53–65.
6. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей. Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьковском университете, 1984. 312 с.
7. Васілевський О.М., Поджаренко В.О. Нормування показників надійності технічних засобів : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2010. 129 с.
8. Ковтун А.В., Іванченко А.О., Табуненко В.О. Обґрунтування залежності для визначення комплексного показника боєготовності військової техніки. *Збірник наукових праць Академії внутрішніх військ МВС України*. 2014. Вип. 1. С. 63–66.

9. Иванченко А.О., Шаповал О.М., Бойков І.В. Визначення комплексного показника боєготовності військової техніки з урахуванням коефіцієнту оперативності. *Механіка та машинобудування. Науково-технічний журнал*. 2018. № 1. С. 109–115.

10. Ковтун А.В., Табуненко В.О., Радченко І.О. Один із підходів до комплексного оцінювання надійності автомобільної техніки військової частини. *Вестник Харьковського національного автомобільно-дорожного університету*. 2016. Вып. 75. С. 169–173.

11. Пинчук С.И. Организация эксперимента при моделировании и оптимизации технических систем : учебное пособие. Днепропетровск : ООО Независимая издательская организация «Дива», 2008. 248 с.

12. Белый И.В., Власов К.П., Клепиков В.Б. Основы научных исследований и технического творчества. Харьков : Вища школа. Изд-во при Харьковском университете, 1989. 200 с.

13. Анилович В.Я., Гринченко А.С., Литвиненко В.Л. Надежность машин в задачах и примерах. Харьков : Око, 2001. 319 с.

14. Бондарь А.Г., Статюха Г.А., Потяженко И.А. Планирование эксперимента при оптимизации процессов химической технологии. Київ : Вища школа, 1980. 264 с.

Ivanchenko O.V., Boikov I.V. RESEARCH OF THE INFLUENCE OF REPAIR AND MAINTENANCE FACTORS ON THE MIDDLE TIME OF RESTORATION OF VEHICLES

The materials of the article consider the reliability of automotive equipment using a single indicator of the average recovery time. Existing methods for assessing the level of technical readiness and methods for determining the average recovery time do not take into account the variety of factors that affect the actual technical condition of automotive equipment. Downtime affects the readiness to use the car for its intended purpose, which must be taken into account when determining the actual technical condition of automotive equipment and residual life.

Determining the recovery time is an urgent task, and will allow a more complete assessment of the technical condition of automotive equipment and influence the implementation of the production program of the enterprise.

The analysis of researches on an estimation of a technical condition of Automobile Park is carried out in work, classification of the most widespread failures of automobile equipment is given, and the possible way of definition of average time of restoration of elements of automobile equipment depending on influence of repair and service factors is considered. The regression dependence of the average recovery time on the influence of repair and maintenance factors at different levels of variation is proposed. The statistical analysis of the obtained regression equation is carried out, namely the homogeneity of the variance according to the calculated values by the Cochran test, the significance of the coefficients is estimated by the Student's test, the adequacy of linear regression equations used to solve practical problems is checked by Fisher's test. The results of data processing of the full factorial experiment to determine the recovery time in the production base are analyzed and conclusions are made.

Key words: *technical condition, failure, average recovery time, experiment, factor, planning matrix, polynomial, approximation.*