

Степанов О.В.

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Волобуєва Т.В.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

Жданов О.О.

Одеська державна академія будівництва та архітектури

ОПТИМАЛЬНА ПЕРІОДИЧНІСТЬ ЗАМІНИ АГРЕГАТІВ ВАНТАЖНОГО АВТОТРАНСПОРТУ ПРИ ДОСЯГНЕННІ ЗАДАНОГО НАПРАЦЮВАННЯ

Стаття присвячена концепції оптимальної періодичності заміни агрегатів вантажного авто-транспортного при досягненні заданого напрацювання. Показано, що в основу чинної системи планово-попереджувальних ремонтів автотранспорту покладено ремонтні цикли, які розроблені згідно з галузевою методикою розробки нормативів потреби в запасних частинах до автомобілів на ремонтно-експлуатаційні потреби. Але отримані за допомогою різних критеріїв оптимізації ремонтні цикли вантажного автотранспорту не враховують його технічний стан, що змінюється в процесі експлуатації. З'ясовано, що розроблені плани ремонтів технологічного вантажного автотранспорту часто не відповідають фактичній потребі в запасних частинах, трудових ресурсах та періодичності планових ремонтів. Це призводить до збільшення аварійних простоїв вантажного автотранспорту та різкого зростання експлуатаційних витрат. Дослідження доводить, що причиною заміни агрегатів технологічного вантажного автотранспорту є підвищена швидкість зношування, яка виникає внаслідок запиленості повітря, порушення режимів обслуговування, правил експлуатації чи використання неякісної оливи. Для підтримки показників надійності, з урахуванням умов експлуатації, організації ремонту, методів планування та способів встановлення періодичності, обсягів ремонтно-профілактичних робіт, які забезпечують максимальний ефект від їх використання, необхідно застосовувати ремонт та обслуговування відповідно до чинного технічного стану вантажного автотранспорту. Зроблено висновок, що запропонована концепція технології ремонтно-профілактичного обслуговування вантажного автотранспорту передбачає попереджувальні заміни елементів при досягненні ними заданого напрацювання та допускає аварійні заміни при настанні відмов.

Ключові слова: вантажний автотранспорт, технічний стан, агрегат, ремонтні цикли, ремонтно-профілактичне обслуговування.

Постановка проблеми. В основу чинної системи планово-попереджувальних ремонтів (ППР) вантажного автотранспорту (надалі – автотранспорту) покладено ремонтні цикли, що розроблені згідно з галузевою методикою розробки нормативів потреби в запасних частинах до автомобілів на ремонтно-експлуатаційні потреби [1–4, 8–10]. Але отримані за допомогою різних критеріїв оптимізації ремонтні цикли автотранспорту не враховують технічний стан автотранспорту, що змінюється в процесі експлуатації. Це призводить до того, що розроблені плани ремонтів автотранспорту часто не відповідають фактичній потребі в запасних частинах, трудових ресурсах та періодичності планових ремонтів [11]. У результаті збільшуються ава-

рійні простої автотранспорту та різко зростають експлуатаційні витрати.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Різноманітні наукові праці О. В. Бажинова, В. Н. Варфоломєєва, І. Є. Дюміна, А. К. Дьячкова, П. Е. Дьяченко, М. А. Єлизаветіна, М. С. Ждановського, О. І. Ісаєва, О. П. Кравченка, І. В. Крагельського, Б. І. Костецького, А. Т. Лебедева, Л. В. Назарова, М. А. Подригало, А. Н. Туренка й ін., були присвячені проведенню ряду досліджень, які з'ясовують фізичну сутність процесів та впливають на надійність автотранспорту.

Науковцями проаналізовано стратегії та систему ППР, які включають різноманітні заходи для забезпечення надійності автотранспорту. Ці заходи впроваджувалися на різних підприємствах

і давали позитивні результати. Проте відсутність контролю з боку заводу-виробника негативно позначається на надійності та довговічності автотранспорту. Брак матеріальних засобів і кваліфікованих кадрів призводить до порушень режимів технічного обслуговування і ремонту (ТОР), що, у свою чергу, знижує ресурс автотранспорту. Це особливо впливає на роботу технологічного автотранспорту.

Постановка завдання. Метою статті є розгляд концепції оптимальної періодичності заміни агрегатів вантажного автотранспорту при досягненні заданого напрацювання.

Виклад основного матеріалу. Згідно з Положенням про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту [1], існує чотири основні способи визначення та встановлення періоду заміни кожного окремого агрегату автотранспорту:

1) заміна проводиться лише після відмови агрегату;

2) заміна проводиться за планом. Зазвичай застосовується стратегія, яка передбачає проведення планової попереджувальної заміни агрегату після досягнення ним певного напрацювання та аварійну заміну в разі відмови. Новий період заміни агрегату визначається незалежно від того, чи була остання заміна плановою або аварійною;

3) заміна агрегату в процесі експлуатації відбувається після відмови агрегату, але при цьому встановлюються регламентовані періоди між капітальними ремонтами;

4) заміна агрегату здійснюється на підставі результатів технічної діагностики, із врахуванням ознак, що свідчать про наближення його граничного стану.

Необхідно зазначити, що причиною заміни агрегатів технологічного автотранспорту є підвищене зношування, яке виникає через велику запиленість повітря, порушення режимів обслуговування, правил експлуатації або використання неякісної оливи [7, 8].

Аналіз наукових джерел щодо умов експлуатації, організації ремонту, методів планування

та способів визначення періодичності й обсягів ремонтно-профілактичних робіт для автотранспорту показує, що для підтримки надійності автотранспортних засобів, що забезпечують максимальну ефективність їх використання, необхідно проводити ремонт та обслуговування відповідно до поточного технічного стану автотранспорту [3, 5–9].

Для створення математичної моделі ремонту будемо розглядати автотранспорт у вигляді структурної схеми, що складається з послідовно взаємодійних елементів та з відомими функціями розподілу напрацювання. Відомо, що ймовірність безвідмовної роботи автотранспорту за такої схеми дорівнює добутку ймовірностей безвідмовної роботи частин його елементів.

Враховуючи позитивний досвід ремонтних автопідприємств для моделі ремонту приймемо концепцію технології ремонтно-профілактичного обслуговування автотранспорту, яка передбачає попереджувальні заміни елементів при досягненні ними заданого напрацювання та допускає аварійні заміни при настанні відмов.

За критерій оптимізації K до періодів попереджувальних заміन груп елементів для зазначеної технології прийнято мінімум сумарних витрат, що обумовлені плановими A^{nl} та аварійними A^{av} замінами елемента на одиницю напрацювання автотранспорту

$$K = \frac{A^{nl} \cdot P(T) + A^{av} \cdot F(T)}{\int_0^T P(t) dt}. \quad (1)$$

Пошук оптимального варіанта заміни проведемо шляхом перебору варіантів заміни елементів у різних поєднаннях.

При заміні одного i -го елемента критерій оптимізації має вигляд

$$K_i = \frac{A_i^{nl} \frac{P_i(T_i - T_i^3 + \Delta T)}{P_i(T_i - T_i^3)} + A_i^{av} [1 - \frac{P_i(T_i - T_i^3 + \Delta T)}{P_i(T_i - T_i^3)}] + \tau \sum_{s=1}^{\omega} T_{TPs}}{\int_0^{\Delta T} \prod_{k=1}^N \frac{P_k(T_k - T_k^3 + \Delta T)}{P_k(T_k - T_k^3)} d(\Delta T)}. \quad (2)$$

Для i -го та j -го елементів

$$K_{i,j} = \left[A_i^{nl} \frac{P_i(T_i - T_i^3 + \Delta T)}{P_i(T_i - T_i^3)} + A_i^{nl} \frac{P_j(T_j - T_j^3 + \Delta T)}{P_j(T_j - T_j^3)} + A_i^{av} [1 - \frac{P_i(T_i - T_i^3 + \Delta T)}{P_i(T_i - T_i^3)}] + A_j^{av} [1 - \frac{P_j(T_j - T_j^3 + \Delta T)}{P_j(T_j - T_j^3)}] + \tau (\sum_{s=1}^{\omega} T_{mps} - T_{n3}) \right] \frac{\Delta T}{\int_0^{\Delta T} \prod_{k=1}^N \frac{P_k(T_k - T_k^3 + \Delta T)}{P_k(T_k - T_k^3)} d(\Delta T)}. \quad (3)$$

Для i -го... m -го елементів

$$K_{i...m} = \left[A_i^{nl} \frac{P_i(T_i - T_i^3 + \Delta T)}{P_i(T_i - T_i^3)} + \dots + A_m^{nl} \frac{P_m(T_m - T_m^3 + \Delta T)}{P_m(T_m - T_m^3)} + A_i^{av} \left[1 - \frac{P_i(T_i - T_i^3 + \Delta T)}{P_i(T_i - T_i^3)} \right] + \dots + A_m^{av} \left[1 - \frac{P_m(T_m - T_m^3 + \Delta T)}{P_m(T_m - T_m^3)} \right] + \tau \left(\sum_{s=1}^{\omega} T_{mps} - (m-1)T_{nz} \right) \right] \frac{\Delta T}{\int_0^{\Delta T} \prod_{k=1}^N \frac{P_k(T_k - T_k^3 + \Delta t)}{P_k(T_k - T_k^3)} d(\Delta t)}, \quad (4)$$

де A^{nl} – витрати при плановій заміні елемента;

A^{av} – витрати при аварійній заміні елемента;

$\frac{P(T - T^3 + \Delta T)}{P(T - T^3)}$ – ймовірність безвідмовної роботи елемента в період між замінами ΔT ;

$T_{i,j,...}$ – сумарне напрацювання i -го та j -го елементів на момент розрахунку;

$T_{i,j,...}^3$ – сумарний термін служби з урахуванням попередніх замін i -го та j -го елементів;

$\int_0^{\Delta T} \prod_{k=1}^N \frac{P_k(T_k - T_k^3 + \Delta t)}{P_k(T_k - T_k^3)} d(\Delta t)$ – математичне очікування напрацювання автотранспорту за період ΔT ;

τ – вартість ремонту, люд. г.;

T_{mps} – трудомісткість монтажу-демонтажу s -го елемента;

ω – кількість додаткових елементів, що підлягають монтажу-демонтажу при заміні цієї групи елементів;

T_{nz} – початковий і завершальний час на підготовку самоскида перед ремонтом та після ремонту;

m – число одночасно замінюваних елементів.

З метою знаходження оптимального варіанта групової заміни елементів необхідно визначити критерій оптимізації для всіх можливих поєднань елементів групи для одночасної заміни. Позначимо число таких поєднань

$$\sum_{K=1}^N C_N^K = 2^N - 1 \quad (5)$$

Мінімізуючи вирази (2), (3), (4), отримаємо значення ΔT_{opt} для кожного поєднання елементів, що одночасно замінюються. Використовуючи вирази (2), (3), (4), обчислимо для кожного ΔT_{opt} відповідні мінімальні значення критеріїв оптимізації K_{min} .

Найменший з отриманих критеріїв відповідає бажаному оптимальному поєднанню елементів у групі для одночасної заміни. Відповідний цьому критерію період ΔT_{opt} є оптимальним періодом заміни елементів, номери яких визначаються за індексом, за даним критерієм оптимізації.

Сучасний автотранспорт складається з багатьох деталей (елементів). Відповідно, визначити

оптимальні терміни замін кожної деталі складно. Водночас досвід показує, що нема потреби планувати період заміни для кожної деталі автотранспорту.

З метою скорочення числа елементів у розрахунковій моделі автотранспорту було сформульовано вимоги до елементів, для яких доцільно визначати оптимальні періоди замін розрахунковим шляхом, тобто:

– для кожного елемента структурної схеми має бути відома функція розподілу, напрацювання;

– елементи структурної схеми повинні взаємодіяти послідовно, тобто. відмова будь-якого з них має призводити до відмови машини в цілому;

– елемент повинен мати властивість незалежності, тобто при його заміні чи відмові показники надійності інших елементів не повинні змінюватися.

Вплив, який надають параметри функцій розподілу напрацювання на структурну схему, представлені для стратегії ремонту. Стратегія передбачає планову попереджувальну заміну елемента, якщо він досягає заданого напрацювання та непланову заміну при настанні відмови.

Враховуючи, що співвідношення витрат на планові та непланові заміни може бути лише величиною позитивною, приймемо умову $A^{nl} < A^{av}$. При цьому умова доцільності планової заміни може бути подана у вигляді наступної нерівності $0 < E < 1$.

Дослідження коефіцієнта вартості E залежно від характеру зміни інтенсивності відмов, характерної для елементів автотранспорту, показало, що:

– для елементів, що мають експоненційний розподіл напрацювання, а також розподіл Вейбулла з параметром форми $b \leq 1$ та гамма-розподіл з параметром форми $m \leq 1$, яким відповідають постійна або монотонна інтенсивність відмов, що спадає, оптимальних періодів замін не існує;

– елементи з нормальним розподілом та логарифмічно нормальним в інтервалі від нуля до значення напрацювання (розподіл Вейбулла) при параметрі $b > 1$ та гамма-розподіл при параметрі $m > 1$, мають інтенсивність відмов, що зростає.

ють, можуть мати при $A^{nl} < A^{av}$ мінімум критерію оптимізації та, отже, для цих елементів існують оптимальні періоди заміни;

– якщо витрати на планову та аварійну заміни елемента приблизно однакові, то не існує такого значення періоду заміни ΔT , за якого критерій K досяг би мінімального значення, тобто, в цьому випадку не існує оптимального значення періоду заміни.

Враховуючи отримані закономірності, всі елементи автотранспорту можна поділити на такі групи:

а) елементи, технічний стан яких може бути оцінений легко доступними методами та засобами;

б) елементи, вартість заміни яких у плановому та неплановому порядку однакова;

в) елементи з постійною або спадною інтенсивністю відмов;

г) елементи з інтенсивністю відмов, що зростають.

Елементи, що належать до груп «а», «б», «в» повинні замінюватися при настанні відмов. Для елементів групи «г» повинні бути встановлені оптимальні періоди заміни за техніко-економічними критеріями, що складені для структурної схеми конкретного автомобіля.

Витрати на планову заміну елемента мають наступний вигляд

$$A^{nl} = \sum C_z + C_{накл} + C_{эл}^{ср}, \quad (6)$$

де $\sum C_z$ – сумарні витрати на заробітну плату;

$C_{накл}$ – накладні витрати;

$C_{эл}^{ср}$ – вартість запасних частин та матеріалів.

Викликані відмовою витрати на заміну A^{av} перевищують витрати під час планової заміни на величину шкоди від втрати кількості вивезеного вантажу. Крім того, вони перевищують витрати, що зумовлені неплановими втратами на утримання автотранспорту, що не працює.

Таким чином концепція оптимальної періодичності заміни агрегатів автотранспорту передбачає попереджувальні заміни елементів при досягненні ними заданого напруження та допускає аварійні заміни при настанні відмов.

Визначити експлуатаційні витрати на підставі розробленої системи ремонтно-профілактичного обслуговування автотранспорту можна за допомогою апарату математичного моделювання. При цьому зазначимо, що характер зміни вартості деталей та експлуатаційних витрат до і після проведення ремонтного впливу залежно від пробігу мають нелінійний характер. Ці залеж-

ності можуть бути описані рівняннями регресії наступного виду

$$Y = A_0 X^0 + A_1 X^1 + A_2 X^2 + \dots + A_n X^n + \dots, \quad (7)$$

де X – значення аргументу;

A – коефіцієнти регресії.

Функція, що представлена у вигляді суми сходящого статечного ряду, дозволяє знайти її значення з будь-яким ступенем точності. Для цього формулу (7) необхідно представити у вигляді системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Методи рішення систем лінійних алгебраїчних рівнянь, що використовуються на практиці, можна умовно розділити на дві групи: точні методи та методи послідовних наближень. Найбільший інтерес при вирішенні технічних завдань представляють точні методи.

Точні методи характеризуються тим, що з їх допомогою можливо, проробивши кінцеве число операцій, одержати точні значення невідомих коефіцієнтів. При цьому передбачається, що коефіцієнти та праві частини системи точні, а всі обчислення виробляються без округлень.

Найпростішим з точних методів є метод винятків. Перетворюючи рівняння системи, добиваємося того, що у всіх рівняннях, крім одного, буде виключено одне з невідомих. Потім виключаємо інше невідоме, третє тощо. У результаті виходить система, рішення якої не становить особливих труднощів. До цього методу відносяться: схема Гауса з вибором головного елемента; компактна схема Гауса; схема Жордана зі зворотним ходом; схема Жордана без зворотного ходу й ін.

У даній роботі застосована схема Жордана без зворотного ходу. Перевага цієї схеми полягає в тому, що при її використанні не потрібно зворотний хід при визначенні невідомих коефіцієнтів.

У рівнянні (7) відомими є значення Y і X , а невідомими – значення коефіцієнтів $A_0, A_1, A_2, \dots, A_n$. Оскільки це рівняння є статечним з кількома невідомими, його рішення можливе тільки після перетворення до виду системи лінійних алгебраїчних рівнянь.

Для цього введемо нові позначення

$$Y = y, A_0 = a_1, A_1 = a_2, A_2 = a_3, \dots, A_n = a_n, X^0 = x_1, X^1 = x_2, \\ X^2 = x_3, \dots, X^{n-1} = x_n.$$

Після перетворень рівняння (7) набуває вигляду наступної системи лінійних рівнянь алгебри

$$\left. \begin{aligned} y_1^{(0)} &= a_{11}x_{11}^{(0)} + a_{12}x_{12}^{(0)} + \dots + a_{1n}x_{1n}^{(0)} \\ y_2^{(0)} &= a_{21}x_{21}^{(0)} + a_{22}x_{22}^{(0)} + \dots + a_{2n}x_{2n}^{(0)} \\ &\dots \dots \dots \dots \dots \\ y_i^{(0)} &= a_{i1}x_{i1}^{(0)} + a_{i2}x_{i2}^{(0)} + \dots + a_{in}x_{in}^{(0)} \end{aligned} \right\}, \quad (8)$$

де i – порядковий номер рівняння в системі лінійних рівнянь ($i = 1, 2, 3, \dots, n$).

Будуємо матрицю і вносимо в неї значення x при невідомих a_i значення y (Матриця 1). Вибіримо невідоме, яке необхідно виключити й рівняння, за допомогою якого будемо виробляти цей виняток.

Матриця 1

№ п/п	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{in}	y_i
1	$x_{11}^{(0)}$	$x_{12}^{(0)}$	...	$x_{1n}^{(0)}$	$y_1^{(0)}$
2	$x_{21}^{(0)}$	$x_{22}^{(0)}$	...	$x_{2n}^{(0)}$	$y_2^{(0)}$
...	...	...	...	...	...
i	$x_{i1}^{(0)}$	$x_{i2}^{(0)}$	...	$x_{in}^{(0)}$	$y_i^{(0)}$

Припустимо, що вибрано i -е рівняння і невідоме a_i . Розділивши кожен частину i -го рівняння системи рівнянь (8) на значення $x_{in}^{(0)}$, отримаємо наступне

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{y_i^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} &= \frac{x_{i1}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot a_{i1} + \frac{x_{i2}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot a_{i2} + \dots + \frac{x_{ik}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot a_{ik} + \dots + \frac{x_{in}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot a_{in}, \\ y_i^{(1)} &= x_{i1}^{(1)} \cdot a_{i1} + x_{i2}^{(1)} \cdot a_{i2} + \dots + x_{ik}^{(1)} \cdot a_{ik} + \dots + x_{in}^{(1)} \cdot a_{in} \end{aligned} \right. \quad (9)$$

де $x_{ik}^{(1)} = \frac{x_{ik}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}}$ ($k=1,2,3,\dots,n$; $x_{in}^{(1)}=1$; k – порядковий номер коефіцієнта в i -тому рівнянні).

Віднімемо з кожного додатка системи рівнянь (8), крім i -го, рівняння (9). При цьому рівняння (9) необхідно попередньо помножити на значення того рівняння системи рівнянь (8), з якого воно буде відніматися.

У результаті виконаних перетворень, отримаємо наступне

$$\left. \begin{aligned} y_1^{(0)} - \frac{y_1^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot x_{1n}^{(0)} &= a_{11}x_{11}^{(0)} - \frac{x_{11}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot x_{1n}^{(0)} a_{i1} + \dots + \\ &+ a_{1k}x_{1k}^{(0)} - \frac{x_{1k}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot x_{1n}^{(0)} a_{ik} + \dots + a_{1n}x_{1n}^{(0)} - \frac{x_{1n}^{(0)}}{x_{in}^{(0)}} \cdot x_{1n}^{(0)} a_{in}, \\ y_2^{(0)} - \frac{y_1^{(0)}}{x_{2n}^{(0)}} \cdot x_{2n}^{(0)} &= a_{21}x_{21}^{(0)} - \frac{x_{21}^{(0)}}{x_{2n}^{(0)}} \cdot x_{2n}^{(0)} a_{i2} + \dots + \\ &+ a_{2k}x_{2k}^{(0)} - \frac{x_{2k}^{(0)}}{x_{2n}^{(0)}} \cdot x_{2n}^{(0)} a_{ik} + \dots + a_{2n}x_{2n}^{(0)} - \frac{x_{2n}^{(0)}}{x_{2n}^{(0)}} \cdot x_{2n}^{(0)} a_{in}, \\ \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При цьому систему рівнянь (8) (крім i -го рівняння) можна записати у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} y_1^{(1)} &= a_{11}x_{11}^{(1)} + a_{12}x_{12}^{(1)} + \dots + a_{1n}x_{1n}^{(1)} \\ y_2^{(1)} &= a_{21}x_{21}^{(1)} + a_{22}x_{22}^{(1)} + \dots + a_{2n}x_{2n}^{(1)} \\ \dots & \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ y_i^{(1)} &= a_{i1}x_{i1}^{(1)} + a_{i2}x_{i2}^{(1)} + \dots + a_{in}x_{in}^{(1)} \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

У новій системі рівнянь (11), всі коефіцієнти а при x змінили свої початкові значення, а при значенні x_n ці коефіцієнти дорівнюють нулю, крім одного (i -го рівняння), рівного одиниці. Виходячи з системи (11) будуємо нову матрицю (Матриця 2) і всі нові значення коефіцієнтів при невідомих вносимо в неї.

Матриця 2

№ п/п	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{in}	y_i
1	$x_{11}^{(0)}$	$x_{12}^{(0)}$	...	0	$y_1^{(0)}$
2	$x_{21}^{(0)}$	$x_{22}^{(0)}$	...	0	$y_2^{(0)}$
...	...	...	...	0	...
i	$x_{i1}^{(0)}$	$x_{i2}^{(0)}$	...	1	$y_i^{(0)}$

Проробивши аналогічним чином виняток невідомого a_{n-1} в $i-1$ рівнянні, невідомого a_{n-2} в $i-2$ рівнянні, до невідомого a_1 , в 1-му рівнянні, матимемо на місці правих частин значення шуканих невідомих.

Матриця, по закінченні рішення системи лінійних алгебраїчних рівнянь після S перетворень, прийме наступний вигляд (Матриця S).

Матриця S

№ п/п	a_{i1}	a_{i2}	...	a_{in}	y_i
1	1	0	0	0	$y_1^{(0)}$
2	0	1	0	0	$y_2^{(0)}$
...	0	0	1	0	...
i	0	0	0	1	$y_i^{(0)}$

У матриці S містяться всі необхідні коефіцієнти для розв'язку системи алгебраїчних лінійних рівнянь (8). У кожному з рівнянь один з коефіцієнтів має значення одиниці, а інші – нулі. У крайньому правому стовпці матриці S розміщені коефіцієнти рівняння (7). Підставивши знайдені значення коефіцієнтів у рівняння (7), можна обчислити залишкову вартість двигуна та експлуатаційні витрати для будь-якого значення пробігу двигуна автотранспорту.

Задача визначення невідомих коефіцієнтів за методом Жордана без зворотного ходу вирішується відповідно до розробленого алгоритму:

- викликаємо підпрограму введення початкових значень при невідомих коефіцієнтах. Тут же проводиться контроль на цифру (VVOД COF);
- побудова основної матриці (POSTR);
- створюємо допоміжну матрицю після введення в ступінь початкових коефіцієнтів (ZAP);
- встановлюємо кількість повторних циклів до визначення коефіцієнтів (FOR I=1 TO 3);

– вибираємо головний елемент (MAX). Головним елементом є максимальне значення в будь-якому стовпці матриці, крім останнього, після кроку 3;

– знаходимо значення допоміжної матриці після вибору головного елемента (NAHM). Значення допоміжної матриці по кожному колонку визначаються шляхом ділення значень коефіцієнтів стовпця на максимальне значення коефіцієнта по цьому рядку;

– визначаємо нові коефіцієнти допоміжної матриці по крайньому правому стовпчику (I THMM). Обчислення згідно з кроком 5–8 виробляємо до тих пір, поки не будуть визначені коефіцієнти. Коефіцієнти вважаються знайденими, якщо по діагоналі зверху вниз у матриці будуть стояти значення 1, у всіх інших рядках – значення 0. У крайньому правому стовпці будуть знаходитися значення коефіцієнтів;

– виробляємо пересилання значень знайдених коефіцієнтів в робочий масив (PEREST);

– визначаємо значення кінцевих мінімумів, включаючи перевірку наявності коренів (XMIN YMIN);

– виводимо на друк значення знайдених кінцевих мінімумів (X MIN);

– кінець обробки інформації.

Наведений формалізований опис процесів технічної експлуатації автотранспорту дозволяє здійснити функціональне моделювання розглянутих

процесів зміни їх технічного стану та процесів технічної експлуатації.

Висновки. Система ППР на автотранспортних підприємствах базується на циклічних процесах, які мають стійку структуру та тривалість. Однак ця система не враховує технічний стан автотранспорту, що змінюється під час експлуатації.

Розроблені графіки та плани ремонтних робіт, що базуються на принципах ППР, часто не відповідають реальним потребам технічного стану автотранспорту. Це виникає через те, що вони не завжди забезпечують належну періодичність виконання ремонтних заходів, а також не враховують повного обсягу необхідних робіт, потреби у запасних частинах та трудових ресурсах. Такі недоліки можуть призводити до виникнення непередбачених аварійних простоїв автотранспорту, що, у свою чергу, спричиняє збільшення експлуатаційних витрат і порушення в роботі всієї технологічної ланки транспортного процесу.

Як результат, це знижує ефективність функціонування ремонтного автотранспортного підприємства та створює ризики для безперебійного виконання планових завдань. Після детальної оцінки всіх чинників можна буде створити надійну й ефективну систему, яка дозволяє мінімізувати ризики та оптимізувати витрати на ремонт і обслуговування автотранспорту, що актуалізує подальші дослідження.

Список літератури:

1. Положення про технічне обслуговування і ремонт дорожніх транспортних засобів автомобільного транспорту, наказ МТУ № 102 від 30.03.98 м.Київ.
2. ДСТУ 3650-97. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. м. Київ.
3. Бажинов А. В. Прогноз та управління в системі ТО та ремонту автомобілів. *Вісник ХДАДТУ*. Харків, 2000. №. 12–13. С. 34–37.
4. Іванова О. В., Коваленко О. М. Моделювання процесів технічного обслуговування і ремонту в системах транспорту. *Наукові праці*, 2020. Том 5, № 3, С. 45–56.
5. Ковальчук В. О. Стратегії технічного обслуговування в автотранспортних підприємствах. Львів: ЛНУ, 2012. – 350 с.
6. Подрігало М. А. Кухтов В. Г., Полянський А. С. Забезпечення надійності автотракторної техніки адаптивними методами технічного обслуговування та ремонту. *Автомобільний транспорт*. Х.: ХДАДТУ, 2000. Вип. 4. С. 49–51.
7. Полянський О. С. Нестеренко О. А., Молодан А. А., Степанов О. В. Принципи та структура адаптивної системи технічного обслуговування та ремонту автотракторної техніки. *Вісник ХНТУСГ*. 36. наук. тр. ХНТУСГ, 2005. Вип. 40. С. 110–117.
8. Степанов О. В. Дослідження оптимальної періодичності ремонтів автосамоскидів КраЗ, що працюють на породному відвалі. *Автомобільний транспорт*. 36. наук. тр. ХНАДУ, 2005. № 17.
9. О. В. Степанов, Т. В. Волобуєва. Адаптивна система технічного обслуговування автотранспорту. *Автомобільний транспорт та інфраструктура*. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції (18–20 квітня 2024 року). Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ. 2024. 266 с. (С. 129–132).
10. Степанов О. В., Волобуєва Т. В., Лемішко Д. С. Оптимізація оцінки технічного стану агрегатів. *Енергетичні установки та альтернативні джерела енергії* : зб. тез та доп. міжнар. конф., 11–12 берез.

2024 р. / М-во освіти і науки України, Харків. нац. автомоб.-дор. ун-т. Харків : ФОП Бровін О.В., 2024. С. 253–256.

11. Subhash Mathew. Optimal inspection frequency. International Journal of Quality & Reliability Management. Vol. 21. No. 7, 2004. pp. 763–771.

Stepanov O.V., Volobuyeva T.V., Zhdanov O.O. OPTIMAL FREQUENCY OF REPLACEMENT OF FREIGHT VEHICLE UNITS WHEN REACHING A GIVEN OPERATING TIME

The article is devoted to the concept of the optimal frequency of replacement of units of private vehicles when a given purpose is reached. It is shown that the current system of scheduled preventive maintenance of motor vehicles is based on repair cycles developed in accordance with the industry methodology for developing standards for the need for spare parts for vehicles for repair and maintenance needs. However, the repair cycles of freight vehicles obtained using various optimization criteria do not take into account their technical condition, which changes during operation. It is determined that the developed repair plans for technological freight vehicles often do not meet the actual need for spare parts, labor resources and the frequency of scheduled repairs. This leads to an increase in emergency downtime of freight vehicles and a sharp increase in operating costs. The study proves that, the reason for the replacement of units of technological freight vehicles is the increased wear rate caused by air dust, violation of maintenance regimes, operating rules or the use of low-quality oil. In order to maintain reliability indicators, taking into account the operating conditions, organization of repairs, planning methods and methods for establishing the frequency and scope of repair and maintenance work that ensure the maximum effect of their use, it is necessary to apply repair and maintenance in accordance with the current technical condition of freight vehicles. It is concluded that the proposed concept of technology for repair and preventive maintenance of freight vehicles provides for preventive replacement of elements when they reach a given operating time and allows for emergency replacements in the event of failures.

Key words: freight vehicle, technical condition, unit, repair cycles, repair and preventive maintenance.