

А.В. Гриньків, канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: avgrinkiv@gmail.com

Елементно-модульний метод системи технічного сервісу транспортних машин

В роботі запропоновано, що елементно-модульний метод системи технічного сервісу транспортних машин базується на характерних інтервалах зміни діагностичних параметрів, що визначають технічний стан їх вузлів, систем та агрегатів як елементів. Теоретично обґрунтовані зміни діагностичних параметрів з урахуванням ступеню відновлення технічного стану систем і агрегатів за операціями технічного сервісу. Розглянуто граничний ресурс елементів транспортної машини та закон розподілу цього показника. Доведено з економічної точки зору доцільність відновлення технічного стану елементів транспортних машин запропонованою системою технічного сервісу. Запропоновано критерій економічної доцільності застосування технічних дій по відновленню технічного стану транспортної машини. Показано, що запропонований елементно-модульний метод технічного сервісу дає можливість коректувати ті чи інші технічні операції забезпечення і відновлення належного рівня показників експлуатаційної надійності транспортних машин.

елементно-модульний метод, технічний сервіс, транспортна машина, діагностичний параметр, технічний стан

Постановка проблеми. У проблемі підвищення надійності функціонування та ефективності використання транспортних машин (ТМ) на підприємствах, фірм, компаній, в т.ч. агропромисловому виробництві (АПВ) велика роль належить методам удосконалення системи їх технічного сервісу. Під системою технічного сервісу розуміють сукупність принципів, правил і методів виконання технічних впливів по забезпеченню працездатного стану вузлів, систем і агрегатів ТМ [1]. При цьому технічне обслуговування (ТО) служить для підтримки технічно справного стану машин, а ремонт – відновлення їх технічного стану [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Більшість дослідників удосконалення системи технічного сервісу машин розглядає забезпечення їх експлуатаційної надійності через розробку та ефективність методів обслуговування і ремонту [2-6]. В той час фінансово-економічний стан підприємств, що мають на своєму балансі ТМ, в значній мірі залежить від їх технічного стану [7]. Вибір стратегії організації системи технічного сервісу в сучасних умовах має здійснюватися на основі системно-спрямованого аналізу зміни технічного стану ТМ в процесі експлуатації і зміни витрат на їх обслуговування [6]. Основною процедурою є побудова узагальненої моделі, що відображає взаємозв'язок окремих складових системи технічного сервісу [8]. У зв'язку з цим одним з основних стратегічних пріоритетів підвищення надійності та ефективності

роботи ТМ є вдосконалення систем забезпечення їх працездатності на основі критерію мінімуму витрат на ТО і Р. Існуючі варіанти систем ТО і Р засновані на проведенні профілактичних технічних впливів або спрямовані на усунення пошкоджень після відмови елементів систем і агрегатів ТМ [9].

До останнього часу єдиною, офіційно чинною є планово-запобіжна система (ПЗС) ТО і Р [10]. Вивчення досвіду експлуатації ТМ у АПВ свідчить, що ця система

дозволила дбайливо і раціонально витратити ресурс машин за рахунок виконання регламентованих технічних впливів [11]. Спостерігається неодноразове перевищення періоду експлуатації ТМ амортизаційного терміну служби [12]. Прагнення в даний час до збільшення продуктивного часу за рахунок скорочення терміну перебування у ТО і Р та витрат на забезпечення працездатності машин призводить в кінцевому рахунку до скорочення тривалості їх служби.

В такому випадку використання ТО і Р для парку різномарочних машин є недоцільним при відмовленні від регламентованих технічних впливів. В той час регламент проведення ТО і Р повинен бути більш індивідуальним для кожного об'єкта спостереження [13]. Це може бути досягнуто тільки при підвищенні інформативності про технічний стан машин [6]. В даний час для забезпечення справності і працездатності ТМ, крім ПЗС, застосовуються заявочна система, яка здійснюється за потребою, тобто по фактичному стану машин. При цьому ТО і Р, ПЗС, а також системи на основі планової діагностики технічного стану базуються на основі проведення технічного діагностування [14] як самостійного виду ремонтно-профілактичного впливу (рис. 1).



Рисунок 1 – Системи технічного обслуговування і ремонту транспортної техніки

Джерело: розроблено автором

Планово-запобіжна система ТО і Р ТМ в Україні дісталася у спадок. До її появи існували відповідні "Інструкції", які регламентували особливості виконання ТО і Р машин. На зміну інструкціям прийшло "Положення про профілактичне обслуговування автомобілів". В ньому вперше були прийняті принципи ПЗС забезпечення працездатності. Цим документом введена триступенева система ТО: ЩО – щоденний огляд, ТО-1, ТО-2. З 1994 р. в Україні, було прийнято "Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту" (далі "Положення-94"). Це положення передбачало альтернативу періодичності ТО за пробігом (напрацюванням) АТТ у вигляді періодичності кількості спаленого палива. У 2010 р. було затверджено наказ №173 "Про затвердження Правил технічної експлуатації тракторів, масоходних шасі, самохідних сільськогосподарських, дорожньо-будівельних і меліоративних машин, сільськогосподарської техніки, інших механізмів".

Даний наказ передбачає проведення ТО і Р за відповідний пробіг (напрацювання), регламентований заводами виробниками з врахуванням кліматичних та експлуатаційних умов та впровадження трьохсистемну стратегію обслуговування: ТО-1, ТО-2, ТО-3 (табл.1).

Таблиця 1 – Періодичність ТО транспортних машин

Тип ТМ	Періодичність, видів технічного обслуговування			
	ЩО	ТО-1	ТО-2	ТО-3
Автомобілі вантажні, причепа і напівпричепа	Один раз на робочу добу	4000 км	16000 км	–
Трактори		400 мото-год	1600 мото-год	6400 мото-год

Джерело: розроблено автором

Зазначені положення передбачають наступні технічні впливи: ТО в період обкатки; щоденне обслуговування (ЩО); перше технічне обслуговування (ТО-1); друге технічне обслуговування (ТО-2); третє технічне обслуговування (ТО-3); сезонне технічне обслуговування (СТО); поточний ремонт (ПР); капітальний ремонт (КР); технічне обслуговування під час консервації ТМ; технічне обслуговування та ремонт ТМ на лінії [15].

Якщо періодичність обслуговування ТМ відрізняється від періодичності, визначеної документацією заводу-виробника, то враховують коефіцієнт корегування, запропонований і розроблений заводом виробником, а сезонне обслуговування виконується для підготовки об'єкта до використання в осінньо-зимових чи весняно-літніх умовах. Це здійснюється двічі на рік – весною та восени.

Періодичність ТО, може бути зменшена власником ТМ до 23% у залежності від умов експлуатації. За таких умов, ремонт – комплекс операцій щодо відновлення справності або працездатності ТМ. Для реалізації поточного ремонту (ПР) можливе застосування знеособленого або комбінованого методів [16]. Знеособленість ремонту ТМ полягає у швидкій заміні несправного вузла, системи або їх агрегати, які ремонтують, справним новим чи заздалегідь відремонтованим з іншої ТМ, тобто зводиться лише до демонтажно-монтажних операцій. Не знеособленість не допускає таку заміну і ТМ очікує на повернення з ремонту системи або агрегату [17]. Комбінований методу ПР полягає в тому, що для тимчасового швидкого відновлення працездатності ТМ несправні вузли, системи і агрегати замінюють "чужими". Оскільки на відновлення "своїх" деталей для ТМ потрібен тривалий час через значну трудомісткість або ж відсутність запасних частин. Після того, як ці системи і агрегати відновленні, вони встановлюються на "свої" ТМ [18].

Розв'язанню проблеми підвищення експлуатаційної надійності ТМ розробкою ефективною системи їх технічного сервісу присвячено багато робіт вітчизняних і зарубіжних вчених, таких як Авдонькін Ф.М., Аулін В.В., Барзилович Є.Ю., Барлоу Р., Бідняк М.Н., Біліченко В.В., Волков В.П., Варфоломєєв В.М., Говорущенко М.Я., Кузнецов Є.С., Міхлін В.М., Полянський О.С., Сараєв А.В., та ін. Однією з основних умов досягнення відповідного рівня надійності вони розглядали оптимальну експлуатацію. Теоретичним питанням удосконалення управління технічним станом ТМ є вибір прогресивних технічних напрямів і систем забезпечення їх експлуатаційної надійності створенням системи технічного сервісу [19]. Оскільки система ТО і Р на певному етапі розвитку формується на основі досягнутого наукового рівня теоретичних і експериментальних досліджень, то вона періодично повинна уточнюватися і вдосконалюватися. Алгоритм реалізації діючої в Україні системи технічного сервісу

ТМ представлено на рисунку 2.

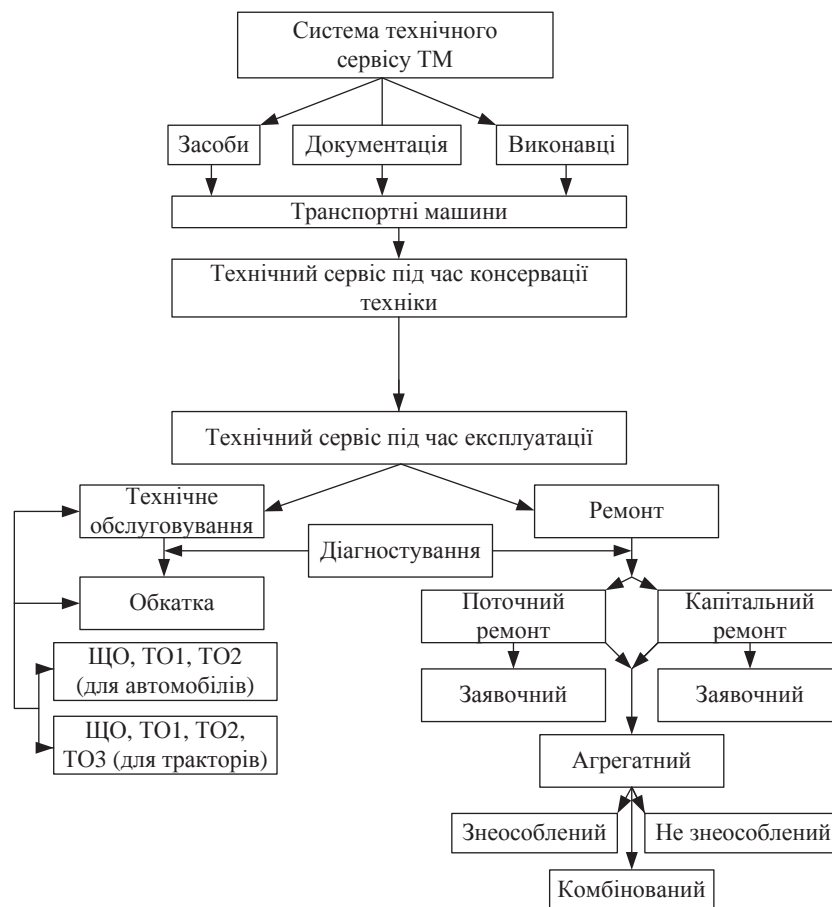


Рисунок 2 – Алгоритм реалізації діючої в Україні системи технічного сервісу ТМ
Джерело: розроблено автором

При забезпеченні експлуатаційної надійності ТМ існує тенденція переходу від ПЗС ТО і Р до системи обслуговування за технічним станом [20, 21]. Система обслуговування і ремонту за станом має три види робіт: обов'язкові, контрольно-діагностичні, усунення виявлених несправностей [22]. В міру вдосконалення методів і засобів діагностування об'єм обов'язкових робіт зменшується, в такому випадку можливе застосування в "чистому вигляді" тактики ТО і Р за станом [22, 23]. В цій системі обов'язкові роботи і діагностування є плановими, а усунення несправностей або виявлення відмов носить прогностичний та запобіжний характер [24].

Для транспортних, сільськогосподарських, будівельних та інших машин застосовується третя змішана система, яка об'єднує в собі елементи першої і другої. В свою чергу змішана система ТО і Р в залежності від методу встановлення періодичності і об'єму технічних впливів поділяється на середньостатистичну і діагностичну [25]. Для середньостатистичної системи в якості основного математичного апарату широко застосовується теорія ймовірності і математична статистика, а для діагностичної – теорія експлуатаційної надійності, що об'єднує в розумних межах детерміновані і ймовірнісні розрахунки [26-28].

Для забезпечення достатнього рівня надійності ТМ під час експлуатації, мінімізації витрат і підтримання їх в працездатному стані, а також для забезпечення максимальної ефективності використання, гостро постає питання у розробці нової або удосконаленні існуючої системи технічного сервісу [22, 29]. Зазначене дозволяє

забезпечувати необхідний рівень експлуатаційної надійності та працездатності ТМ при залученні сучасних засобів та заходів мінімізації витрат.

При модульній структурі парку машин на підприємстві ТМ, в якій вони групуються за певними ознаками, застосування єдиної системи технічного сервісу стає недоцільним. Потрібна більш гнучка, диференційована система, заснована на визначенні технічного стану кожного елемента як об'єкта діагностування.

Постановка завдання. Метою даної роботи є розробка методу побудови системи технічного сервісу, яка повинна бути адаптивною та елементно-модульною, тобто враховувати технічний стан структурних елементів вузлів, систем і агрегатів ТМ і бути спрямованою на реалізацію певних технічних дій кожного модуля парку машин.

Виклад основного матеріалу.

Визначено, що управлінням технічним станом ТМ, на основі діагностичного інформаційного забезпечення, можна гарантувати прийнятний рівень експлуатаційної надійності впровадженням елементно-модульного методу створення системи технічного сервісу. Основними завданнями підходу є [30, 31]:

- відповідність інтенсивності технічної експлуатації фактичному технічному стану;
- проведення необхідного і достатнього обсягу робіт технічного сервісу;
- належне і своєчасне управління ресурсом систем і агрегатів ТМ.

В зв'язку з цим діагностичні параметри, а отже і технічний стан ТМ, будуть змінюватися в певних межах [32,33], які використовують для виділення модулів в існуючому парку машин підприємства. Його можна характеризувати ступенем відновлення $\mu^{(B)}$. Для першого періоду напрацювання ступінь відновлення технічного стану дорівнює:

$$\mu_1^{(B)} = \left(\mu_{i1}^{(B)}, \mu_{i2}^{(B)}, \dots, \mu_{in}^{(B)} \right), \quad (1)$$

де $\mu_{ii}^{(B)} = \frac{D_{ii}}{D_{0i}}$, причому $\mu_{ii}^{(B)} \leq 1$; D_{0i} , D_{ii} – відповідно значення i -го

діагностичного параметру в початковий момент та в кінці першого відновлення технічного стану. При цьому абсолютну зміну діагностичного параметру можна визначити за виразом:

$$\Delta D_1 = D_0 \left(\mu_1^{(B)} - \exp(-\alpha_1 t_1) \right). \quad (2)$$

Після n -ної технічної дії зміна діагностичного параметру становить [140]:

$$D_n(t) = D_{0n} \exp(-\alpha_n t_n); \quad (3)$$

$$\Delta D_n(t) = D_{n-1} \left(\mu_1^{(B)} - \exp(-\alpha_n t_n) \right); \quad (4)$$

$$D_n(t) = D_{n-1}(t) \beta_n. \quad (5)$$

Оскільки процес зміни технічного стану елементів ТМ носить випадковий характер, то діагностичні параметри можна описати узагальненим випадковим процесом, який характеризується швидкістю їх спрацювання та відновлення. Враховуючи те, що елемент ТМ можна використовувати до певних граничних значень діагностичного параметру D_{ep} , слід припустити, що тривалість роботи його визначальних підсистем до поточного та капітального ремонту визначиться функцією випадкового процесу з горизонталлю D_{ep} .

Граничний ресурс елемента ТМ, дорівнює:

$$T_{zp} = \frac{1}{\lambda} \ln \frac{D(t)}{D_{zp}}. \quad (6)$$

Величина цього показника довговічності є випадковою і її можна описати законом нормального розподілу [34, 35]:

$$f(T_{zp}) = \frac{1}{V_t T_{zp} \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(T - T_{zp})^2}{2V_t^2 T_{zp}^2}\right), \quad (7)$$

де V_t – коефіцієнт варіації ресурсу відповідального елемента ТМ.

Метод організації системи управління технічним станом елементів ТМ в цілому за діагностичною інформацією дозволяє з достатньою ймовірністю визначити граничний, залишковий та використаний ресурс і найбільш обґрунтовано прийняти конкретні технічні рішення по відновленню їх технічного стану і реалізувати систему технічного сервісу в будь-які моменти експлуатації, визначити оптимальні терміни та обсяг робіт по ТО, ПР і КР. Крім того, можна планувати більш раціональне використання ТМ на підприємствах.

Оскільки метод синтезованої кількісної оцінки технічного стану базується на показниках діагностичної інформації, ресурсу елементів ТМ та модулів парку машин, то їх працездатний стан в конкретний момент часу можна уявити як функціональну залежність [36-38]:

$$R_t^M = F(D_t, T_R), \quad (8)$$

$$\text{при } \lim T_R \rightarrow 0; \lim R_t^M \rightarrow 0. \quad (9)$$

Доцільність відновлення технічного стану елементів ТМ системою технічного сервісу з економічної точки зору можна оцінити величиною затрат на здійснення технічних впливів, а також за зміною показників надійності. Якщо затрати на відновлення стану при цьому, з врахуванням втрат від простоїв по технічним причинам, подані відношенням до його первісної вартості і втрат від простоїв в період до технічної дії, перевищують величину відновленого ресурсу віднесено до величини ресурсу за певний період, то такі дії економічно недоцільні. Отже критерієм економічної доцільності застосування тих чи інших технічних дій по відновленню технічного стану ТМ є наступний:

$$\frac{C_{m\delta}^D + S_{n\delta}}{C_n + S_{\delta\delta}} \leq \frac{R_{n\delta}}{R_{\delta\delta}}, \quad (10)$$

де $C_{m\delta}^D$, C_n – відповідно собівартість технічної дії та вихідна (початкова) вартість елемента АТТ;

$S_{n\delta}$, $S_{\delta\delta}$ – втрати від простою машини по технічним причинам в період з виконанням та без виконання технічних дій;

$R_{n\delta}$, $R_{\delta\delta}$ – відповідні значення ресурсів у вказані періоди.

Критерій дає можливість оцінити припустиму собівартість виконаної технічної дії по поліпшенню стану ТМ в цілому і парку машин:

$$C_{m\delta}^D = \mu_{m\delta} (C_n + S_{\delta\delta}) - S_{n\delta}, \quad (11)$$

де

$$\mu_{m\delta} = \frac{R_{n\delta}}{R_{\delta\delta}}. \quad (12)$$

В якості критерію ефективності запропонованої технічної дії по поліпшенню

технічного стану елемента ТМ можна використати наступний [39]:

$$E_{m\partial} = f_{m\partial}^E \mu_{m\partial} \geq 1, \quad (13)$$

де $\mu_{m\partial}$ – ступінь відновлення технічного стану системи або агрегату ТМ після виконання певних технічних дій;

$f_{m\partial}^E$ – коефіцієнт економічної ефективності виконання конкретної технічної дії, значення якого можна обчислити за виразом:

$$f_{m\partial}^E = \frac{C_{\Pi} + S_{БД}}{C_{ТД}^D + S_{ПД}}. \quad (15)$$

Рациональне використання ресурсу системи або агрегатів ТМ передбачає розрахунок коефіцієнта використання ресурсу r_R [40]:

$$r_R = \frac{R_{R\partial}}{R_{Rn}}, \quad (16)$$

де R_{Rn} , $R_{R\partial}$ відповідно, потенціальний та реальний (дійсний) ресурси ТМ.

Коефіцієнт використання ресурсу може мати наступні значення: $r_R > 1$, $r_R = 1$, $r_R < 1$. Це визначається можливими ситуаціями, що залежать від ступеня використання ресурсу: $R_{Rn} > R_{R\partial}$, $R_{Rn} = R_{R\partial}$, $R_{Rn} < R_{R\partial}$.

Зазначимо, що величиною реального ресурсу оцінюють якість системи технічного сервісу, при достатньому рівні якої, показники реального і потенціального ресурсів будуть співпадати. Величина потенціального ресурсу – це норма напрацювання ТМ до наступної технічної дії. Цим попереджається недовикористання технічних можливостей ТМ в експлуатації.

Запропонований елементно-модульний метод управління системою технічного сервісу ТМ дає можливість розробити систему управління технічним станом ТМ та парком машин підприємства, який включає наступний алгоритм:

1. Визначення початкового стану: отримання інформації про конструктивні особливості, пробіг (напрацювання), тривалість експлуатації;
2. Врахування нормативно-правових актів та норм, що регулюють використання елементів і ТМ в цілому на підприємствах.
3. Умови використання ТМ на підприємствах: дорожньо-кліматичні особливості, кваліфікація операторів, навантажено-швидкісний режим експлуатації.
4. Отримання діагностичної інформації про технічний стан елементів і ТМ в цілому, використовуючи методи, методики та обладнання технічної діагностики.
5. Технічне забезпечення для аналізу діагностичної інформації з включенням програмного забезпечення на ПК.
6. Формування модулів парку машин на підприємстві для оперативного корегування номенклатурою технічних дій ТО і Р в процесі експлуатації.
7. Обробка, систематизація та узагальнення отриманої діагностичної інформації про технічний стан та експлуатаційної надійності елементів і ТМ та модулів парку машин.
8. Прогнозування технічного стану елементів ТМ у цілому в певний момент часу (напрацювання), постановка гарантованого терміну виконання ними своїх функцій, вироблення керуючих дій по підтриманню та поліпшенню їх технічного стану та стану парку машин за допомогою елементно-модульної системи ТО і Р, побудованої на основі запропонованого методу.

Запропонований алгоритм управління реалізує комплексний підхід для побудови ефективної елементно-модульної системи ТО і Р. Маючи інформацію про початковий

стан для підтримання і належного рівня складу надійності парку машин підприємства та врахувавши умови використання ТМ можливо ідентифікувати стратегію системи ТО і Р та визначити закономірності зміни технічного стану їх елементів. Важливим є врахування конкретних нормативно-правових актів та норм, що регулюють експлуатацію ТМ на підприємстві, оскільки недотримання хоча одного з приписів може призвести до заборони експлуатації.

Управління технічним станом елементів ТМ і модулів парку машин підприємств орієнтовано перш за все, на оперативний контроль ресурсовизначальних діагностичних параметрів технічних систем та їх підсистем, спеціальні режими адаптації на початковому етапі експлуатації, коли експлуатаційні відмови практично відсутні. Виявляються і враховуються особливості впливу режимів роботи ТМ і зовнішніх умов на діагностичну інформацію про їх технічний стан. Отримана інформація у вигляді масиву результатів діагностики різноманітними методами і методиками [41-44] не може бути одномірною та рівнозначною. Постає необхідність групування та зберігання інформації, що висуває певні вимоги до програмного забезпечення.

В дослідженнях при ЩО застосовувались операції з періодичністю близько 1500км пробігу для автомобілів або 62,5 мото-год для тракторів. Терміни проведення операцій корегуватися в певних межах з метою узгодження та періодичного співпадання з графіком проведення робіт по ТО-1. Операції відповідали термінам як за ПЗС, так і елементно-модульною системою (ЕМС) ТО і Р та необхідності виконання робіт ТО-2 для автомобілів і тракторів та ТО-3 – для тракторів.

Застосування операцій адекватного рівня технічного стану ТМ доцільно при виконанні робіт ПР і КР, де бажано достовірно знати наявний технічний стан, а отже мати можливість прогнозувати його на тривалий термін експлуатації. Чим точніше та повніше буде отримана інформація, включаючи інформацію про стан матеріалу деталей, геометричні параметри деталей та спряжень, наявність прихованих потенційних дефектів, тим більш достовірно буде дано гарантований строк служби елементів ТМ, звичайно враховуючи умови експлуатації та інтенсивність використання.

Для ТМ технічні дії за ПЗС ТО і Р і інтервали діагностування були чітко визначені в 62,5 мото-год / 3000 км пробігу. Проведення та об'єм технічних дій здійснюване по регламенту ПЗС й прийняті на підприємстві. При цьому можливі відхилення. Згідно нормативу вони склали $\pm 10\%$.

Порядок виконання діагностичних операцій і технічних дій, при використанні елементно-модульної системи ТО і Р, та управління технічним станом для автомобілів КамАЗ пропонується наступним чином: виконання діагностичних операцій з певною періодичністю (1500 км пробігу), якщо технічний стан елементів ТМ змінюється стабільно та допускає використання його на планований період; ТО-1 (0...3000 км пробігу) з відповідними операціями діагностування і ранжованого ряду технічних дій в обсязі передбаченому реальним технічним станом; наступні ТО-1 в терміни та обсязі регламентованому поточним технічним станом. Зазначимо, що при цьому змінюється не лише терміни та структура технічних дій, але і кількість ТО. Термін ТО-2, що визначає здатність моторної оливи виконувати свої функції, складає близько 12 тис. км пробігу з операціями діагностування та відповідними технічними діями. Терміни операцій ПР – в разі потреби – з попередніми операціями діагностування складає в межах інтервалу 0...300 тис. км, а КР – по потребі 300 тис. км пробігу.

Для тракторів Т-150К, МТЗ 1025, 8РТ ІТ4 структура операцій мала вид: виконання діагностичних операцій з певною періодичністю (62,5 мото-год), при досягненні ТО-1 (125 мото-год) операції діагностування ранжованого ряду з

відповідними технічними діями в обсязі передбаченому Положенням, наступні три ТО-1 – аналогічно; ТО-2 через 250 мото-год з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ТО-3 через 500 мото-год з операціями діагностування та відповідними технічними діями; ПР – в разі потреби з попередніми операціями діагностування в межах інтервалу 0...10000 мото-год; КР – при досягненні 10000 мото-год.

Операції діагностування ТМ за елементно-модульним методом проводили в термінах аналогічно за ПЗС, якщо відсутня ситуація критичного або є сумніви щодо певного виду технічного стану. У разі отримання сигналу небезпечного, передаварійного стану, проводиться уточнення причини його виникнення згідно ранжованого ряду інформаційного забезпечення управління технічним станом ТМ. В даному випадку можливе відхилення від зазначеної періодичності та перехід на вищий рівень дослідження, що пов'язано з необхідністю уточнення параметрів технічного стану ТМ.

Зазначимо, що порядок отримання діагностичної інформації в досліджуваних ТМ, при збереженні єдиної структури управління технічним станом елементів, може мати відмінності в термінах та повноті проведення пошукових дій.

Реалізуючи запропонований елементно-модульний метод управління технічним станом, можливо спрогнозувати необхідні операції ТО, що в подальшому будуть відображені в послідовності їх реалізації для реальної експлуатації ТМ досліджуваного парку машин підприємства. Враховуючи значення діагностичних даних досліджуваних елементів ТМ та математичні закономірності зміни відповідних діагностичних параметрів здійснюють прогнозування на основі системи диференціальних рівнянь графу зміни станів ТМ [44]. Запропонована система прогнозування технічного контролю та регулювання досліджуваних елементів ТМ наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Результати прогнозування експлуатаційної надійності технічного стану ТМ на основі реалізації елементно-модульного методу ТО і Р

Двигун АТТ					
Напряцювання, мото-год	Перелік діагностичних параметрів	Значення діагностичних параметрів		Ймовірність знаходження досліджуваних ТМ, в стані нормальної експлуатації	Пробіг (напрацювання) до проведення контролю та ТО, мото-год
		Граничне	Поточне		
КамАЗ-740					
0...270	Компресія в ЦПГ, МПА	2,5	2,82	0,91	245
	Лужне число робочої моторної оливи, мг/мгКОН	4,0	3,9		
	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	2,2	2,1		
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	3,0	3,25		
	Температура спалаху моторної оливи в закритому тиглі, С°	210	205		

Продовження таблиці 2

John Deere PowerTech 9,0 1 Stage II					
0...250	Компресія в ЦПГ, МПА	2,6	3,05	0,92	290
	Лужне число робочої моторної оливи, мг/мгКОН	5,0	7,9		
	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	2,5	2,1		
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	3,4	3,09		
	Температура спалаху моторної оливи в закритому тиглі, С°	190	214		
Трансмісія					
АТТ сімейства КамАЗ					
0...270	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	3,2	1,2	0,92	280
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	3,8	2,5		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	6,0	7,9		
АТТ сімейства John Deere					
0...500	Вміст механічних домішок в робочій моторній оливі, %	3,2	0,8	0,91	460
	Діелектрична проникність робочої моторної оливи	2,7	2,8		
	Лужне число оливи, мг/мгКОН	11,0	10,4		

Аналіз отриманих результатів свідчить, що на основі розробленої на основі запропонованого методу елементно-модульної системи ТО і Р та використання критеріїв статистичної інформативності контрольних діагностичних параметрів вдалося спрогнозувати та отримати дані надійності та пробіги ТМ, які задовольняють рівень надійності на межі 0,9. Значення прогнозних пробігів за діагностичними параметрами технічного стану елементів ТМ, на яких слід проводити контрольні та регулювальні дії досліджуваних елементів ТМ, що працюють у важких умовах експлуатації АПВ, дають змогу проводити уточнення стратегії технічного обслуговування для конкретних модулів парку машин на підприємствах. За даними таблиці можливе коректування інтервалів напрацювання, з урахуванням пробігів контролю і регулювання для силових агрегатів ТМ. В свою чергу зменшується кількість діагностичних простоїв. Відповідно до умов експлуатації для силового агрегату ТМ КамАЗ 740 ТО-2 потрібно зменшити на 9,3 %, щоб забезпечити його експлуатаційну надійність більше рівня 0,9, а обслуговування трансмісії ТМ сімейства КамАЗ можливо збільшити на 3,4 % відповідно. Натомість для елемента ТМ John Deere PowerTech 9,0 1 Stage II ТО-2 можна збільшити за напрацюванням на 16,1 %, а трансмісію потрібно обслуговувати раніше на 8%. Дані розрахунки є ефективними для сформованих модулів парку машин підприємства.

Висновки.

1. Розглянуто ступінь відновлення технічного стану елементів транспортних машин за зміною діагностичних параметрів з напрацюванням, а також його граничний стан, граничний ресурс та його закон розподілу за запропонованим методом їх технічного обслуговування і ремонту.
2. Враховуючи діагностичну інформацію, ресурс елементів транспортних машин та модулів парку машин запропоновано функціональну залежність залишкового ресурсу від цих величин, критерій економічної доцільності застосування тих чи інших дій по відновленню технічного стану.
3. Критерій економічної доцільності відновлення стану транспортних машин

запропонованим методом системи технічного сервісу дає можливість оцінити припустиму собівартість виконаної технічної дії, запропонувати критерій її ефективності та раціональне використання ресурсу за відповідними коефіцієнтами.

4. Запропоновано елементно-модульний метод управління системного технічного сервісу транспортних машин та парку машин підприємства. Розроблено алгоритм реалізації методу. Показано, що управління технічним станом елементів транспортних машин і модулів парку машин орієнтовано на оперативний контроль ресурсовизначальних діагностичних параметрів, спеціальні режими адаптації з урахуванням особливостей впливу режимів роботи транспортних машин і зовнішніх умов.

5. Розроблено порядок виконання діагностичних операцій і технічних дій за елементно-модульним методом в системі технічного обслуговування та ремонту. Показано, що реалізацію запропонованого методу управління технічним станом можливо спрогнозувати. Наведено систему прогнозування експлуатаційної надійності технічного стану транспортних машин за такими їх елементами як двигун і трансмісія. Дано рекомендації про коректування технологічних операцій зазначених елементів.

Список літератури

1. Макарова И.В., Хабибуллин Р.Г., Беляев Э.И. Повышение коэффициента технической готовности парка автомобильной техники средствами интеллектуализации транспортной системы. *Фундаментальные исследования*. 2013. № 10-2. С. 282-287.
2. Kurochkin V. N., Nikitchenko S. L., Nesmiyan A. Y., Nazarenk S. A. Reliability of technological systems: structure and modeling. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. Production 27-28 August 2020, Rostov Region. 2021. Vol. 659, No. 1. P. 012-009.
3. Gollin, D., Rogerson, R. Productivity, transport costs and subsistence agriculture. *Journal of Development Economics*. 2014. №107. 38-48.
4. Patel K. K., Schot J. Twisted paths to European integration: comparing agriculture and transport policies in a transnational perspective. *Contemporary European History*. 2011. 20(4). P. 383-403.
5. Sroka Z. J. Some aspects of thermal load and operating indexes after downsizing for internal combustion engine. *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 2012. № 110(1). P. 51-58.
6. Аналитические исследования эксплуатации автотранспортных средств: монография / Г.Н. Груздов та інші. М.: РУСАЙНС, 2015. 144с.
7. Антонюк О. П. Покращення процесу забезпечення запасними частинами рухомого складу автотранспортного підприємства: дис... канд. техн. наук: 05.22.20 / Вінниц. нац. техн. ун-т. Вінниця. 2021. 174 с.
8. Repin S., Evtiulov S., Rajczyk J. Optimizing the service life of plant machinery and vehicles using information system for management of engineering status. *Architecture and Engineering*. 2016. Vol. 1(2). P. 53-57.
9. Колобов К. С. Удосконалення способу експрес-діагностування технічного стану транспортних дизелів: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Держ. підпр. "Держ. автотрансп. наук.-досл. та проект. ін-т". Київ, 2019. 186 с.
10. Повышение готовности к использованию по назначению мобильной сельскохозяйственной техники совершенствованием системы диагностирования / Н.В. Бышов, С.Н. Борячев, И.А. Успенский и др. Рязань: РГАТУ, 2013. 172 с.
11. Daniyarovich B. D. Creation and organization of a system of branded technical service for agricultural machines. international journal of discourse on innovation, integration and education. *International journal of discourse on innovation, integration and education*. Karshi. Karshi branch of the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers. 2020. Vol. 1. №4. С. 120-124.
12. Голубев И.Г., Фадеев А.Ю., Макуев В.А. Оценка качества технического сервиса тракторов. *Техника и оборудование для села*. 2010. №7. С. 40-41.
13. Голубев И.Г. Организация сервисного обслуживания сельскохозяйственной техники зарубежными фирмами на российском рынке. *Техника и оборудование для села*. 2013. №6. С. 36 -38.
14. Дидманидзе О.Н., Варнаков Д.В. Прогнозирование параметрической надежности двигателей автотранспортных средств в нормальном и специальном эксплуатационных режимах. *Международный технико-экономический журнал*. 2013. №3. С. 94-98.

15. Rybacki P. The research of the quality of agricultural machines technical service by servqual method. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*. 2011. Vol. 56, № 2. P. 122-143.
16. Успенский И.А., Безруков Д.В., Николотов И.Н. Роль диагностирования тормозных систем в повышении безопасности движения и эффективности технической эксплуатации. *Фундаментальные и прикладные проблемы совершенствования поршневых двигателей. XII Международная научно-практическая конференция*. Владимир: ВГТУ, 2010. С. 329–331.
17. Osuch A., Osuch E., Rybacki P., Przygodziński P., Kozłowski R., Przybylak A. A decision support method for choosing an agricultural machinery service workshop based on fuzzy logic. *Agriculture*. 2020. Vol. 10(3). P. 76-84.
18. Диагностика технических устройств / Г. А. Бигус, Ю. Ф. Даниев, Н. А. Быстрова, Д. И. Галкин М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 615с.
19. Filipczyk J., Madej H. The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*. 2010. Vol. 17, P. 99-104.
20. Салмин В.В. Обоснование эвристического метода оценки элементов системы ВАДС. *Транспорт Урала*. 2011. №4. С. 12–16.
21. Dalla Vedova, M. D., Berri, P. C. Optimization techniques for prognostics of on-board electromechanical servomechanisms affected by progressive faults. *International Review of Aerospace Engineering* (I. RE. AS. E). India. Indian Institute of Technology Kanpur. 2019. Vol. 12(4). P 160-170.
22. Voronov V. S., Rouban A. I. Identification of models using analog sensitivity functions. *In Journal of Physics: Conference Series*. 2020. Vol. 1679. No. 3. P. 032-045.
23. Вдосконалення методики формування потужності зони поточного ремонту автомобілів. / Цимбал С. В., Біліченко В. В., Крещенецький В. Л. та ін. *Наукові нотатки*. 2018. Вип. 62. С. 44-47.
24. Дубінін Є. О., Клец Д. М., Холодов А. П., Слинченко, І. В. Мобільний реєстраційно-вимірювальний комплекс для оцінювання та підвищення експлуатаційних властивостей колісних машин. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. Вип. 2(88). 2020. С. 56-60.
25. Ermakova O. V., Kaloshina M. N., Dianova E. V. Management of innovative projects over the life cycle of distributed aviation systems. *Russian Engineering Research*. 2019. Vol. 39(5), P. 439-442.
26. Кореневский Н. А., Разумова К. В. Синтез коллективов гибридных нечетких моделей оценки состояния сложных систем. *Научное издание*. 2014. Вип. 15(12). P. 31-39.
27. Афанасьева Т.В. Моделирование нечётких тенденций временных рядов : монография. Ульяновск: Изд-во УлГТУ. 2013. 214 с.
28. Ярушев С.А., Аверкин А.Н., Павлов В.Ю. Когнитивные гибридные системы поддержки принятия решений и прогнозирования. *Программные продукты и системы*. 2017. Вип. 30(4). С. 57-68.
29. Воронина В.В., Мухаметзянов А.Д., Балдина Ю.С. Разработка web-сервиса для работы с программируемыми логическими интегральными схемами. *Automation of control Proce.* 2015. №3(41). С.98-105.
30. Глущенко А. А., Зейнетдинов Р. А., Вайчик, И. С. Диагностирование двигателя по содержанию продуктов износа в картерном масле. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2015. Вип. 41. С. 48-51.
31. Gopal K., Prakash R. Building the business case for telematics based diagnostics at Mahindra Reva. *World electric vehicle journal*. 2012. Vol. 5(3). P. 722-729.
32. Песковацков Д. Н. К вопросу технического обслуживания тракторов в сельском хозяйстве за рубежом. *Наука без границ*. 2018. Вип. 10, № 27. С. 69-73.
33. Мальха Е.Ф., Катаев Ю.В., Вялых Д.Г. Дилерская форма организации технического сервиса машин. *Наука без границ*. 2018. Вип 5, № 22. С. 73-78.
34. Filipczyk J., Madej H. The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*. 2010. Vol. 17. P. 99-104.
35. Шило И. Н., Миклуш В. П., Лабушев Н. А. Концепция модернизации инженерно-технической системы АПК Республики Беларусь. *Труды ГОСНИТИ*. 2014. Вип. 117. С. 18-23.
36. Erokhin M., Pastukhov A. G., Kazantsev S. P. Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for Rural Development*. 2019. Vol. 17. P. 28-33.
37. Казакова В., Шинкевич В., Дунаев А. Перспектива совершенствования технического обслуживания сельскохозяйственной техники. *Инновации в сельском хозяйстве*. 2019. Вип. 3. С. 218-224.
38. Loo-Sánchez O.A., Cevallos-Mera R.X., Shkiliova L. Diagnosis of agricultural mechanization in faour communities in Manabí Province, Ecuador. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*. 2019. Vol. 28, № 1. P.28-39.
39. Krzaczek P., Piekarski P. Utilization of vehicle control-diagnostic system in evaluation of energetic

- parameters. *Zeszyty naukowe politechniki rzeszowskiej. Mechanika*. 2010. Vol. 81. № 277. С. 7-14.
40. Hrushets'kii S.N., Didur V.V. The problems of technical servicing and providing machinery reliability for AIC. *Вісник Українського відділення Міжнародної академії аграрної освіти*. 2015. Вип. 3. С.154-160.
41. Siegel J., Bhattacharyya R., Deshpande A., Sarma S. Vehicular engine oil service life characterization using on-board diagnostic (OBD) sensor data. In *SENSORS*. 2014 IEEE. 2-5 Nov. 2014. Valencia, Spain. P. 1722-1725.
42. Olszowski S., Marczak M. Diagnostics of new generation diesel engines. *Diagnostyka*. 2008. Vol. 48. P. 83-88.
43. Аулин В.В., Гриньків А.В. Связь информационной энтропии с показателями надежности агрегатов и транспортных средств. Материалы X междунаучно-техн. конф. "Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств: Эксплуатация и развитие автомобильного транспорта". Пенза: ПГУАС. 2015. С.39-44.
44. Аулін В.В., Жулай О.Ю., Лівіцький О.М. Транспортні засоби в агропромисловому комплексі та система діагностичного моніторингу їх технічного стану. *Конструювання, виробництво та експлуатація с/г машин: загальнодерж. міжвід. наук.-техн. зб.* 2007. Вип. 37. С. 146-154.

References

1. Makarova I.V., Habibullin R.G. & Belyaev E.I. (2013). Povyishenie koeffitsienta tehnikeskoy gotovnosti parka avtomobilnoy tehniki sredstvami intellektualizatsii transportnoy sistemyi [Increasing the coefficient of technical readiness of the fleet of automotive vehicles by means of intellectualization of the transport system]. *Fundamentalnyie issledovaniya - Basic research*, №10-2. S.282-287 [in Russian].
2. Kurochkin, V.N., Nikitchenko, S.L., Nesmiyan, A.Y. & Nazarenk, S.A. (2021). Reliability of technological systems: structure and modeling. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Production 27-28 August 2020, Rostov Region*, Vol. 659, No. 1. P. 012-009 [in English].
3. Gollin, D. & Rogerson, R. (2014). Productivity, transport costs and subsistence agriculture. *Journal of Development Economics*, 107, 38-48 [in English].
4. Patel, K.K. & Schot, J. (2011). Twisted paths to European integration: comparing agriculture and transport policies in a transnational perspective. *Contemporary European History*. 20(4). P. 383-403 [in English].
5. Sroka, Z. J. (2012). Some aspects of thermal load and operating indexes after downsizing for internal combustion engine. *Journal of thermal analysis and calorimetry*. 110(1). P. 51-58 [in English].
6. Gruzdov, G.N. et al. (2015). *Analiticheskie issledovaniya ekspluatatsii avtotransportnyih sredstv: monografiya [Analytical studies of the operation of vehicles: monograph]*. Moskva: RUSAYNS [in Russian].
7. Antoniuk, O.P. (2021) Pokrashchennia protsesu zabezpechennia zapasnymy chastynamy rukhomoho skladu avtotransportnoho pidpriemstva [Improvement of the process of supplying spare parts of a crumbly warehouse of motor transport enterprises]: *Candidate's thesis*. Vinnytsia [in Ukrainian].
8. Repin, S., Evtiulov, S. & Rajczyk, J. (2016). Optimizing the service life of plant machinery and vehicles using information system for management of engineering status. *Architecture and Engineering*. Vol. 1(2). P. 53-57 [in English].
9. Kolobov, K.S. (2019). Udoskonalennia sposobu ekspres-diahnostuvannia tekhnichnoho stanu transportnykh dyzeliv [Improving the method of rapid diagnosis of the technical condition of transport diesels]. *Candidate's thesis*. Derzh. avtotransp. nauk.-dosl. ta proekt. in-t" [in Ukrainian].
10. Byshov N.V., Borychev S.N., Uspensky I.A. et al. (2013). Povyishenie gotovnosti k ispolzovaniyu po naznacheniyu mobilnoy selskohozyaystvennoy tehniki sovershenstvovaniem sistemyi diagnostirovaniya [Improving the readiness for the intended use of mobile agricultural machinery by improving the diagnostic system. *Ryazan: RGATU - Ryazan: RGATU* [in Russian].
11. Daniyarovich, B.D. (2020). Creation and organization of a system of branded technical service for agricultural machines. international journal of discourse on innovation, integration and education. *International journal of discourse on innovation, integration and education*. Karshi. Karshi branch of the Tashkent institute of irrigation and agricultural mechanization engineers. Vol. 1. №4. 120-124 [in English].
12. Golubev, I.G., Fadeev, A.Yu. & Makuev, V.A. (2010). Otsenka kachestva tehnikeskogo servisa traktorov [Evaluation of the quality of technical service of tractors]. *Tehnika i oborudovanie dlya sela - Machinery and equipment for the village*, 7, 40-41 [in Russian].
13. Golubev, I.G. (2013). Organizatsiya servisnogo obsluzhivaniya selskohozyaystvennoy tehniki zarubezhnyimi firmami na rossiyskom rynke [Organization of service maintenance of agricultural

- machinery by foreign firms in the Russian market]. *Tehnika i oborudovanie dlya sela - Machinery and equipment for the village*, 6, 36-38 [in Russian].
14. Didmanidze, O.N. & Varnakov, D.V. (2013). Prognozirovaniye parametricheskoy nadezhnosti dvigateley avtotransportnykh sredstv v normalnom i spetsialnom ekspluatatsionnykh rezhimakh [Predicting the parametric reliability of motor vehicle engines in normal and special operating conditions]. *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskyy zhurnal - International technical and economic journal*, 3, 94-98 [in Russian].
 15. Rybacki, P. (2011). The research of the quality of agricultural machines technical service by servqual method. *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, Vol. 56, № 2. P. 122-143 [in English].
 16. Uspenskiy, I.A., Bezrukov, D.V. & Nikolotov, I.N. (2010). Rol diagnostirovaniya tormoznykh sistem v povyshenii bezopasnosti dvizheniya i effektivnosti tekhnicheskoy ekspluatatsii [The role of diagnosing brake systems in improving traffic safety and the efficiency of technical operation]. *Fundamentalnyye i prikladnyye problemy sovershenstvovaniya porshnevnykh dvigateley - Fundamental and applied problems of improving piston engines*. XII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya. Vladimir: VGTU. 2010. S. 329-331 [in Russian].
 17. Osuch, A., Osuch, E., Rybacki, P., Przygodziński, P., Kozłowski, R. & Przybylak, A. (2020). A decision support method for choosing an agricultural machinery service workshop based on fuzzy logic. *Agriculture*, Vol. 10(3). P. 76-84 [in English].
 18. Bigus, G.A., Daniev, Yu.F., Byistrova, N.A. & Galkin, D.I. (2014). *Diagnostika tekhnicheskikh ustroystv [Diagnostics of technical devices]*. Moskva: Izd-vo MG TU im. N.E. Baumana [in Russian].
 19. Filipczyk, J. & Madej, H. (2010). The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*, Vol. 17. P. 99-104 [in English].
 20. Salmin, V.V. (2011). Obosnovaniye evristicheskogo metoda otsenki elementov sistemy VADS [Substantiation of the heuristic method for evaluating the elements of the VADS system]. *Transport Urala - Ural transport*, 4, 12-16 [in Russian].
 21. Dalla Vedova, M.D. & Berri, P. C. (2019). Optimization techniques for prognostics of on-board electromechanical servomechanisms affected by progressive faults. *International Review of Aerospace Engineering (I. RE. AS. E)*. India. Indian Institute of Technology Kanpur. Vol. 12(4). P. 160-170 [in English].
 22. Voronov, V.S. & Rouban, A.I. (2020). Identification of models using analog sensitivity functions. *In Journal of Physics: Conference Series*. Vol. 1679. No. 3. P. 032-045 [in English].
 23. Tsybmal, S. V., Bilichenko, V. V., Kreshchenetskiy, V. L. et al. (2018). Vdoskonalennia metodyky formuvannia potuzhnosti zony potochnoho remontu avtomobiliv [Improving the method of forming the capacity of the current repair zone of cars]. *Naukovi notatky - Scientific notes*, Vol. 62, 44-47 [in Ukrainian].
 24. Dubinin, Ye.O., Klets, D.M., Kholodov, A.P. & Slynchenko, I.V. (2020). Mobilnyi reiestratsiino-vymiriuvalniy kompleks dlia otsiniuvannia ta pidvyshchennia ekspluatatsiinykh vlastyvostei kolisnykh mashyn [Mobile registration and measuring system for evaluating and improving the performance of wheeled vehicles]. *Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho avtomobilno-dorozhnoho universytetu - Bulletin of Kharkiv National Automobile and Road University*, Vol. 2(88), 56-60 [in Ukrainian].
 25. Ermakova, O.V., Kaloshina, M.N. & Dianova, E.V. (2019). Management of innovative projects over the life cycle of distributed aviation systems. *Russian Engineering Research*. Vol. 39(5). P. 439-442 [in English].
 26. Korenevskiy, N.A. & Razumova, K.V. (2014). Sintez kollektivov gibridnykh nechetkikh modeley otsenki sostoyaniya slozhnykh sistem [Synthesis of collectives of hybrid fuzzy models for assessing the state of complex systems]. *Naukoemkie tekhnologii - Science-intensive technologies*, Vol. 15(12), 31-39 [in Russian].
 27. Afanaseva, T.V. (2013). *Modelirovaniye nechYotkikh tendentsiy vremennykh ryadov [Modeling fuzzy trends in time series Monograph]*. Ulyanovsk: Izd-vo UIGTU [in Russian].
 28. Yarushev, S.A., Averkin, A.N. & Pavlov, V.Yu. (2017). Kognitivnyye gibridnyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy i prognozirovaniya [Cognitive hybrid decision support and forecasting systems]. *Programmnyye produkty i sistemy - Software products and systems*, Vol. 30(4), 57-68 [in Russian].
 29. Voronina, V.V., Muhametzyanov, A.D. & Baldina, Yu.S. (2015). Razrabotka web-servisa dlya raboty s programmiruemyimi logicheskimi integralnymi shemami [Development of a web service for working with programmable logic integrated circuits]. *Automation of control Proce - Automation of control Process*, 3(41), 98-105 [in Russian].
 30. Gluschenko, A.A., Zeynetdinov, R.A., Vaychik & I.S. (2015). Diagnostirovaniye dvigatelya po sodержaniyu produktov iznosa v karternom masle [Engine diagnostics by the content of wear products in

- crankcase oil]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta - Proceedings of the St. Petersburg State Agrarian University*, Vol. 41, 48-51 [in Russian].
31. Gopal, K. & Prakash, R. (2012). Building the business case for telematics based diagnostics at Mahindra Reva. *World electric vehicle journal*. Vol. 5(3). P. 722-729 [in English].
 32. Peskovatskov, D.N. (2018). K voprosu tehničeskogo obsluzhivaniya traktorov v selskom hozyaystve za rubezhom [On the issue of maintenance of tractors in agriculture abroad]. *Nauka bez granits - Science without borders*, Vol. 10, № 27, 69-73 [in Russian].
 33. Malyiha, E.F., Kataev, Yu.V. & Vyalyih, D.G. (2018). Dilerskaya forma organizatsii tehničeskogo servisa mashin [Dealer form of organization of technical service of machines]. *Nauka bez granits - Science without borders*, Vol 5, 22, 73-78[in Russian].
 34. Filipczyk, J. & Madej, H. (2010). The application of on-board diagnostics systems for assessing the technical state of automotive vehicles. *Journal of KONES*. Vol. 17. P. 99-104 [in English].
 35. Shilo, I.N., Miklush, V.P. & Labushev, N.A. (2014). Kontsepsiya modernizatsii inzhenerno-tehničeskoy sistemyi APK Respubliki Belarus [The concept of modernization of the engineering and technical system of the agro-industrial complex of the Republic of Belarus]. *Trudyi GOSNITI - Proceedings of GOSNITI*, Vol. 117, 18-23 [in Russian].
 36. Erokhin, M., Pastukhov, A.G. & Kazantsev, S.P. (2019). Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters. *Engineering for Rural Development*. Vol. 17. P. 28-33 [in English].
 37. Kazakova, V., Shinkevich, V. & Dunaev, A. (2019). Perspektiva sovershenstvovaniya tehničeskogo obsluzhivaniya selskohozyaystvennoy tehniki [Prospects for improving the maintenance of agricultural machinery]. *Innovatsii v selskom hozyaystve - Innovations in agriculture*, Vol. 3, 218-224 [in Russian].
 38. Loo-Sácido, O.A., Cevallos-Mera, R.X. & Shkiliova, L. (2019). Diagnosis of agricultural mechanization in faour communities in Manabí Province, Ecuador. *Revista ciencias técnicas agropecuarias*. Vol. 28, 1. P.28-39 [in English].
 39. Krzaczek, P., Piekarski, P. (2010). Utilization of vehicle control-diagnostic system in evaluation of energetic parameters. *Zeszyty naukowe politechniki rzeszowskiej. Mechanika*. Vol. 81, 277. 7-14 [in English].
 40. Hrushets'kii, S.N. & Didur, V.V. (2015). The problems of technical servicing and providing machinery reliability for AIC. *Bulletin of the Ukrainian Branch of the International Academy of Agrarian Education*. Vol. 3, 154-160 [in English].
 41. Siegel, J., Bhattacharyya, R., Deshpande, A. & Sarma, S. (2014). Vehicular engine oil service life characterization using on-board diagnostic (OBD) sensor data. In *SENSORS*, IEEE. 2-5 Nov. 2014. Valencia, Spain. P. 1722-1725 [in English].
 42. Olszowski, S., Marczak, M. (2008). Diagnostics of new generation diesel engines. *Diagnostyka*. Vol. 48. P. 83-88 [in English].
 43. Aulin, V.V. & Grinkiv, A.V. (2015). Svyaz informatsionnoy entropii s pokazatelyami nadezhnosti agregatov i transportnykh sredstv [Communication of information entropy with indicators of reliability of units and vehicles]. *Materialy X mezhd. nauchno-tehn. konf. "Problemyi kachestva i ekspluatatsii avtotransportnykh sredstv: Ekspluatatsiya i razvitie avtomobilnogo transporta" - Materials X int. scientific and technical conf. "Problems of quality and operation of motor vehicles: Operation and development of motor transport"*. Penza: PGUAS. 2015. S.39-44 [in Russian].
 44. Aulin, V.V., Zhulai, O.Iu. & Livitskiy, O.M. (2007). Transportni zasoby v ahropromyslovomu kompleksi ta systema diahnostrychnoho monitorynhu yikh tekhnichnoho stanu [Vehicles in the agro-industrial complex and the system of diagnostic monitoring of their technical condition]. *Konstruiuvannia, vyrobnytstvo ta ekspluatatsiia s/h mashyn. Zahalnodержavnyi mizhvidomchyi naukovo-tekhnichnyi zbirnyk - Design, manufacture and operation of agricultural machinery. National interdepartmental scientific and technical collection*, Vol. 37, 146-154 [in Ukrainian].

Andrey Hrinkiv, Senior Researcher, PhD tech. sci.

Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine

Element-modular Method of the System of Technical Service of Transport Machines

The paper proposes that the element-modular method of the system of technical service of transport machines is based on the characteristic intervals of change of diagnostic parameters that determine the technical condition of their components, systems and units as elements. Theoretically substantiated changes in diagnostic parameters taking into account the degree of restoration of the technical condition of systems and units for technical service operations. The maximum resource of elements of the transport machine and the law of distribution of this indicator are considered. From the economic point of view the expediency of restoration of a technical condition of elements of transport cars by the offered system of technical service is proved. The

criterion of economic expediency of application of technical actions on restoration of a technical condition of transport cars is offered. It is shown that according to this criterion it is possible to estimate the cost of technical actions to improve the technical condition of the transport vehicle and the fleet as a whole. The criterion of efficiency of technical action on improvement of a technical condition of an element of transport cars and a factor of rational use of a resource with possible situations is offered also.

An algorithm for controlling the system of technical service of transport machines by the element-modular method has been developed. The results of forecasting technical control and regulation of the studied elements of transport vehicles: engine and transmission are considered.

It is shown that the proposed element-modular method of technical service makes it possible to adjust certain technical operations to ensure and restore the appropriate level of operational reliability of transport vehicles.

element-modular method, technical service, transport machine, diagnostic parameter, technical condition

Одержано (Received) 11.02.2022

Прорецензовано (Reviewed) 02.03.2022

Прийнято до друку (Approved) 31.03.2022

УДК 629.3.014

DOI: [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5\(36\).1.278-289](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2022.5(36).1.278-289)

С.В. Лисенко, доц., канд. техн. наук

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький, Україна

e-mail: sv07091976@gmail.com

Системно-спрямований підхід підвищення експлуатаційної надійності транспортних машин на етапах їх життєвого циклу

В роботі на основі системно-спрямованого підходу визначено, як на етапах життєвого циклу транспортних машин, що працюють у відкритих кар'єрах та в умовах агропромислового виробництва, підвищити рівень їх експлуатаційної надійності. На етапі пуску силових агрегатів запропоновано спосіб зменшення зносу спряжень деталей. Розроблено схему реалізацію способу. Визначено, що ефективно цей спосіб застосувати при експлуатації транспортних машин в жорстких нестационарних умовах та режимах "пуск-зупинка". Експериментально доведено, що запропонований спосіб дає можливість економити до 15% експлуатаційні матеріали та збільшувати термін заміни моторної оливи. На етапі експлуатації транспортних машин у відкритому кар'єрі і умовах агропромислового виробництва дослідженнями доведено подовження використання моторної та трансмісійної оливи на 25...40%, виявлено зменшення кількості технічних обслуговувань та необхідність коректування термінів технічних обслуговувань транспортних машин.

експлуатаційна надійність, транспортна машина, системно-спрямований підхід, силовий агрегат, моторна олива, трансмісійна олива, нестационарні умови, термін заміни, композиційна присадка

Постановка проблеми. Існуючі способи підвищення ресурсу вузлів, систем і агрегатів транспортних машин (ТМ) включають використання різноманітних мастил [1], накладання фізичних полів (механічного навантаження, накладання стаціонарних та динамічних електричних та магнітних полів) на трибоспряження деталей і фізико-хімічна активація мастильного середовища. Всі способи і необхідне обладнання для їх реалізації забезпечують високий рівень експлуатаційної надійності ТМ. Разом з тим жорсткі, нестационарні умови, підвищення навантажувально-швидкісних режимів роботи ТМ вимагають як подальшого удосконалення їх конструкції, так і методів технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р).