

Орісенко О.В., Шаповал М.В., Криворот А.І., Васильєв О.С.
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ТРУДОМІСТКОСТЕЙ ТА ВАРТОСТІ ОПЕРАЦІЙ ТО КРОСОВЕРІВ TOYOTA RAV4 2.0 AWD-I ТА TOYOTA RAV4 HYBRID AWD-I В УМОВАХ СТО

У роботі запропоновано визначення трудомісткостей проведення ТО автомобілів (кросоверів) з різними конструктивними концепціями одного модельного класу за методиками визначення трудомісткостей ТО та проведено порівняльний аналіз трудомісткостей задля перспектив розвитку запровадження інноваційних автомобілів за новітніми технологіями.

Для вирішення поставлених задач використовувались: математичні методи, методи прикладної механіки, основні положення визначення надійності автомобілів, статистична обробка зібраних експериментальних даних, комп'ютерне програмування та логічний аналіз проблематики.

Дослідження проводились з використанням технічних показників автомобілів, переліком операцій проведення ТО автомобілів, нормованого часу на проведення операцій ТО (діагностичні, обслуговуючі операції), статистичними даними проведення ТО, рекомендаціями технічного персоналу СТО.

Обґрунтованість та встановлення нових положень, аналіз, представлення висновків та рекомендацій у науково-практичній роботі забезпечено застосуванням законів математичної статистики, класичної механіки, конкретикою постановки задач, застосуванням математичних методів. Достовірність науково-практичних результатів роботи зумовлено застосуванням апробованих методик досліджень, адекватністю математичних моделей, обґрунтованим вибором обладнання, технічних засобів, діагностичної, контрольно-вимірювальної апаратури та обробкою експериментальних даних із застосуванням методик планування експериментальних досліджень та математичної статистики. Адекватність аналітичних досліджень порівнювалася з результатами чисельного розрахунку з результатами даних аналітичного дослідження у реальних промислових умовах, що включають режими проведення операцій ТО, а також різних технічних рішень.

Ключові слова: технічне обслуговування, трудомісткість проведення ТО, кросовери, коефіцієнт коригування періодичності ТО, вартість ТО, спеціальні пристрої діагностики.

ВСТУП

На сучасному етапі розвитку автомобільної індустрії актуальною є задача високоефективного оснащення технічних служб, СТО, автотранспортних підприємств, які забезпечували б підтримку транспортних засобів у технічно справному стані. Це призведе до зниження витрат на експлуатацію транспортних засобів (витрати на пально-мастильні матеріали, шини, запасні частини, а також на технічне обслуговування і ремонт). Невід'ємною частиною в технологічному процесі ТО та ремонті автомобілів є діагностування, яке дозволяє як суб'єктивно так і об'єктивно оцінити технічний стан як автомобіля в цілому, так і окремих його складових вузлів і агрегатів. Зараз автомобільний ринок України поповнюється автотранспортними засобами нових конструктивних концепцій, що використовують альтернативні та нові види палива, при підвищенні технічних параметрів. Збільшується чисельність електрифікованого та гібридного транспорту та зростання транспортних засобів збільшеної вантажопідйомності і пасажиромісткості, а також вдосконалюється інфраструктура рухомого складу. Витрати на обслуговування та ремонт автомобілів на автотранспортних підприємствах, станціях обслуговування і на авторемонтних заводах залишається ще достатньо високими. У зв'язку з цим, необхідно вдосконалити системи ТО та ремонту автомобільного транспорту. Досконалою і перспективною системою ТО та ремонту автотранспорту необхідно вважати таку, яка як найкраще забезпечить взаємодію процесів технічного стану авто (а саме процесів зміни діагностичних параметрів) і процесів їх відновлення. Класичним прикладом такої ефективної системи є обслуговування та ремонт за технічним станом рухомого складу. ТО та ремонт автомобілів за технічним станом являється планово-запобіжний.

Періодичність і обсяг робіт технічної діагностики при цьому планують.

Запобіжний характер технічного діагностування забезпечується постійним спостереженням за працездатним та технічним станом автомобілів з метою своєчасного виявлення передвідмовного стану.

Принцип попередження відмов і несправностей є основним. ТО та ремонт автомобілів за технічним станом ґрунтується на глибоких знаннях їх показників, технічної діагностики та забезпечення високого рівня експлуатаційної технологічності конструкції. При ТО та ремонті авто за технічним станом з контролем рівня надійності машин, складові елементи рухомого складу експлуатують без обмежень ресурсу до повного відказу. Фактичний рівень надійності складових елементів авто (наприклад, параметр

потоків відмов) не повинен перевищувати визначений встановлений максимально допустимий статистичний рівень. У разі перевищення цього рівня за інших однакових умов для конкретних елементів рухомого складу кінцевий направляється на обслуговування або ремонт. При цьому, тимчасово встановлюється міжремонтний ресурс чи цикл, який розглядається як попередження про необхідність підвищення надійності даних елементів автомобіля. Щоб застосовувати цей метод, необхідно чітко організовувати систему збору та обробки статистичної інформації про відмови та несправності частин транспорту на АТП.

Проведення ТО та ремонту автомобілів за технічним станом із контролем параметрів технічного стану їх елементів дозволить значно зменшити витрати на ТО та ремонт рухомого складу в АТП.

Проведення ТО та ПР авто пов'язано з вимушеними витратами часу, матеріальних і фінансових ресурсів. Скорочення періодичності профілактичних робіт зумовлює збільшення витрат на проведення ТО, але знижує ймовірність аварійної відмови автомобіля під час експлуатації. Зростання періодичності ТО – знижує їх кількість, але збільшує трудомісткість на відновлення. Рациональна періодичність технічних впливів настає при мінімізації всіх витрат. Автомобілі працюють в різних умовах та режимах експлуатації. На працездатний стан роботи авто впливають якість дорожніх покриттів, умови експлуатації, атмосферно-кліматичні умови і культура праці [1]. Найбільш значний вплив на надійність автотранспорту здійснює стан поверхні дороги, який в нашій країні не завжди відповідає нормативним вимогам [2]. Поганий стан дороги призводить до підвищених енергетичних втрат ходової частини автомобіля і надмірним динамічним навантаженням в трансмісії при передачі крутних моментів від двигуна до коліс, що негативно впливає на технічний стан у цих системах. В складних умовах експлуатації авто необхідно зменшувати періодичність між профілактичними роботами та збільшувати трудомісткість відновлювальних робіт.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Для визначення трудомісткостей ТО кросоверів Toyota RAV 4 з ДВЗ та Hybrid AWD-I в постгарантійний строк експлуатації, виникає необхідність застосувати нормативи трудомісткості за параметрами та характеристиками, що наведені в технічній документації на авто Toyota RAV 4 чи загально діючими нормативами.

Під час аналізу норми питомих трудомісткостей на ТО підлягали обробці для кросоверів Toyota RAV 4 з урахуванням того, що вони відносяться до відповідного середнього класу за робочими об'ємами силових агрегатів чи за потужністю. Так, загальна кількість нормативних даних для середнього класу кросоверів, становила 940 одиниць, з яких 460 одиниць для модифікацій кросоверів європейських компаній та 480 – азійських компаній. Авто середнього класу з робочим об'ємом ДВЗ 1,8...3,5 л відповідно, оснащені найбільшою кількістю видів ДВЗ за відповідним діапазоном об'ємів. Виникає необхідність провести статистичну обробку вибірки нормативних значень питомих трудомісткостей на ТО у кросоверів цього класу. Для кросоверів середнього класу маємо – $N_m = 407$ значень, в інтервалі від 0,040 до 0,295 н.год/1000 км. Кожен з інтервалів значень розбито на $n = 10$ розрядів з шириною $h = 0,026$ н.год/1000 км, за відповідними рекомендаціями наведеними, В.І. Павлюком (канд. техн. наук, доц. Луцького НТУ) [3].

Гістограми розподілу масиву трудомісткостей ТО кросоверів Toyota RAV 4 у нашому випадку випадкових величин за значенням їх появлень m_i , у відповідному розряді питомих трудовитрат t наведені на рисунку 1.

Математичне очікування випадкових величин можна вважати найбільш достовірною її величиною, яке в наших умовах можна використовувати, як значення середньої питомої трудомісткості на ТО авто середнього класу, що визначається сумою складових добутоків імовірних значень випадкових величин (середніх значень розрядів) – x_{cpi} на їхню частоту $r_{Ni} = \frac{m_i}{N}$ [2, 3]:

$$a \sum_{i=1}^n x_{cpi} \cdot \frac{m_i}{N}, \text{ ч.-год/1000 км.} \quad (1)$$

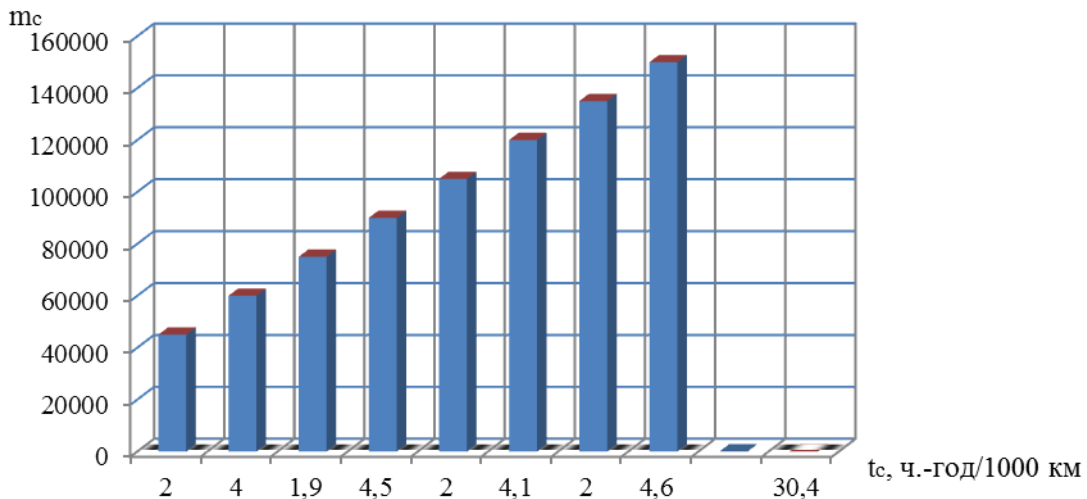


Рисунок 1 – Гістограма розподілу масиву емпіричних даних нормативних питомих трудомісткостей ТО кросоверів середнього класу.

Визначення дисперсії, що характеризує розсіювання випадкових величин [2, 3] визначаємо за формулою:

$$D = \sum_{i=1}^n (1 - \cos \varphi)^2, \text{ ч.-год/1000 км.} \quad (2)$$

Нульову гіпотезу відношення розподілу статистичних даних відповідному закону проведено за відповідним показником, а саме коефіцієнтом варіації $\nu = \sigma/a \cdot 100, \%$,

де σ – середньоквадратичне відхилення, $\sigma = \sqrt{D}$, ч.-год/1000 км.

Результати параметрів представлено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики розподілу випадкових величин питомої трудомісткості ТО авто середнього класу

№ п/п	Параметр розподілу	Одиниці вимірювання	Значення
			Середній клас
1	Математичне очікування випадкової величини, a	ч.-год/1000 км.	0,114
2	Дисперсія випадкової величини, D	ч.-год/1000 км.	0,002
3	Середньоквадратичне відхилення, σ	ч.-год/1000 км.	0,045
4	Коефіцієнт варіації, ν	%	39,693
5	Критерій згоди хі-квадрат Пірсона, χ^2		17,235

Гіпотезою про підпорядкування розподіленню логарифмічно-нормальному закону [3] характеризується теоретична щільність ймовірностей, оскільки справджується умова – $33\% \leq \nu \leq 88\%$. Загальний вигляд цього закону [3]:

$$f(x) = \frac{1}{x_{cpi} \cdot \sigma_{\ln x} \sqrt{\pi}} \cdot e^{-\frac{(\ln x - \ln x_0)^2}{2\sigma_{\ln x}^2}}, \quad (3)$$

де x – випадкове значення (аргумент).

Параметри конфігурації – $\sigma_{\ln x}$ та положення – $\sigma_{\ln x_0}$ [3]:

$$\sigma_{\ln x} = \sqrt{\ln(D + a^2) - 2 \cdot \ln a}. \quad (4)$$

$$\ln x_0 = 2 \cdot \ln a - \frac{1}{2} \cdot \ln(D + a^2) \quad (5)$$

Потрапляння випадкової величини в розряди до розміру цих розрядів h здійснюється за

відношенням частоти r_{Ni} , емпірична щільність ймовірності $p_i = \frac{r_{Ni}}{h}$ [3, 4]: Графічні залежності теоретичної і емпіричної щільності ймовірностей зображені на рисунку 2.

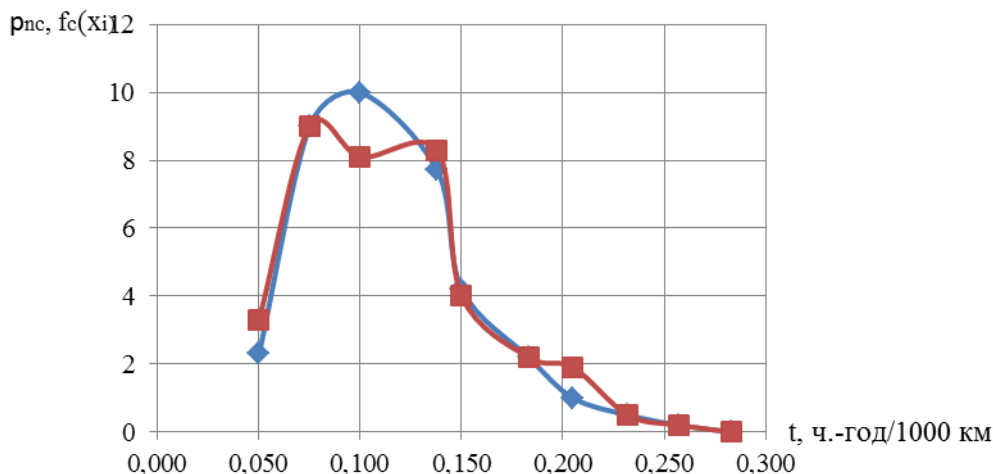


Рисунок 2 – Графічні залежності теоретичної і емпіричної щільності ймовірностей для даних нормативних питомих трудомісткостей ТО легкових автомобілів середнього класу.

Адекватність нульових гіпотез, перевіряється за допомогою критерію спільності хі-квадрат Пірсона, а саме погодження теоретичних (логарифмічно-нормального) і емпіричних розподілів. Значення критерію (за таблицю 1) визначиться за залежністю

$$\chi^2 = N \sum_{i=1}^n \frac{[p_i - f(x_i)]^2 \cdot h}{f(x_i)} \quad (6)$$

За отриманими результатами критерію згоди χ^2 і числа ступенів вільності – $U = n - S - l = 10 - 2 - 1 = 7$ ($S = 2$) – визначаємо число констант для логарифмічно-нормального розподілу [2], та за табличними даними значень ймовірностей закону Пірсона отримано [2, 3]:

– для кросоверів середнього класу $D_{\tilde{n}}(\chi_{\tilde{n}}^2, \times) = 0,017 \geq \alpha = 0,010$;

Рівень значимості $\alpha = 0,05$ характеризується значно жорсткими, а $\alpha = 0,01$ – менш жорсткими умовами перевірки адекватності прийнятої гіпотези [3].

А тому для кросоверів середнього класу є раціональною додаткова перевірка за критерієм Романовського [3]:

$$\frac{\chi^2 - x}{\sqrt{2 \cdot x}} \leq 3 \Rightarrow \frac{17,235 - 7}{\sqrt{2 \cdot 7}} = 2,735 \leq 3, \quad (7)$$

Тому, прийнята гіпотеза про логарифмічно-нормальний розподіл випадкової величини підтверджена для нашого випадку.

Таблиця 3 – Орієнтовні значення трудомісткостей на ТО легкових автомобілів на гарантійних умовах для фірмових СТО, ч.-год/1000км

Питома трудомісткість виду технічних впливів на кросовер ч.-год/1000 км	Клас легкового автомобіля середній 1.8...3,5 л
Технічне обслуговування	0,114

Питомі трудомісткості ТО, що можна буде використати на практиці, визначені математичним очікуванням випадкової величини у вибірках для середнього класу кросоверів. Результати наближених значень питомих трудомісткостей ТО для середньо розмірних кросоверів наведені в таблиці 3.

Слід зазначити, що трудомісткості на ТО кросоверів особливо малого та великого класу є орієнтовними в більшості випадків, адже визначені за незначною кількістю значень у вибірці. Трудомісткості на обслуговування кросоверів азійських автофірм, одержані аналогічно із застосуванням описаних методів, є збільшеними на 10–30% порівняно з трудомісткостями на

обслуговування кросоверів європейських виробників.

Проведений аналіз одержаних трудомісткостей дозволяє зробити висновок, що прийняті вибірки забезпечують загальну сукупність результатів нормативних величин питомих трудомісткостей ТО кросоверів фірмовими СТО. З удосконаленням конструкції сучасних кросоверів нормативи трудомісткостей повинні постійно коригуватися. У ході технологічного проектування сучасних фірмових СТО рекомендується використовувати уточнені значення трудомісткостей на обслуговування та незначний ремонт окремих моделей автомобілів.

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Ціль роботи проаналізувати технологічні процеси проведення ТО залежно від експлуатації автомобілів з ДВЗ та гібридів середньорозмірних кросоверів на матеріально-технічній базі фірмових СТО.

Метою дослідження є встановлення об'ємів проведення ТО автомобілів (кросоверів) з різними конструктивними концепціями одного модельного класу за методиками визначення трудомісткостей ТО та провести порівняльний аналіз трудомісткостей для перспектив розвитку запровадження інноваційних автомобілів за новітніми технологіями.

Для вирішення **поставлених задач** використовувались: математичні методи, методи прикладної механіки, основні положення визначення надійності автомобілів, статистична обробка зібраних експериментальних даних, комп'ютерне програмування та логічний аналіз проблематики.

Дослідження проводились з використанням технічних показників автомобілів, переліком операцій проведення ТО автомобілів, нормованого часу на проведення операцій ТО (діагностичні, обслуговуючі операції), статистичними даними проведення ТО, рекомендаціями технічного персоналу СТО.

Обґрунтованість та встановлення нових положень, аналіз, представлення висновків та рекомендацій у науково-практичній роботі забезпечено застосуванням законів математичної статистики, класичної механіки, конкретикою постановки задач, застосуванням математичних методів. Достовірність науково-практичних результатів роботи зумовлено застосуванням апробованих методик досліджень, адекватністю математичних моделей, обґрунтованим вибором обладнання, технічних засобів, діагностичної, контрольно-вимірювальної апаратури та обробкою експериментальних даних із застосуванням методик планування експериментальних досліджень та математичної статистики. Адекватність аналітичних досліджень порівнювалася з результатами чисельного розрахунку з результатами даних аналітичного дослідження у реальних промислових умовах, що включають режими проведення операцій ТО, а також різних технічних рішень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення витрат на обслуговування автомобіля за рік.

Визначення витрат на ТО кросовера за рік можна за залежністю:

$$Z_{ТОР} = Z_{ЩО} + Z_{ТО-1} + Z_{ТО-2} = C_{ЩО} \cdot D_{Г} + C_{ТО-1} \cdot N_{ТО-1} + C_{ТО-2} \cdot N_{ТО-2}, \quad (8)$$

де $Z_{ЩО}$, $Z_{ТО-1}$, $Z_{ТО-2}$ – витрати на ЩО, ТО-1, ТО-2, відповідно, грн.;

$C_{ЩО}$, $C_{ТО-1}$, $C_{ТО-2}$ – вартість проведення одного ЩО, ТО-1, ТО-2, відповідно, грн.;

$D_{Г}$ – кількість днів експлуатації кросовера;

$N_{ТО-1}$, $N_{ТО-2}$ – кількість обслуговувань ТО-1 і ТО-2 за рік, відповідно, одиниць;

$L_{рік}$ – пробіг кросовера за рік, км.

Кількість робіт по ТО за рік можна розрахувати за такими формулами:

$$N_{ТО-2} = \frac{L_{рік}}{L_{ТО-2}^{н}}; \quad N_{ТО-1} = \frac{L_{рік}}{L_{ТО-1}^{н}} - N_{ТО-2}, \quad (9)$$

де $L_{ТО-2}^{н}$, $L_{ТО-1}^{н}$ – нормативна періодичність ТО-1 і ТО-2, км.

Собівартість виконання одного обслуговування наближено можна визначити через годинний тариф T на виконання робіт:

$$C_{ЩО, ТО-1, ТО-2} = T_{ЩО, ТО-1, ТО-2} \cdot t_{ЩО, ТО-1, ТО-2} = (T_{НЧ} + T_{ТМЦ}) \cdot t_{ЩО, ТО-1, ТО-2}, \quad (10)$$

де $T_{НЧ}$ – вартість нормо-години на проведення робіт, грн./год.;

$T_{ТМЦ}$ – питома вартість товарно-матеріальних цінностей, грн./год.;

$t_{ЩО, ТО-1, ТО-2}$ – нормативна трудомісткість за видами впливів, люд.-год.

З урахуванням формул (9) і (10) залежність (8) набуде вигляду

$$Z_{TOP} = T_{\text{ЩО}} \cdot t_{\text{ЩО}} \cdot D_{\Gamma} + L_{Pik} \cdot \left(\frac{T_{TO} \cdot t_{TO-2}}{L_{TO-2}^H} + T_{TO} \cdot t_{TO-1} \cdot \left(\frac{1}{L_{TO-1}^H} - \frac{1}{L_{TO-2}^H} \right) \right). \quad (11)$$

Аналіз об'ємів робіт (трудомісткостей) під час ЩО, ТО-1, ТО-2 різних видів силових установок вказує на те, що у залежність (11) необхідно внести поправочний коефіцієнт $k_{\text{щО,ТО-1,ТО-2}}^{3M}$ який здійснить корегування витрат на ТО автомобілів.

Визначаємо витрати на ТО кросовера Toyota RAV4 (2.0 Dual VVT-i AWD-i Direct Shift CVT PREMIUM). Приймаємо, що за рік автомобіль проїде $L_{Pik} = 60000$ км, при цьому він був в експлуатації $D_{\Gamma} = 205$ днів за рік. За літературним джерелом [1] приймаємо: $t_{\text{ЩО}} = 0,5$ люд. год.; $t_{TO-1} = 2,9$ люд. год.; $t_{TO-2} = 11,7$ люд. год.; $L_{TO-2}^H = 20000$ км, $L_{TO-1}^H = 5000$ км. Тариф на ТО автомобіля приймаємо – 50 грн. Тоді для кросовера Toyota RAV4 (2.0 Dual VVT-i AWD-i Direct Shift CVT PREMIUM)4, на ТО за рік необхідно витратити

$$Z_{TOP} = 50 \cdot 0,5 \cdot 205 + 60000 \cdot \left(\frac{50 \cdot 11,7}{20000} + 50 \cdot 2,9 \cdot \left(\frac{1}{5000} - \frac{1}{20000} \right) \right) = 8185 \text{ грн.}$$

Визначення витрат на обслуговування автомобілів Toyota RAV4 AWD-i та Toyota RAV4 (Hybrid) AWD-i, з урахуванням коригуючого коефіцієнта.

Якщо автомобіль Toyota RAV4, проїде шлях 200 000 км, то витрати на ТО і ПР складуть близько 90 тис. грн. Вартість кросовера Toyota RAV4 на даний момент у комплектації (Toyota RAV4 2.0 Dual VVT-i AWD-i Direct Shift CVT PREMIUM), сьогодні становить 1 623 398, грн. Виробники, а також дилерські компанії пропонують для кросоверів після постгарантійного строку проводити ТО через 15 000 тис. км, чергуючи ТО-1 з ТО-2.

Таблиця 4 – Вартість обслуговування Toyota RAV4 2.0 AWD-i ТОВ "Компанія "Стар Лайн"

Пробіг, км	Норматив часу, н/год	Видатковий матеріал, грн.	Вартість робіт, грн з ПДВ	Вартість витратних матеріалів, грн з ПДВ.	Загальна вартість ТО*
15000	1,4	-	1400,0	1957,0	3357,0
30000	3,9	132,66	3900,0	6426,0	10326,0
45000	2,0	-	2000,0	1957,0	3957,0
60000	4,0	223,78	4000,0	6426,0	10426,0
75000	1,9	-	1900,0	1957,0	3857,0
90000	4,5	132,66	4500,0	10414,0	14914,0
105000	2,0	-	2000,0	1957,0	3957,0
120000	4,1	132,66	4100,0	6426,0	10526,0
135000	2,0	-	2000,0	1957,0	3957,0
150000	4,6	223,78	4600,0	9366,0	13966,0
Разом	30,4	845,54	30400,0	48843,0	79243,0

Вартість нормо-години на технічне обслуговування кросовера Toyota RAV4, становить 260 ... 325 грн. залежно від пробігу. Середня питома вартість товарно-матеріальних цінностей становить 1000 ... 2000 грн./год. Витрати на ТО при різних пробігах автомобіля наведені в табл. 4.

Якщо розрахунок проводити за формулою (11) з періодичністю, яка встановлена в положенні [1], і враховувати тільки витрати на ТО-1 і ТО-2, то на 60 тис. км пробігу необхідно затратити 3060 грн. Якщо ж проводити ТО з періодичністю заводу-виробника, то витрати на одне ТО-1 (при 45000 км) і одне ТО-2 (при 60000 км) складуть близько 5000 грн. При пробігу 210 тис. км розрахункові витрати за формулою (11) складуть 78976 грн, а за даними в табл. 4 – 79243,80 грн.

Рекомендована періодичність ТО-1 в 5000 км [3] для легкових автомобілів вже не відповідає сучасним рівням надійності. Необхідно в законодавстві встановлювати диференційовані нормативні значення періодичності ТО залежно від марки та моделі транспортного засобу.

Річний пробіг автомобіля можливо оцінити наступним чином

$$L_{Pik} = L_{CC} \cdot D_{\Gamma} = V \cdot T_H \cdot D_{\Gamma}, \quad (12)$$

де L_{CC} – середньодобовий пробіг автомобіля, км;

V – середня експлуатаційна швидкість автомобіля, км/год.;

T_H – час роботи автомобіля в наряді, год. Перепишемо формулу (11) з урахуванням виразу (12).

Тоді

$$3_{TOP} = D_{\Gamma} \cdot \left(T_{\text{ЩО}} \cdot t_{\text{ЩО}} + V \cdot T_H \cdot \left(\frac{T_{TO} \cdot t_{TO-2}}{L_{TO-2}^H} + T_{TO} \cdot t_{TO-1} \cdot \left(\frac{1}{L_{TO-1}^H} - \frac{1}{L_{TO-2}^H} \right) \right) \right), \quad (13)$$

Зі зменшенням середньої швидкості автомобіля відстань, яку автомобіль подолає за рік, також знижується. Також зменшується кількість обслуговувань за рік, що зумовлює витрати на ТО і ТР. На рис. 1 наведено графік зміни вартості профілактичних і ремонтних робіт для автомобіля Toyota RAV4 AWD-i, з урахуванням середньої експлуатаційної швидкості. Час в наряді приймався рівним 7 год. Якщо середню швидкість автомобіля прийняти 42 км/год., то можна отримати попередні результати. Зниження швидкості автомобіля може бути викликано погіршенням умов експлуатації. В таких умовах необхідно скорочувати періодичність ТО або збільшувати трудомісткість ТО. В роботі [7] запропоновано аналітичний метод обчислення коригуючого коефіцієнта, який отримано методом подібності характеристики ресурсу автомобіля і витрати палива. Коригуючий коефіцієнт можна розрахувати так:

$$k_m = \left(\frac{7,95 \cdot K_c \cdot i_o \cdot i_{kp} \cdot V_{max} \cdot a_m \cdot V_h}{r_k} + \frac{0,7 \cdot K_c^2 \cdot i_o^2 \cdot i_{kp}^2 \cdot V_{max}^2 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n}{r_k} + \right. \\ \left. + \frac{100(G_a \cdot 0,01 \cdot V_{max} + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_{an}^3)}{\eta_{mp}} \right) \cdot \frac{V_a}{V_{an}} \left/ \left(\frac{7,95 \cdot K_c \cdot i_o \cdot i_{kp} \cdot V_{max} \cdot a_m \cdot V_h}{r_k} + \right. \right. \quad (14) \\ \left. \left. + \frac{0,7 \cdot K_c^2 \cdot i_o^2 \cdot i_{kp}^2 \cdot V_{max}^2 \cdot b_m \cdot V_h \cdot S_n}{r_k^2} + \frac{100(G_a \cdot 0,01 \cdot V_{max} + 0,077 \cdot k \cdot F \cdot V_{an}^3)}{\eta_{mp}} \right) \right\}, \text{ дм}^3.$$

де K_c – швидкісний коефіцієнт;

i_o – передавальне число головної передачі;

i_{kp} – передавальне число підвищеної (максимальної) передачі коробки передач;

V_{max} – максимальна швидкість автомобіля, км/год.;

a_m, b_m – коефіцієнти механічних втрат в двигуні;

V_h – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;

r_k – динамічний радіус колеса, м;

S_n – хід поршня, м; G_a – вага автомобіля в нормованому стані, Н;

kF – фактор обтічності, Н·с²·м⁻².

У загальну формулу коефіцієнта коригування періодичності (2.18) підставимо параметри автомобіля Toyota RAV4 AWD-i. Приймаються такі значення параметрів: $a_m = 45$ кПа, $V_h = 1,781$ л, $H_n = 44000$ кДж/кг, $c_m = 0,76$ г/см³, $K_c = 0,52$, $i_o = 3,647$, $i_{kp} = 0,8$, $V_{max} = 190$ км/год., $r_k = 0,3$ м, $b_m = 13$ кПа·с/м, $S_n = 0,081$ м, $G_{a \text{ RAV4}} = 17450$ Н, (для спорядженого автомобіля), $G_{a \text{ RAV4}} = 21550$ Н, (для повністю навантаженого автомобіля), $kF = 0,47$ Н·с²/м², $\eta_{mp} = 0,93$, $V_{an} = 90$ км/ч.

Тоді залежність коефіцієнта коригування періодичності ТО для автомобіля Toyota RAV4 AWD-i матиме вигляд:

– для порожнього автомобіля:

$$k_m = \frac{9,16 \cdot V}{541 + 0,000389 \cdot V^3}. \quad (15)$$

– для повністю завантаженого:

$$k_m = \frac{10,59 \cdot V}{669 + 0,000389 \cdot V^3}. \quad (16)$$

Для автомобілів Toyota RAV4 Hybrid AWD-i, приймаються такі значення параметрів: $a_m = 32$ кПа, $V_h = 1,580$ л, $H_n = 41250$ кДж/кг, $c_m = 0,71$ г/см³, $K_c = 0,49$, $i_0 = 3,628$, $i_{kp} = 0,74$, $V_{max} = 185$ км/год., $r_k = 0,3$ м, $b_m = 13$ кПа·с/м, $S_n = 0,076$ м, $G_{a\ RAV4} = 18050$ Н, (для спорядженого автомобіля), $G_{a\ RAV4} = 22250$ Н, (для повністю навантаженого автомобіля), $kF = 0,45$ Н·с²/м², $\eta_{mp} = 0,94$, $V_{an} = 90$ км/ч.

Витрати на ТО при різних пробігах автомобіля наведені в табл. 5.

Таблиця 5 – Вартість обслуговування Toyota RAV4 Hybrid AWD-i, ТОВ "Компанія "Стар Лайн"

Пробіг, км	Норматив часу, н/год	Видатковий матеріал, грн.	Вартість робіт, грн з ПДВ	Вартість витратних матеріалів, грн з ПДВ.	Загальна вартість ТО*
15000	1,7	-	1700,0	2289,0	3989,0
30000	3,4	132,66	3400,0	4940,0	8340,0
45000	2,3	-	2300,0	2091,0	4391,0
60000	3,5	223,78	3500,0	4940,0	8440,0
75000	2,2	-	2200,0	2028,0	4228,0
90000	4,4	132,66	4400,0	9986,0	14386,0
105000	2,2	-	2200,0	2289,0	4489,0
120000	3,5	132,66	3500,0	4940,0	8440,0
135000	2,3	-	2300,0	2091,0	4391,0
150000	4,1	223,78	4100,0	7924,0	12024,0
Разом	29,6	845,54	29600,0	43518,0	73118,0

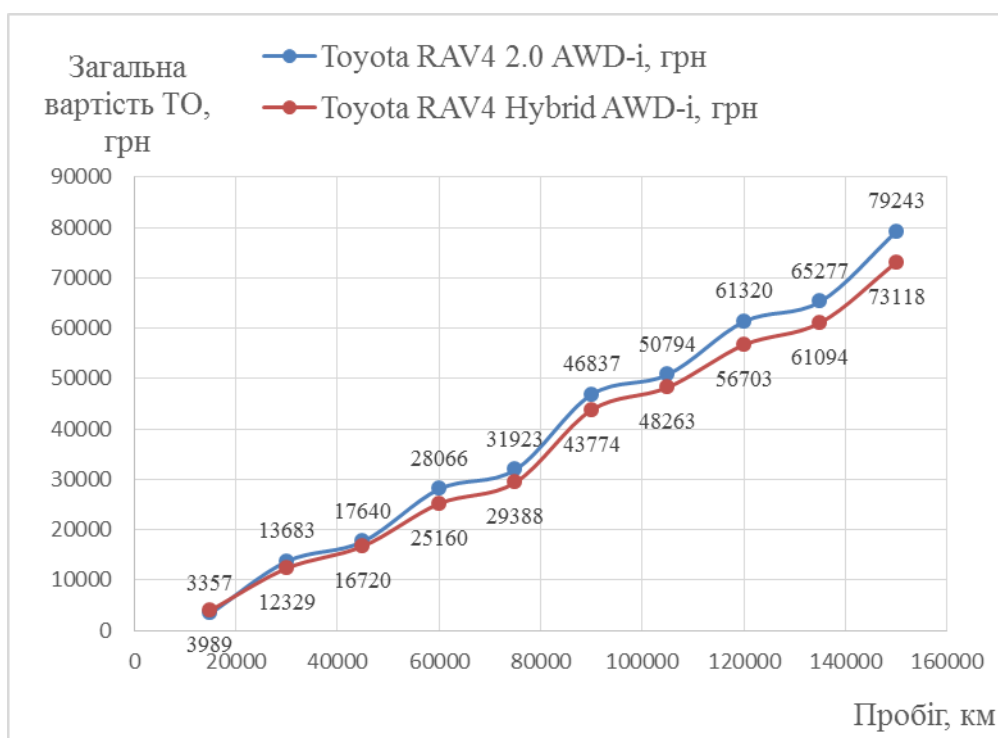


Рисунок 3 – Залежність загальної вартості проведення періодичного ТО за пробігом Toyota RAV4 2.0 AWD-i ТОВ "Компанія "Стар Лайн"

У таблицях 6, 7 та на рисунку 4, наведені значення коефіцієнта коригування, який розраховано за формулами, (8-14) різних категорій доріг. Для порівняння наведені коефіцієнти коригування періодичності ТО за методиками [3] і [7]. Запропонована модель дає близькі значення коефіцієнта щодо наведених в інших джерелах. Вплив ступеня завантаження автомобіля на періодичність та вартість ТО автомобілів не враховувались в інших методиках.

Залежність коефіцієнта коригування періодичності ТО для автомобіля Toyota RAV4 Hybrid AWD-i матиме вигляд:

– для порожнього автомобіля:

$$k_m = \frac{11,87 \cdot V}{537 + 0,000389 \cdot V^3}, \quad (17)$$

– для повністю завантаженого:

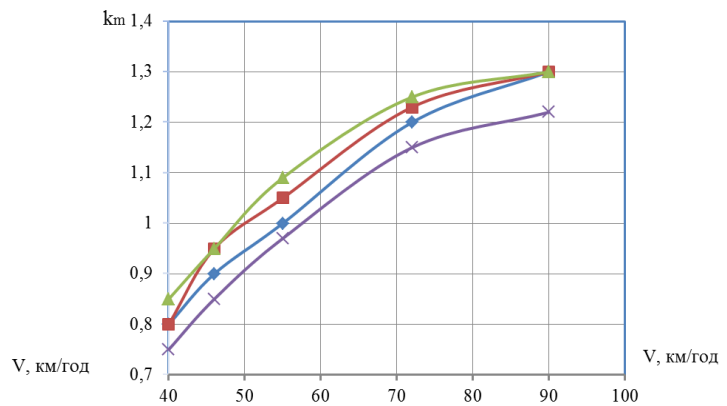
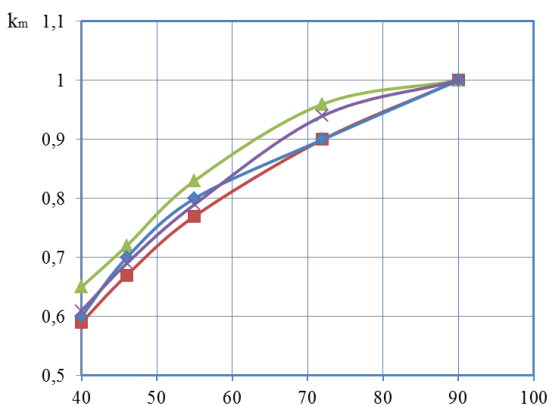
$$k_m = \frac{12,76 \cdot V}{656 + 0,000389 \cdot V^3}. \quad (18)$$

Таблиця 6 – Значення коефіцієнта коригування періодичності ТО автомобіля Toyota RAV4 AWD-i, які отримані за різними методиками

Категорія умов експлуатації	Середня швидкість, км/год	Коригування періодичності ТО			
		за методикою 1	за методикою 2	за формулою	
				(15)	(16)
1	90	1,0	1,0	1,0	1,0
2	72	0,9	0,9	0,96	0,94
3	55	0,8	0,77	0,83	0,79
4	46	0,7	0,67	0,72	0,69
5	40	0,6	0,59	0,65	0,61

Таблиця 7 – Значення коефіцієнта коригування періодичності технічних обслуговувань автомобіля Toyota RAV4 Hybrid AWD-i, які отримані за різними методиками

Категорія умов експлуатації	Середня швидкість, км/год	Коригування періодичності ТО			
		за методикою 1	за методикою 2	за формулою	
				(17)	(18)
1	90	1,3	1,3	1,3	1,22
2	72	1,2	1,23	1,25	1,15
3	55	1,0	1,05	1,09	0,97
4	46	0,9	0,95	0,95	0,85
5	40	0,8	0,8	0,85	0,75



а)б)

Рисунок 4 – Графічні залежності коефіцієнта коригування періодичності технічних обслуговувань:

- а) автомобіля Toyota RAV4 AWD-i, які отримані за різними методиками: $\diamond$ – за методикою 1; $\blacksquare$ – за методикою 2; $\blacktriangle$ – за формулою (15); $\times$ – за формулою (16);
 б) автомобіля Toyota RAV4 Hybrid AWD-i, які отримані за різними методиками: $\diamond$ – за методикою 1; $\blacksquare$ – за методикою 2; $\blacktriangle$ – за формулою (17); $\times$ – за формулою (18)

У таблицях 6, 7 та на рисунках 4, 5 наведені значення коефіцієнта коригування, який розраховано за формулами (8-14) для різних категорій доріг. Для порівняння наведені коефіцієнти коригування періодичності ТО за методиками [4] і [5]. Запропонована модель дає близькі значення коефіцієнта щодо наведених в інших джерелах. Вплив ступеня завантаження автомобіля на періодичність та вартість ТО автомобілів не враховувались в інших методиках [3, 4, 5].

Для використання коефіцієнта коригування необхідно замінити нормативні значення

L_{TO-2}^H і L_{TO-1}^H такими виразами:

$$L_{TO-2} = L_{TO-2}^H \cdot k_m, \quad L_{TO-1} = L_{TO-1}^H \cdot k_m \quad (19)$$

Остаточню

$$Z_{TOP} = D_T \cdot \left(T_{\text{ЩО}} \cdot t_{\text{ЩО}} + V \cdot T_H \cdot \left(\frac{T_{TO} \cdot t_{TO-2}}{L_{TO-2}^H \cdot k_m} + T_{TO} \cdot t_{TO-1} \cdot \left(\frac{1}{L_{TO-1}^H \cdot k_m} - \frac{1}{L_{TO-2}^H \cdot k_m} \right) \right) \right). \quad (20)$$

У формулі (20) коефіцієнт k_m пропорційно пов'язаний з L_{TO-1}^H і L_{TO-2}^H та обернено пропорційно пов'язаний з t_{TO-1} , t_{TO-2} . Тому, можна виконувати коригування витрат як на трудомісткість ТО, так і за періодичністю ТО.

На рис. 5 наведена графічна залежність зміни вартості ТО від швидкості руху при обліку умов експлуатації. У складних умовах експлуатації, коли швидкість автомобіля знижується, вартість витрат на ТО за формулою (13) більше ніж витрати, які розраховані за формулою (20). При середній швидкості 40 км/год. різниця становить близько 12 %, а при швидкості 20 км/год. – 30%. Ступінь завантаження автомобіля також впливає на вартість ТО. Зі збільшенням ваги автомобіля витрати зростають. Так, при швидкості 40 км/год. різниця вартості ТО для автомобіля в спорядженому і максимально завантаженому стані складе відповідно 3,7, 2,4, 1,7%, а при швидкості 30 км/год. – 4,2, 3,1, 1,9%.



Рисунок 5 – Зміна вартості технічного обслуговування: кросовера Toyota RAV4 Hybrid AWD-i, від швидкості руху без урахування (1), (2) і з урахуванням умов експлуатації автомобіля, Toyota RAV4 2.0 AWD-i, від швидкості руху без урахування (3), і з урахуванням (4) умов експлуатації

Також видно тенденції зростання витрат на ТО автомобілів при швидкості 100 км/год., у автомобіля Toyota RAV4 Hybrid AWD-i вони менші на 23% по відношенню до автомобілів Toyota RAV4 2.0 AWD-i.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Представлена робота є закінченою науково-дослідницькою роботою, в якій на підставі порівняльного аналізу визначено експлуатаційні можливості двох споріднених кросоверів різних концептуально технічних рішень шляхом статистичної обробки нормативних даних, що знайшли відображення в наступному:

1. Проаналізовано конструктивні та технічні параметри систем управління новітніх гібридних технологій, які забезпечать покращення технічних параметрів авто в цілому, екологічність та економічність палива під час експлуатації, загальну надійність. Результати вказують на те, що незважаючи на ускладненість конструкції гібридних авто за рахунок повного впровадження мехатронних систем у концепції транспортних засобів на прикладі кросоверів марки Toyota, а також складних алгоритмів контролю та управління процесами, що протікають під час руху авто переваги очевидні з точки зору експлуатаційних властивостей на основі загальної надійності, екологічності та відносно зменшеним трудомісткостям проведення ТО та кошторисних витрат.

2. Представлені аналітичні дослідження з трьома математичними методиками дозволяє оцінити вартість проведення ТО кросоверів з урахуванням умов його експлуатації. Отримані результати можна використати в процесі прогнозування процесів проведення ТО та управління СТО чи

ремонтного підприємства автомобільного транспорту. Подальші дослідження можна спрямувати на облік інших експлуатаційних факторів, що впливають на вартість експлуатації кросоверів.

ВИСНОВКИ

Представлені аналітичні дослідження з трьома математичними методиками дозволяє оцінити вартість проведення ТО кросоверів з урахуванням умов його експлуатації. Отримані результати можна використати в процесі прогнозування процесів проведення ТО та управління СТО чи ремонтного підприємства автомобільного транспорту. Подальші дослідження можна спрямувати на облік інших експлуатаційних факторів, що впливають на вартість експлуатації кросоверів.

За результатами аналітичних досліджень видно, що трудомісткість проведення ТО менша під час обслуговування Toyota RAV4 Hybrid AWD-і по відношенню до Toyota RAV4 AWD-і, що пов'язано із меншою кількістю операцій на ТО, витратами на запасні частини та матеріали, більшим ресурсом (надійністю), експлуатаційними якостями силових агрегатів та частково періодичністю до ТО.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів [Електронний ресурс] / Міністерство інфраструктури України. Затв. Наказ № 615 від 28.11.2014. Чинний від 12.02.2015р. Режим доступу: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1609-14>.
2. Карпенко В.Р. Трудовитрати на обслуговування легкових автомобілів фірмовими СТО / В.Р. Карпенко, В.І. Павлюк, О.В. Приймак // Наукові нотатки: Міжвузівський збірник. – Вип. № 31 – Луцьк, 2011. – С. 143–145.
3. В. І. Павлюк, канд. техн. наук, доц. Луцький НТУ Питомі трудомісткості обслуговування легкових автомобілів фірмовими СТО ISSN 2079-0066. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 9 (1118)1,2. – стор. 92-97. М., 1987 р. – 380 с.
4. В.В. Аулін Удосконалення процесу технічного обслуговування автомобілів, використанням сучасних електронних методів діагностики / В.В. Аулін, С.В. Лисенко, Д.Є. Панарін / Вісник інженерної академії України. Комунікації (транспортні системи та ін.) № 3-4, 2013. – С. 151-157.
5. Павленко В. М. Визначення можливості використання мультиагентного підходу при виконанні технічного обслуговування і ремонту автомобіля / В. М. Павленко, В. П. Кужель: Вісник машинобудування та транспорту, 2018. – №1(7). – С. 72-80.
6. Кривошапов, С. І. Корегування ресурсу та періодичності технічного обслуговування транспортних машин за методикою нормування витрати палива / Кривошапов С. І. // Автомобільний транспорт : зб. наук. пр. / М-во освіти і науки України; ХНАДУ ; редкол.: А. В. Гнатов (гол. ред.) та ін. - Харків, 2020. – Вип. 46. – С. 78-85.
7. Кучерявий О.П., Попов С.Ю. "Теорія експлуатаційних властивостей автомобілів". – Харків: ХНАДУ, 2009. – 416 с.

REFERENCES

1. Rules for the provision of services for technical maintenance and repair of wheeled vehicles [Electronic resource] / Ministry of Infrastructure of Ukraine. Approved by Order No. 615 of 11/28/2014. Effective from 02/12/2015. Access mode: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/z1609-14>.
2. Karpenko V.R. Labor costs for servicing passenger cars by branded service stations / V.R. Karpenko, V.I. Pavlyuk, O.V. Pryymak // Scientific notes: Interuniversity collection. – Issue No. 31 – Lutsk, 2011. – P. 143–145.
3. V.I. Pavlyuk, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Lutsk NTU Specific labor intensity of servicing passenger cars by branded service stations ISSN 2079-0066. Bulletin of NTU "KhPI". 2015. No. 9 (1118)1,2. – pp. 92-97. M., 1987 – 380 p.
4. V.V. Aulin Improving the process of technical maintenance of vehicles using modern electronic diagnostic methods / V.V. Aulin, , S.V. Lysenko, D.E. Panarin, / Bulletin of the Engineering Academy of Ukraine. Communications (transport systems, etc.) No. 3-4, 2013. – pp. 151-157.
5. Pavlenko V. M. Determining the possibility of using a multi-agent approach when performing technical maintenance and repair of a vehicle / V. M. Pavlenko, V. P. Kuzhel: Bulletin of Mechanical Engineering and Transport, 2018. – No. 1(7). – pp. 72-80.
6. Kryvoshapov, S. I. Adjustment of the resource and periodicity of technical maintenance of transport vehicles using the method of fuel consumption rationing / Kryvoshapov S. I. // Automobile transport: collection of scientific works / Ministry of Education and Science of Ukraine; KhNADU; editors: A. V. Gnatov (ed. chief) and others - Kharkiv, 2020. – Issue 46. – P. 78-85.
7. Kucheryavyi O.P., Popov S.Yu. "Theory of operational properties of vehicles". – Kharkiv:

Orysenko O.V., Shapoval M.V., Kryvorot A.I. Vasiliev O.S. Research and comparative analysis of the labor intensifiedness and costs of operations for Toyota Rav4 2.0 AWD and Toyota Rav4 hybrid AWD crossovers in service shop conditions

The paper proposes the determination of the labor intensity of maintenance of cars (crossovers) with different design concepts of the same model class using the methods of determining the labor intensity of maintenance and a comparative analysis of the labor intensity for the development prospects of the introduction of innovative cars using the latest technologies was conducted.

To solve the problems set, the following were used: mathematical methods, methods of applied mechanics, basic provisions for determining the reliability of cars, statistical processing of collected experimental data, computer programming and logical analysis of the problem.

The research was conducted using technical indicators of cars, a list of operations for maintenance of cars, standard time for maintenance operations (diagnostic, servicing operations), statistical data for maintenance, recommendations of service station technical personnel.

The validity and establishment of new provisions, analysis, presentation of conclusions and recommendations in scientific and practical work is ensured by the application of the laws of mathematical statistics, classical mechanics, the specifics of the problem statement, and the use of mathematical methods. The reliability of scientific and practical results of the work is due to the use of proven research methods, the adequacy of mathematical models, a reasonable choice of equipment, technical means, diagnostic, control and measuring equipment and processing of experimental data using experimental research planning methods and mathematical statistics. The adequacy of analytical studies was compared with the results of numerical calculations with the results of analytical research data in real industrial conditions, including modes of maintenance operations, as well as various technical solutions.

Key words: maintenance, labor intensity of maintenance, , crossovers, maintenance frequency adjustment coefficient, maintenance cost, special diagnostic devices.

ОРИСЕНКО Олександр Вікторович, кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" e-mail: oleksandr.orysenko@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-3103-0096>

ШАПОВАЛ Микола Віталійович, кандидат технічних наук, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" e-mail: nvshapoval75@ukr.net <https://orcid.org/0000-0002-6943-7687>

КРИВОРОТ Анатолій Ігорович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" e-mail: anatoliikryvorot@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5919-7352>

ВАСИЛЬЄВ Олексій Сергійович кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри галузевого машинобудування та мехатроніки, Національний університет "Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка" e-mail: a.s.vasiliev.76@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9914-5482>

Oleksandr ORISENKO, PhD in Engineering, associate professor, Associate Professor, Head of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk" e-mail: oleksandr.orysenko@gmail.com <https://orcid.org/0000-0003-3103-0096>

Mykola SHAPOVAL, PhD in Engineering, Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk" e-mail: nvshapoval75@ukr.net <https://orcid.org/0000-0002-6943-7687>

Anatoliy KRIVOROT, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk" e-mail: anatoliikryvorot@gmail.com <https://orcid.org/0000-0001-5919-7352>

Oleksiy VASILIEV, PhD in Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Industrial Mechanical Engineering and Mechatronics, National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk" e-mail: a.s.vasiliev.76@gmail.com <https://orcid.org/0000-0002-9914-5482>