

ВИБІР ДІАГНОСТИЧНИХ МЕТОДІВ ТА АНАЛІЗ ЧИННИКІВ ВПЛИВУ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МАКСИМАЛЬНОГО ЗАЛИШКОВОГО РЕСУРСУ

¹Вінницький національний аграрний університет;

²Вінницький національний технічний університет

У сучасних умовах розвитку автомобільної промисловості одним з ключових завдань є забезпечення довговічності та надійності деталей транспортних засобів. Для досягнення цієї мети важливим є правильний вибір методів діагностування, які дозволяють своєчасно виявляти дефекти, прогнозувати залишковий ресурс і попереджати передчасні відмови. Застосування систематичного підходу до технічної діагностики сприяє підвищенню ефективності технічного обслуговування, оптимізації ремонтних процесів та забезпеченню безпеки експлуатації автомобілів.

Особливу увагу в статті приділено аналізу чинників, що впливають на довговічність та надійність деталей. Серед них — якість матеріалів, конструктивні особливості, технологія виготовлення, режими експлуатації та умови навантаження. Розгляд цих аспектів у комплексі дає змогу точніше визначати залишковий ресурс і формувати стратегію технічного обслуговування відповідно до реального технічного стану вузлів і агрегатів, а не лише за регламентними строками.

У статті детально проаналізовано сучасні методи діагностування, зокрема візуальний контроль, неруйнівні методи (ультразвуковий, магнітний, капілярний, рентгенівський), а також автоматизовані системи моніторингу. Розглянуто їхні переваги, недоліки та можливість інтеграції у практику автосервісних підприємств. Акцентовано на поєднанні традиційних і прогресивних технологій, що дозволяє досягати максимальної точності результатів діагностики та підвищувати ефективність ремонтних процесів.

На основі проведеного аналізу запропоновано рекомендації щодо оптимізації вибору діагностичних методів залежно від типу деталей і умов їх експлуатації. Результати дослідження можуть бути використані як у навчальному процесі підготовки фахівців з технічної експлуатації та ремонту автомобілів, так і в діяльності автосервісних підприємств. Практичне впровадження запропонованих підходів забезпечить продовження залишкового ресурсу деталей, зниження витрат на ремонт та підвищення загального рівня надійності й безпеки транспортних засобів.

Ключові слова: методи діагностування, довговічність, надійність, деталі, залишковий ресурс, інноваційні матеріали, технології, ремонт автомобілів.

Вступ

Ефективність та безпека експлуатації автомобіля значною мірою залежать від технічного стану його деталей та вузлів. Визначення залишкового ресурсу дозволяє своєчасно попереджати аварійні відмови, оптимізувати процеси ремонту та продовжувати довговічність автомобільних деталей, агрегатів, систем та їх механізмів.

Сучасне автомобілебудування ставить перед виробниками й експлуатантами транспортних засобів завдання забезпечення високої надійності та довговічності компонентів. Надійність визначається здатністю деталей зберігати працездатність протягом встановленого ресурсу без відмов, а довговічність — термін, протягом якого вони зберігають необхідні експлуатаційні характеристики. У цьому контексті ключове значення має правильний вибір діагностичних методів, що дають змогу оцінити технічний стан деталей і спрогнозувати залишковий ресурс, запобігаючи передчасним відмовам [1], [2].

Ефективна діагностика базується на поєднанні різних методів контролю: візуального огляду, неруйнівних методів (ультразвукового, магнітного, капілярного, рентгенівського), а також сучасних автоматизованих систем моніторингу технічного стану. Кожен із методів має свої переваги й обмеження, що зумовлює потребу у комплексному підході у разі вибору оптимальної методики для конкретних деталей та умов експлуатації [3]—[5].

Особливого значення набуває аналіз чинників, що впливають на довговічність і надійність деталей: конструктивних особливостей, властивостей і якості матеріалів, термічної та механічної обробки, умов експлуатації, ступеня навантаження та режимів роботи агрегатів. Урахування цих факторів дозволяє точніше визначати залишковий ресурс деталей і здійснювати своєчасне технічне обслуговування або заміну вузлів відповідно до їхнього реального стану, але не лише за календарними термінами.

Отже, метою роботи є огляд діагностичних методів та аналіз факторів, що впливають на довговічність і надійність деталей, з розробкою рекомендацій щодо їх застосування для максимального використання залишкового ресурсу автомобільних компонентів.

Для досягнення цієї мети в статті вирішуються такі завдання [6]—[9]:

1. Огляд сучасних діагностичних методів та їх застосування для контролю стану автомобільних деталей;
2. Аналіз конструктивних та експлуатаційних чинників, що визначають довговічність і надійність деталей;
3. Розробка рекомендацій щодо оптимізації вибору діагностичних методів залежно від типу деталей і умов їхньої експлуатації;
4. Формування практичних висновків щодо підвищення ефективності технічного обслуговування та забезпечення максимально можливого залишкового ресурсу.

Таким чином, дослідження є актуальним як для підготовки фахівців у сфері ремонту автомобілів, технічної експлуатації автомобілів, так і для практичних потреб автосервісних підприємств, що прагнуть підвищити надійність і безпеку транспортних засобів за оптимального використання ресурсів.

Аналіз результатів останніх досліджень та публікацій

Теоретичні основи визначення залишкового ресурсу деталей розглядаються у працях [4], [8]—[11]. Ресурс деталі визначається як кількість робочих циклів або тривалість експлуатації до настання технічної непрацездатності. Водночас залишковий ресурс характеризує той обсяг роботи (кількість циклів або час), який деталь може ще забезпечити до відмови. Такий підхід дозволяє обґрунтованіше планувати ремонтно-експлуатаційні заходи та запобігати аварійним відмовам.

Одним із ключових аспектів дослідження є аналіз типів зносу деталей [12]—[14].

До основних видів відносять механічний знос, що виникає внаслідок тертя й ударних навантажень; корозійний, який обумовлений хімічним або електрохімічним руйнуванням металів; термічний, спричинений дією високих температур; а також хімічний, пов'язаний з впливом палива, масил та агресивних середовищ. Кожен із цих типів по-різному впливає на залишковий ресурс, а їх комплексний вплив зумовлює необхідність застосування системи показників надійності.

Показники надійності ймовірності безвідмовної роботи [4], [10]—[13]

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (1)$$

де λ — інтенсивність відмов; t — час експлуатації.

Середній ресурс деталі

$$T_{\text{ср}} = \int_0^{\infty} P(t) dt = \frac{1}{\lambda}. \quad (2)$$

Залишковий ресурс на момент часу t_0

$$R_{\text{зал}} = T_H - t_0, \quad (3)$$

де T_H — номінальний ресурс деталі; t_0 — час експлуатації на момент оцінки.

Розрахунок залишкового ресурсу деталей

Для кількісної оцінки залишкового ресурсу використовують базові формули із надійності та механіки

$$R_Z = R_0 - \int_0^t \frac{dR}{dt} \cdot dt, \quad (4)$$

де R_Z — залишковий ресурс; R_0 — первинний ресурс деталі; $\frac{dR}{dt}$ — швидкість вичерпання ресурсу в часі t .

Урахування факторів експлуатації дозволяє уточнити ресурс

$$R_Z = R_0 \cdot K_c \cdot K_m \cdot K_e, \quad (5)$$

де K_c — коефіцієнт, що враховує конструктивні особливості; K_m — коефіцієнт матеріалу; K_e — експлуатаційний коефіцієнт, що враховує режим роботи та умови навколишнього середовища.

Таблиця 1

Порівняльні характеристики, прикладу розрахунку залишкового ресурсу

Деталь	R_0 (год)	K_c	K_m	K_e	R_z (год)
Вал колінчастий	5000	0,95	0,9	0,85	3641
Поршень	4000	0,98	0,92	0,9	3246
Підшипник	6000	0,97	0,88	0,87	4466

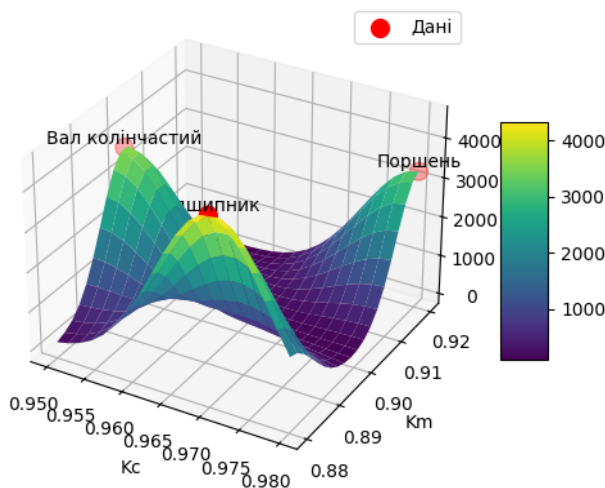


Рис. 1. Графік порівняння залишкового ресурсу деталей за різними умовами експлуатації

Отримані розрахункові дані дають змогу побудувати залежність залишкового ресурсу для різних деталей за умов змінних коефіцієнтів. Це дозволяє візуально оцінити вплив конструктивних та експлуатаційних чинників на ресурс деталей. На рис. 1 подано графічне порівняння залишкового ресурсу колінчастого вала, поршня та підшипника за різних умов експлуатації.

Важливе місце посідають методи діагностування технічного стану, що дозволяють оцінити ступінь зносу та прогнозувати залишковий ресурс. Найпоширенішими є візуальний контроль, неруйнівні методи (ультразвуковий, магнітний, капілярний, рентгенівський), а також інструментальні та автоматизовані системи моніторингу. Кожен метод має свої переваги й недоліки, що зумовлює доцільність їх комбінування.

Методи діагностування залишкового ресурсу

Загальні підходи до контролю технічного стану

Для забезпечення максимальної довговічності деталей автомобіля важливим є застосування діагностичних методів, які дозволяють не лише визначити поточний стан, але й оцінити ймовірність відмови та залишковий ресурс [4], [10], [14]. Методи діагностики можна умовно поділити на три основні групи: візуальні, неруйнівні та інструментально-автоматизовані.

Візуальний контроль

Це найпростіший і доступний метод, який застосовується для виявлення поверхневих дефектів, таких як тріщини, корозія, деформації або зношування робочих поверхонь. Його перевагою є низька вартість та швидкість проведення, через що він незамінний під час щоденного технічного обслуговування. Проте візуальний контроль має суттєве обмеження — він не дозволяє виявляти внутрішні дефекти та значною мірою залежить від кваліфікації спеціаліста.

Неруйнівні методи контролю (NDT)

До цієї групи відносяться ультразвуковий, магнітний, капілярний та рентгенівський контроль.

Ультразвуковий контроль — дозволяє виявляти внутрішні дефекти, такі як тріщини чи порожнини, що не видно зовні.

Магнітний контроль — застосовується до деталей із феромагнітних матеріалів і забезпечує

виявлення поверхневих та підповерхневих тріщин.

Капілярний контроль — ефективний для виявлення дрібних тріщин і порушень цілісності поверхні.

Рентгенівський контроль — є високоточним методом, що дозволяє визначити внутрішні дефекти та неоднорідності матеріалу, але потребує спеціального обладнання та високої вартості проведення.

Інструментальні та автоматизовані методи

Сучасний розвиток цифрових технологій сприяв поширенню систем моніторингу технічного стану, що працюють у режимі реального часу. Використання датчиків для контролю температури, вібрацій, тиску та інших параметрів дає можливість своєчасно виявляти аномалії та прогнозувати залишковий ресурс вузлів. Основною перевагою таких систем є підвищення точності діагностики та можливість переходу до концепції «предиктивного ремонту» PdM [15], коли обслуговування виконується не за регламентом, а за фактичним станом деталей.

Таблиця 2

Діагностичні методи контролю технічного стану деталей

Метод контролю	Переваги	Недоліки
Візуальний	простий, швидкий	не виявляє внутрішні дефекти
Ультразвуковий	виявляє внутрішні дефекти	вимагає спеціального обладнання
Магнітний	для феромагнітних матеріалів	не застосовується до немагнітних
Капілярний	простий для поверхневих тріщин	лише поверхневі дефекти
Рентгенівський	висока точність	дороге обладнання, рентген
Автоматизований моніторинг	оцінка стану в реальному часі	високі початкові витрати
Вимірювання вібрацій	контроль динамічного стану	не завжди точний для нових деталей

Чинники впливу на довговічність деталей

Довговічність автомобільних деталей визначаються комплексом факторів, які формуються як на етапі їх проектування та виготовлення, так і в процесі експлуатації. Вплив цих чинників може суттєво змінювати залишковий ресурс деталей, тому їх врахування є необхідною умовою для ефективною роботи транспортних засобів.

Умовно виділяють три основні групи: конструктивні фактори; фактори, що залежать від властивостей матеріалу деталей; експлуатаційні фактори.

Конструктивні фактори

До конструктивних чинників відносяться особливості геометрії та форми деталі, які визначають розподіл напружень під час роботи.

– *Геометрія та форма деталі*: складні форми та різкі переходи у перерізі часто створюють зони концентрації напружень, що сприяють появі тріщин.

– *Концентратори напружень*: отвори, різьби, гострі кути є слабкими місцями конструкції, які знижують довговічність.

– *Тип з'єднань та кріплення*: болтові, зварні та різьбові з'єднання мають різні характеристики надійності. Наприклад, неправильне затягування болтових з'єднань може призвести до передчасного зносу або руйнування вузла.

Таким чином, конструктивні рішення, ухвалені на етапі проектування, безпосередньо впливають на термін служби та залишковий ресурс елементів.

Фактори, що залежать від властивостей матеріалу деталей

Матеріали, з яких виготовляються деталі, визначають їхні експлуатаційні властивості.

– *Механічні характеристики* — (твердість, пластичність, в'язкість, міцність) визначають здатність деталі протистояти зношуванню та ударним навантаженням.

– *Структура матеріалу*: гомогенність, наявність внутрішніх дефектів, мікропорожнин або включень значно знижують довговічність.

– *Вплив термообробки*: правильне гартування, відпуск або цементация можуть підвищити зносостійкість і міцність; неправильний режим обробки, навпаки, спричиняє крихкість і схильність до руйнування.

– *Механічна обробка поверхонь* — (шліфування, полірування, нанесення покриттів) дозволяє підвищити стійкість до зношування та корозії [6], [7], [8], [9].

Правильний вибір матеріалу та технології його обробки дає можливість забезпечити оптимальне співвідношення між довговічністю та вартістю виробу.

Експлуатаційні фактори

Умови роботи деталей у складі транспортного засобу є вирішальним чинником їхньої довговічності.

– *Навантаження та цикли роботи:* регулярні ударні та змінні навантаження значно прискорюють знос. Особливо це стосується деталей підвіски, гальмівної системи та трансмісії.

– *Температурні та кліматичні умови:* висока або низька температура, вологість, наявність агресивних середовищ (сіль, реагенти) сприяють корозії та руйнуванню поверхні.

– *Режим експлуатації:* інтенсивна міська експлуатація з частими зупинками і стартами створює інші умови зношування, ніж рівномірний рух на трасі.

– *Технічне обслуговування:* своєчасна заміна мастил, перевірка стану вузлів і планове регламентне обслуговування суттєво впливають на ресурс. Недостатня увага до цих процедур прискорює відмови.

Таблиця 3

Чинники, які впливають на довговічність і надійність деталей

Фактор	Приклад впливу
Конструктивний	наявність концентраторів напружень
Матеріаловий	структура та міцність металу
Експлуатаційний	режим роботи, температурні умови

Усі вищезазначені чинники в сукупності формують реальний рівень довговічності деталей. Особливе значення має експлуатаційне навантаження, адже саме воно безпосередньо визначає швидкість зношування та інтенсивність вичерпання ресурсу. Залежність між умовами навантаження та залишковим ресурсом можна наочно простежити на графіку (рис. 2 і 3), які показують зміну ресурсу деталей залежно від інтенсивності та характеру експлуатації.

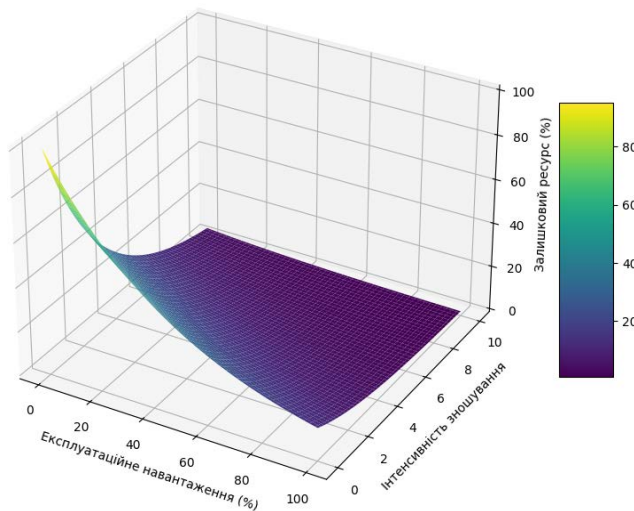


Рис. 2. Графік впливу експлуатаційного навантаження на залишковий ресурс деталей

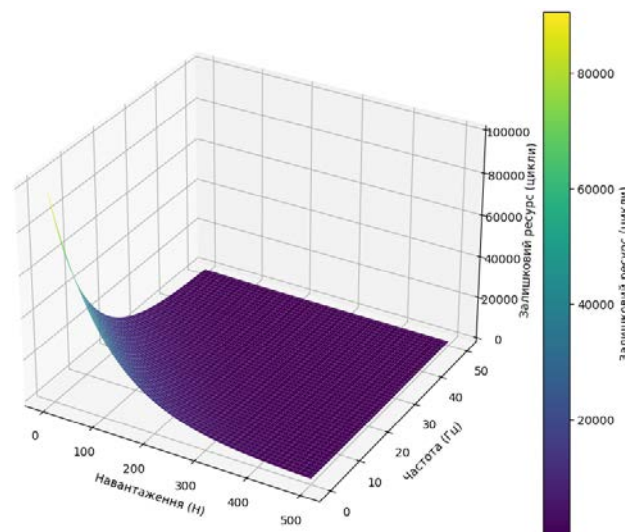


Рис. 3. Графік залишкового ресурсу деталі від навантаження

Практичні рекомендації

1. Для відповідальних деталей рекомендується комплексне застосування NDT-методів і автоматизованого моніторингу.
2. Візуальний контроль може бути достатнім для елементів з низьким ризиком відмови.
3. Постійний аналіз експлуатаційних факторів дозволяє планувати технічне обслуговування у відповідності до реального стану деталі.
4. Впровадження прогнозного обслуговування з урахуванням залишкового ресурсу дозволяє зменшити матеріальні витрати і підвищити безпеку руху.

Висновки

Проведене дослідження підтвердило актуальність застосування сучасних методів діагностування для оцінки технічного стану автомобільних деталей та прогнозування їх залишкового ресурсу. Аналіз чинників, що впливають на довговічність, показав, що комплексний підхід, оснований на поєднанні традиційних та інноваційних технологій, є найефективнішим для забезпечення стабільної роботи транспортних засобів. Використання інноваційних матеріалів та прогресивних діагностичних систем уможливорює отримувати точнішу інформацію про стан деталей і вчасно ухвалювати рішення щодо їх подальшої експлуатації чи заміни.

Основні результати дослідження:

1. Визначення залишкового ресурсу деталей є ключовим фактором підвищення довговічності автомобілів та зниження рівня аварійності.
2. Найефективнішим є поєднання візуальної діагностики та неруйнівних методів контролю, що дозволяє комплексно оцінювати стан деталей.
3. На довговічність деталей найбільший вплив мають властивості матеріалів, якість виготовлення, умови експлуатації та рівень технічного обслуговування.
4. Практичне застосування методів оцінки залишкового ресурсу створює можливості для раціонального планування ремонтів і заміни деталей до настання критичних відмов, що забезпечує економію ресурсів та підвищує безпеку руху.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] *Види і методи проведення ремонту автомобіля*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://mlnynivmnyk.at.ua/publ/budova_ta_ekspluatacija_avtomobilja/tema_4_vidi_i_metodi_provedennja_remontu_avtomobilja/4-1-0-83.
- [2] Закон України «Про автомобільний транспорт», № 2344-III від 5 квітня 2001 р. Київ, Україна, 2001, 25 с.
- [3] І. Б. Гевко, та ін. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів*, навч. посіб. Тернопіль, Україна: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021, 544 с.
- [4] О. А. Лудченко, *Технічна експлуатація і обслуговування автомобілів*. Технологія, підруч. Київ, Україна: Вища шк., 2007, 527 с. ISBN 978-966-642-351-4.
- [5] Ю. Х. Савін, і М. В. Митко, «Методичні основи удосконалення структури виробничих підрозділів автотранспортних підприємств», Вісник Національного транспортного університету, № 1 (43), с. 159-166, 2019.
- [6] Віктор Анісімов, Ірина Гунько, і Сергій Бурлака. «Шляхи розвитку методів газотермічного напильнення для покращення енергоефективності ремонту машин АПК», *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*, № 1 (331), с. 44-47, 2024.
- [7] О. П. Шиліна, і А. Ю. Осадчук, *Газотермічні методи напильовання покриттів*, навч. посіб. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2007, 103 с.
- [8] М. В. Митко, та ін. *Основи технології виробництва та ремонту автомобілів. Організація самостійної та практичної роботи*, навч. посіб. Вид. 2-ге, перероб. та доп. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2025, 119 с.
- [9] М. В. Митко, О. П. Шиліна, і С. А. Бурлака, «Сучасні методи газотермічного покриття в інноваційних технологіях для ремонту відновленням деталей автомобілів», *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6 (177), с. 152-160, 2024. <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-177-6-152-160>.
- [10] Ю. Ю. Кукурудзяк, і В. В. Біліченко, *Технічна експлуатація автомобілів. Організація технологічних процесів ТО і ПР*, навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2010, 198 с.
- [11] В. Д. Мигаль, *Інтелектуальні системи в технічній експлуатації автомобілів*, моногр. Харків, Україна: Майдан, 2018, 262 с. ISBN 978-966-372-704-2.
- [12] В. В. Аулін, , В. М. Каліч, Д. В. Голуб, і А. В. Гриньків, «Прогнозування залишкового ресурсу агрегатів та систем транспортних засобів сільськогосподарського виробництва за їх технічним станом», *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*, № 45 (2), с. 28-36, 2015.
- [13] В. Передерій, С. Нужний, і Ю. Лебеденко, «Діагностика стану та прогнозування залишкового ресурсу деталей в екстремальних умовах експлуатації», *Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті*, № 2 (23), с. 18-26, 2024.
- [14] О. В. Захарчук, *Технічне обслуговування і ремонт АТЗ*, навч. посіб. для студ. вищих навч. закладів. Луцьк, Україна: РВВ Луцького НТУ, 2015, 140 с.
- [15] *Предиктивне технічне обслуговування: переваги та виклики*. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://itecsu.com/uk/resources/predyktyvne-tehnichne-obslugovuvannya/>.

Рекомендована кафедрою автомобілів та транспортного менеджменту ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 24.09.2025.

Бурлака Сергій Андрійович — д-р філософії, доцент, доцент кафедри інженерної механіки та технологічних процесів в АПК, e-mail: ipserhiy@gmail.com ;

Вінницький національний аграрний університет, Вінниця.

Митко Микола Васильович — канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів та транспортного менеджменту, e-mail: mytko@vntu.edu.ua.

Вінницький національний технічний університет, Вінниця

S. A. Burlaka¹
M. V. Mytko²

Selection of Diagnostic Methods and Analysis of the Factors Influencing the Durability of Vehicle Parts to Ensuring Maximum Residual Life

¹Vinnytsia National Agrarian University;

²Vinnytsia National Technical University

Under modern conditions of the automotive industry development, one of the key tasks is to ensure the durability and reliability of vehicle parts. To achieve this goal, it is important to choose the right diagnostic methods, allowing timely detection of defects, predicting the residual resource and preventing premature failures. The use of a systematic approach to technical diagnostics contributes to increasing the efficiency of technical maintenance, optimizing repair processes and ensuring the safety of vehicle operation.

Particular attention is paid to the analysis of factors that affect the durability and reliability of parts. Among them are the quality of materials, design features, manufacturing technology, operating modes and load conditions. Considering these aspects as a whole enables to more accurately determine the residual resource and form a maintenance strategy in accordance with the real technical state of components and assemblies, and not only according to regulatory deadlines.

The article analyzes in detail modern diagnostic methods, including visual inspection, non-destructive methods (ultrasonic, magnetic, capillary, X-ray), as well as automated monitoring systems. Their advantages, disadvantages and possibilities of integration into the practice of car service enterprises are considered. Special emphasis is placed on the combination of the conventional and progressive technologies, which allows achieving maximum accuracy of diagnostic results and increasing the efficiency of repair processes.

Based on the analysis, recommendations are proposed for optimizing the choice of diagnostic methods depending on the type of parts and their operating conditions. The results of the study can be used both in the educational process of training specialists in technical operation and repair of cars, and in the activities of car service enterprises. The practical implementation of the proposed approaches will ensure the extension of the residual resource of parts, reduction of repair costs and increase of the overall level of reliability and safety of vehicles.

Keywords: diagnostic methods, durability, reliability, parts, residual life, innovative materials, technologies, car repair.

Burlaka Serhii A. — PhD in Industrial Engineering, Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Mechanical Engineering and Technological Processes in the Agricultural Industry, e-mail: ipserhiy@gmail.com ;

Mytko Mykola V. — Cand. Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Automobiles and Transport Management, e-mail: mytko@vntu.edu.ua