

Ю. А. Новицький*Національний університет біоресурсів і природокористування України, м. Київ, Україна
e-mail: novickii_yurka@ukr.net*

Дослідження надійності та періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів

В статті досліджені ключові аспекти надійності та обґрунтування періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів внутрішнього згоряння. Оптимальний інтервал заміни повітряного фільтра є критично важливим для забезпечення ефективної роботи двигуна та зниження зносу деталей, мінімізації витрат на паливо та ефективності використання мобільного енергетичного засобу. Метою представленої статті є аналіз факторів, що впливають на надійність повітряних фільтрів двигунів та обґрунтування оптимальної періодичності їх заміни на основі статистичного аналізу.

Розглянуто методики досліджень, які включають лабораторні та експлуатаційні випробування, збір статистичної інформації. Граничний стан повітряного фільтра двигуна оцінено за сукупність прямих і непрямих ознак. Представлено результати періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів автомобілів Mazda з їх статистичною обробкою. Розрахунками встановлені показники періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів: середня періодичність заміни становить 10,1 тис. км; середнє квадратичне відхилення середнього значення періодичності – 2,99 тис. км; коефіцієнт варіації – 0,44; зміщення початку розсіювання середньої періодичності заміни – 3,25 тис. км. Встановлені межі довірчих інтервалів середнього значення періодичності заміни повітряного фільтра двигуна для закону нормального розподілу: 6,03 тис. км – нижня довірна межа; 14,17 тис. км – верхня довірна межа.

Висновки підкреслюють важливість комплексного підходу до визначення періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів із врахуванням умов експлуатації, якості фільтрувальних елементів та заводу виробника. Для досягнення ефективності використання та економії коштів на технічне обслуговування та ремонтів, рекомендується враховувати фактичні умови експлуатації мобільних енергетичних засобів та технічний стан фільтрів.

повітряний фільтр двигуна, надійність, мобільний енергетичний засіб, періодичність заміни

Постановка проблеми. Повітряні фільтри є ключовими компонентами мобільних енергетичних засобів та удосконалюються разом з розвитком машинобудівної галузі. Аналіз показує, що застосування систем фільтрації повітря в мобільних енергетичних засобах продовжує зростати [1, 2]. Окрім фільтрів для вентиляції картерів агрегатів і фільтрів трансмісії, повітряних фільтрів салонів та фільтрів двигунів, в мобільних енергетичних засобах з'явився цілий ряд нових фільтрувальних систем.

Однією з найважливіших компонент системи впуску двигуна мобільного енергетичного засобу є повітряний фільтр [2, 3]. На відміну від салонних, повітряні фільтри двигуна зазвичай мають більшу площу фільтруючого елемента та більш щільну структуру матеріалу, оскільки вони повинні затримувати дрібніші частинки, підтримуючи високоточні характеристики та захищаючи деталі двигуна. Основна його функція полягає у запобіганні потраплянню абразивних частинок, включаючи пил, пісок та бруд з навколишнього середовища до циліндро-поршневої групи [4], оскільки це може призвести до прискореного зносу деталей, порушення зазорів у з'єднаннях, зниження компресії та погіршення ефективності роботи двигуна.

В статті [5] наведено результати досліджень та порівняння впливу різних ступенів засмічення повітряного фільтра на продуктивність двигуна та негативні викиди. Експерименти проводились на одноциліндровому чотиритактному дизельному

двигуні з водяним охолодженням шляхом блокування області фільтра на чотирьох режимах: 0%, 25%, 50% та 75%. Результати вказують на погіршення показників якості роботи двигуна та зростання викидів CO та CO₂, максимум яких становить 25%.

Порушення періодичності заміни або використання неякісного фільтра може призвести до значних негативних наслідків, таких як збільшення витрати пального, зниження потужності двигуна, підвищення викидів шкідливих речовин, а у крайніх випадках – до капітального ремонту двигуна [5]. Разом з тим, надмірно часта заміна фільтра є економічно невиправданою. Таким чином, визначення оптимальної періодичності заміни повітряних фільтрів та оцінка їх надійності є актуальним завданням не тільки для конструкторів, але й для виробників систем фільтрування, інженерів та власників техніки, експлуатаційників та працівників сервісної служби.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідження повітряних фільтрів та їх впливу на роботу двигуна є предметом багатьох наукових робіт. Літературний огляд показує, що на ефективність фільтрації та термін служби повітряного фільтра двигуна внутрішнього згорання впливає ціла низка взаємопов'язаних факторів. Міжнародний стандарт ISO 5011:2000 [6] є одним з основних документів, що регламентує методи випробувань повітряних фільтрів. Цей стандарт визначає характерні процедури для оцінки пилоємності, ефективності фільтрації та опору потоку повітря, які є визначальними параметрами для порівняння різних фільтруючих елементів.

Важливість типу фільтруючого матеріалу та його конструкція, площа робочої поверхні та розмір пор фільтра для пилоємності та ефективності фільтрації неодноразово підкреслювались у наукових публікаціях [7, 8]. Автори статей встановлюють вимоги до повітряних фільтрів двигунів та визначають їх основні характеристики, досліджують вплив різних розмірів пор фільтра та діаметру волокон для визначення продуктивності статичної та динамічної фільтрації. Для встановлення динамічної фільтраційної продуктивності фільтрів в науковій роботі використовується експериментальний пристрій. В процесі експериментів, для встановлення продуктивності статичної фільтрації, опору фільтрації та ефективності фільтрації чистого фільтра дослідження проводились з використанням методу затримки. Авторами статті встановлено, що у глибинному фільтруючому матеріалі ефективність та опір фільтрації тканинної структури покращувались за умови, коли розмір пор фільтра та діаметр волокон були меншими за величиною.

Автори наукової роботи [8] проводять порівняльний аналіз різних конструкцій повітряних фільтрів двигуна, встановлення їх здатності утримувати забруднення в умовах міського та сільського циклів використання техніки. Представлені в статті висновки вказують на те, що рекомендації виробників щодо періодичності заміни, як правило, є усередненими і можуть не відповідати реальним умовам експлуатації, особливо за умов високої запиленості.

Дослідження, які вказують на необхідність оптимального використання повітряного фільтра двигуна з метою зниження вартості частотої його заміни та забезпечення більшого терміну служби відображенні в науковій роботі [9]. В статті зазначено, що перепад тиску збільшується зі збільшенням об'ємної швидкості потоку повітря, а вища швидкість повітря у фільтрі призводить до проникнення аерозольних частинок до фільтрувального елементу. У зв'язку з проникненням більших частинок забруднень до фільтрувального елементу, ефективність фільтрації для рівномірного розподілу потоку покращується більше, ніж для нерівномірного розподілу потоку. В той же час для дрібних частинок забруднень ефективність фільтрації зменшується для рівномірного розподілу потоку.

Окремі дослідники особливу увагу приділили лише вимірюванню перепаду тиску на повітряному фільтрі двигуна, як найбільш об'єктивному показнику його забруднення [10].

Автори статті [11] зазначили, що зростання перепаду тиску прямо корелює зі збільшенням споживання палива та підвищенням рівня шкідливих викидів. Це підтвердило необхідність використання датчиків перепаду тиску як інструменту для моніторингу стану повітряного фільтра в режимі реального часу, та дозволило перейти від регламентного обслуговування до обслуговування за фактичним станом.

Випробування оригінальних повітряних фільтрів двигунів сімейства Renault K9K показали, як зазначено авторами статті [12], що їх заміна відповідає плану обслуговування, базується на кілометражі, але для більшості фільтрів проводилась передчасно. Автори відмітили, що в процесі використання автомобілів, повітряні фільтри просочуються шаром дрібного пилу, а їх ефективність фільтрації зростає.

Таким чином, аналіз літературних джерел підкреслює багатофакторність проблеми визначення оптимальної періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів, вказує на важливість врахування умов експлуатації та потенціалу використання сучасних методів моніторингу для підвищення їх надійності та економічності.

Постановка завдання. Метою представленої статті є аналіз факторів, що впливають на надійність повітряних фільтрів двигунів та обґрунтування оптимальної періодичності їх заміни на основі статистичного аналізу.

Для досягнення поставленої мети слід вирішити наступні завдання:

- дослідити надійність повітряних фільтрів двигунів за реалізації наступних етапів: збір емпіричних даних; експлуатаційні випробування; оцінка технічного стану; статистична обробка даних;

- обґрунтувати періодичність заміни повітряних фільтрів за встановлення ознак значного забруднення та погіршення режиму роботи двигуна.

Виклад основного матеріалу. Визначальними параметрами, які потребують вивчення, є обґрунтування критеріїв граничного стану та періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів внутрішнього згорання автомобілів Mazda. Повітряний фільтр є критично важливим елементом для захисту двигуна внутрішнього згорання від абразивних частинок, пилу, бруду та інших забруднень, що містяться в атмосферному повітрі. Ці забруднення, потрапляючи до циліндро-поршневої групи двигуна, можуть спричинити прискорений знос поршневих кілець, стінок циліндрів, клапанів та інших рухомих частин, та призвести до скорочення ресурсу агрегату.

Як зазначалось в багатьох наукових роботах, визначити самостійно, з використанням органолептичних методів точні терміни заміни повітряного фільтра не завжди можливо. Одним із прийнятних способів є дотримання рекомендацій заводу-виробника щодо встановлених експлуатаційних термінів. Однак необхідно враховувати, що в складних умовах експлуатації, високого ступеню запиленості, руху по ґрунтових дорогах, частих поїздках в заторах, термін служби фільтрувальних матеріалів скорочується, а фільтр може вийти з ладу раніше рекомендованого заводом-виробником терміну.

Граничний стан повітряного фільтра двигуна оцінено за рядом критеріїв, які формують сукупність прямих і непрямих ознак. До прямих ознак граничного стану фільтра відноситься візуальний аналіз, перевірка розмірів, визначення маси. До непрямих ознак граничного стану фільтра, що вказують на порушення функцій роботи двигуна, відносяться: зниження потужності двигуна; збільшення витрат пального; нестабільна робота двигуна; зміна кольору відпрацьованих газів.

Найбільш очевидними критеріями є візуальний огляд та оцінка параметрів технічної характеристики. Повне забруднення фільтруючого елемента, його сірий або чорний колір, наявність видимих часток пилу, бруду, листя чи комах на поверхні, а також деформація або пошкодження фільтрувального паперу (наприклад, розриви, відшарування від ущільнювачів) вказують на необхідність термінової заміни. Важливо перевіряти не лише зовнішній бік, а й внутрішній. Якщо на внутрішній стороні фільтрувального елемента є сліди пилу – це вказує на неефективну фільтрацію.

Забруднений фільтр обмежує потік повітря до систем двигуна, що призводить до збіднення паливно-повітряної суміші та зниження ефективності його роботи. Водій або ж оператор може помітити це як втрату динаміки, особливо при прискоренні або при русі вгору, під навантаженням. Забрудненість повітряного фільтра призводить до збільшення витрати пального. Двигун, не отримуючи достатньої кількості повітря, буде компенсувати це збільшенням подачі палива, що призводить до перевитрати. Нестабільна робота двигуна також може бути причиною понад допустимого забруднення повітряного фільтра. Ця ознака може проявлятися як нерівномірні оберти на холостому ходу, ускладнений запуск, перепади під час роботи. До непрямих ознак, які вказують на порушення роботи двигуна відноситься зміна кольору відпрацьованих газів. У разі сильного забруднення фільтра та неповного згоряння палива, відпрацьовані гази можуть стати більш темними або чорними.

Аналіз літературних джерел показує, що заміну повітряних фільтрів двигунів слід проводити, в середньому, кожні 10-20 тис. км пробігу або 1 раз на рік, залежно від того, що настане раніше. Однак, слід також пам'ятати, що у сильно запилених регіонах, при частих поїздках по бездоріжжю або в умовах інтенсивного міського трафіку, інтервал заміни повітряних фільтрів може бути скорочений до 5-7 тис. км. Для встановлення точної періодичності його заміни слід контролювати графік технічного обслуговування машин, який надається заводом-виробником.

Конструкція, технічна характеристика та особливості використання повітряних фільтрів двигуна повинні відповідати наступним вимогам: висока ефективність фільтрації; мінімальний опір потоку повітря; висока пилоємність; стійкість до вологи та перепадів температур; герметичність; механічна міцність; відповідність стандартам; конкурентні цінові вимоги; відповідність вимогам до обслуговування; упаковка для зберігання та транспортування; дизайн та зовнішній вигляд; можливість утилізації. Новий повітряний фільтр PE07-13-3A0A двигуна характеризується такими показниками технічної характеристики: довжина – 270 мм; ширина – 180 мм; висота – 40 мм. На рисунку 1 наведено результати контролю технічного стану нового та знятих з експлуатації повітряних фільтрів PE07-13-3A0A двигунів SKYACTIV-G 2.0. автомобіля Mazda: а – новий; б – через 5307 км використання; в – через 17139 км використання.

Режим випробування повітряних фільтрів двигунів був прийнятий як експлуатаційний. Пан випробувань на безвідмовність [NMT] включає наявність відповідної кількості об'єктів N , які за певних умов експлуатації передбачали відновлення працездатності M системи фільтрації, дослідження припинялись при досягненні відповідного напруцювання T та настання граничного стану об'єкту [13].

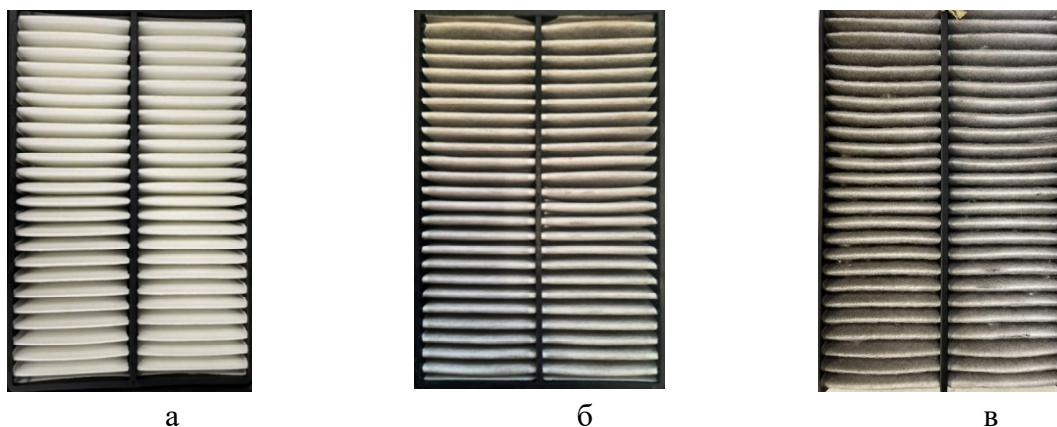


Рисунок 1 – Повітряні фільтри PE07-13-3A0A двигуна SKYACTIV-G 2.0 автомобіля Mazda:
а – фільтр новий; б – фільтр перевірений та замінений через 5307 км; в – фільтр перевірений та замінений після 17139 км

Джерело: розроблено автором

Статистичний ряд інформації сформовано за результатами випробування та перевірки технічного стану 25 повітряних фільтрів PE07-13-3A0A двигунів автомобілів Mazda. Проведено обробку інформації про періодичність заміни повітряних фільтрів PE07-13-3A0A. Результати розрахунків, які включають вибір кількості інтервалів, середини інтервалів, частоти подій, дослідні ймовірності подій, накопичену дослідну ймовірність подій наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Статистичний ряд інформації періодичності заміни повітряних фільтрів PE07-13-3A0A двигунів SKYACTIV-G 2.0 автомобілів Mazda

пп	Межі інтервалів	Середина інтервалу	Частота подій, m_i	Дослідна ймовірність подій, P_i	Накопичена дослідна ймовірність подій, ΣP_i
1	4513 – 7038,2	5715,4	5	0,2	0,2
2	7038,2 – 9563,4	8120,2	5	0,2	0,4
3	9563,4 – 12088,6	10525	9	0,36	0,76
4	12088,6 – 14613,8	12929,8	4	0,16	0,92
5	14613,8 – 17139,0	15334,6	2	0,08	1,0

Джерело: розроблено автором

Встановлено, що отриманий масив емпіричних даних характеризується наступними показниками: середня періодичність заміни становить 10,1 тис. км; середнє квадратичне відхилення середнього значення періодичності, $\sigma = 2,99$ тис. км; коефіцієнт варіації, $v = 0,44$; зміщення початку розсіювання середньої періодичності заміни, 3,25 тис. км. Проведена перевірка відповідності експериментальних даних з теоретичним законом розподілу проводилась за критерієм згоди А. М. Колмогорова. Розраховані межі довірчих інтервалів та інтервал розсіювання середнього значення періодичності заміни повітряного фільтра двигуна для закону нормального розподілу у відповідності з положеннями [13]: $t_{90}^H = 6,03$ тис. км – нижня довірна межа; $t_{90}^B = 14,17$ тис. км – верхня довірна межа; $I_{90} = 8,14$ тис. км – величина інтервалу.

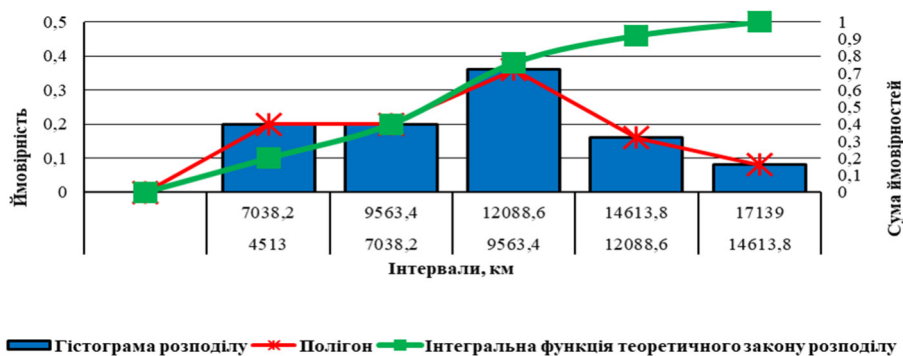


Рисунок 2 – Гістограма розподілу, полігон розподілу, графік накопиченої дослідної ймовірності повітряного фільтра PE07-13-3A0A двигуна SKYACTIV-G 2.0 автомобіля Mazda

Джерело: розроблено автором

На основі аналізу гістограми, полігону розподілу, графіку накопиченої дослідної ймовірності та застосування критеріїв згоди, встановлено, що періодичність заміни повітряних фільтрів у даній вибірці найкраще описується нормальним законом розподілу. Отримані нами результати середньої періодичності заміни повітряних фільтрів двигунів, які становлять 10,1 тис. км та їх нормального розподілу значною мірою корелюють з висновками, представленими в інших наукових працях, включаючи

[14, 15]. В статті [14] підкреслено, що оптимізація інтервалів оцінки технічного стану та необхідність заміни фільтра базується не лише на значеннях пробігу, але й на умовах його експлуатації та фактичному стані.

Досвід експлуатації системи фільтрації повітря двигунів та оцінка їх технічного стану, підтверджують необхідність уточнення періодичності їх заміни [15]. У відповідності до рекомендацій на обслуговування систем очищення повітря двигунів, автори статті зазначають, що періодичність їх заміни становить від 30 до 120 тис. км або ж один раз на рік. Щодо повітряних фільтрів PE07-13-3A0A автомобілів Mazda, в керівних матеріалах періодичність їх заміни 20 до 60 тис. км або ж один раз на рік.

Отримане в дослідженнях значення середньої періодичності заміни повітряного фільтра двигуна становить 10,1 тис. км. Часто автори наукових статей вказують на те, що коефіцієнт варіації для терміну служби повітряних фільтрів двигунів, які залежать від умов експлуатації може знаходитись в межах від 0,1 до 0,3. Отримане значення коефіцієнта варіації 0,44 може бути пояснено значними відмінностями умов експлуатації, що вказує на необхідність більшої точності при прогнозуванні періодичності заміни фільтрів та врахування умови експлуатації.

Перспективною в плані забезпечення надійності мобільних енергетичних засобів може бути методологія, яка запропонована в статтях [16, 17]. Автори статті [16] зазначають, що централізована система технічного обслуговування і ремонту мобільних машин за фактичним технічним станом дозволяє суттєво знизити недовикористаний ресурс деталей вузлів та агрегатів. Зазначена ідеологія також може бути актуальною для використання повного ресурсу повітряних фільтрів двигунів.

Задекларовані в статті [17] методичні підходи дають можливість за результатами експериментальних досліджень зі збору та обробки статистичної інформації про рівень експлуатаційної надійності вузлів і агрегатів оптимізувати номенклатуру елементів для забезпечення працездатності автомобілів. На основі результатів статистичних досліджень надійності повітряного фільтра може бути обґрунтована відповідна кількість резервних елементів, які потребують замовлення, як відмови які спричиняють незначне відхилення технічного стану автомобіля від нормативних показників.

Але дослідження напрямів забезпечення надійності мобільних енергетичних засобів повинні базуватись не лише на результатах статистичного аналізу, як це також зазначають автори статті [18], а повинні враховувати умови експлуатації та результати моніторингу технічного стану машин, прийняті стратегії ремонту та витрати на їх реалізацію.

Отримані результати відповідають сучасним науковим уявленням про особливості експлуатації та періодичність заміни повітряних фільтрів двигунів та підтверджують важливість переходу від регламентованих інтервалів заміни на користь підходів, які базуються на фактичному стані фільтра та умовах експлуатації.

Висновки. Проведене дослідження підтверджує, що надійність та періодичність заміни повітряних фільтрів двигунів є динамічними показниками, які залежать від багатьох факторів, прямих та непрямих ознак.

Середній термін служби повітряного фільтра PE07-13-3A0A двигуна SKYACTIV-G 2.0 автомобіля Mazda для типових умов експлуатації становить 10,1 тис. км, але має значне розсіювання, як для нормального закону розподілу, що підтверджується середнім квадратичним відхиленням 2,99 тис. км та коефіцієнтом варіації 0,44. Встановлені межі довірчих інтервалів та інтервал розсіювання середнього значення періодичності заміни повітряного фільтра двигуна для закону нормального розподілу: 6,03 тис. км – нижня довірча межа; 14,17 тис. км – верхня довірча межа; 8,14 тис. км – величина інтервалу. Розподіл періодичності заміни повітряних фільтрів за нормальним законом розподілу дає можливість застосовувати стандартні статистичні методи для прогнозування та оптимізації інтервалів обслуговування.

Дотримання фіксованих інтервалів заміни повітряних фільтрів, які рекомендовані заводами-виробниками, не завжди є оптимальним. Для досягнення максимальної ефективності експлуатації та економії коштів, які використовуються на технічне обслуговування та ремонтування, рекомендується враховувати фактичні умови експлуатації мобільних енергетичних засобів та технічний стан фільтрів. Впровадження системи моніторингу технічного стану повітряних фільтрів дозволить оптимізувати періодичність, забезпечити своєчасну заміну забруднених фільтрів та уникнути передчасну їх заміну.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на розробку системи технічного обслуговування, яка б використовувала дані про умови експлуатації та технічний стан повітряного фільтра двигуна для обґрунтування оптимального терміну заміни.

Список літератури

1. Новицький А., Карабінюш С., Ружи́ло З., Новицький Ю. Повітряні фільтри салонів транспортних засобів. *Agroexpert*. 2018. № 2(115). С. 82–84.
2. Новицький А., Ружи́ло З., Карабінюш С., Новицький Ю. Повітряні фільтри для двигунів внутрішнього згоряння та особливості їх обслуговування. *Agroexpert*. 2018. № 1(114). С. 64–67.
3. František Synák, Alica Kalašová, Ján Synák. Air Filter and Selected Vehicle Characteristics. *Sustainability*. 2020. № 12(22). DOI: 10.3390/su12229326.
4. Ravi Chander R., Sudheer Prem Kumar, Vijaya Kumar Reddy K., Chakradhar Goud S. Performance analysis of air filters for diesel engine: an experimental approach. *International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences*. 2014. Vol. 4, Iss. 2. P. 14–32. URL: <http://www.euroasiapub.org>.
5. Vishal S. R., Prataprao K. O., Pravin N. A., Rammohan A. Investigation of effect of air filter clogging on performance and emissions from engine. *International Conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*. 2017. Vellore, India. P. 1–6. DOI: 10.1109/ICMDCS.2017.8211699.
6. *ISO 5011:2000*. Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors – Performance testing. Edition 2. 2000. 39 p.
7. Liu X., Shen H., Nie X. Study on the filtration performance of the baghouse filters for ultra-low emission as a function of filter pore size and fiber diameter. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2019. № 16(2). P. 247. DOI: 10.3390/ijerph16020247.
8. Taibullah Modaqeq, Reza Joia, Marat Tulepov's, Orynkul Alisher Nurgaliuly. An In-Depth Analysis of Car Air Filters: Structure, Function and Operational Mechanisms. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*. 2025. № 3(1). P. 249–260. DOI: 10.59324/ejtas.2025.3(1).24.
9. Rajendra Kumar Bhatt, Madan Mohan Joshi, Anand Baghel. Review on Automotive Air Filter Performances. *International Journal of Engineering Research and Applications*. 2021. Vol. 11, Iss. 9(Series-II). P. 6–13. DOI: 10.9790/9622-1109020613.
10. Tadeusz Dziubak, Mirosław Karczewski. Experimental Study of the Effect of Air Filter Pressure Drop on Internal Combustion Engine Performance. *Energies*. 2022. № 15(9). P. 3285. DOI: 10.3390/en15093285.
11. Akal D., Selvi I. Effects of clogged air filter on power, torque, fuel consumption and emissions of diesel engines in tractors. *Petroleum Science and Technology*. 2023. № 41(24). P. 2419–2433. DOI: 10.1080/10916466.2023.2230248.
12. Marius Toma. A study of the air filters' maintenance for automotive internal combustion engines. *U.P.B. Sci. Bull., Series*. 2014. Vol. 76, Iss. 2. P. 101–110. URL: www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full8e1_421518.pdf.
13. ДСТУ 3004–95. Надійність техніки. Методи оцінки показників надійності за експериментальними даними. Київ, 1995. 123 с.
14. Dziubak T., Bakała L. Problems of selecting filter partition in passenger car engine intake air filters. *Combustion Engines*. 2021. Vol. 185(2). P. 44–59. DOI: 10.19206/ce-139629.
15. Gailis M., Pirs V. Research on influence of the engine air filter replacement periodicity. *Engineering for Rural Development*. 2011. P. 173–178. URL: www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2011/Papers/032_Gailis.pdf.
16. Аулін В. В. та ін. Оптиміальний комплекс операцій технічного обслуговування і ремонту для підвищення надійності вузлів, систем та агрегатів мобільних машин. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2023. Вип. 8(39)_II. С. 175–189. DOI: 10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.175-189.
17. Тищенко С. Ю., Аулін В. В., Гриньків А. В. Виявлення типових відмов елементів автомобілів групи Renault та обґрунтування вибору запасних частин. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. Вип. 11(42), ч. II. С. 371–381. DOI: 10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.371-381.
18. Novytskyi A. V., Bannyi O. O. Statistical analysis of functioning of repair service of Ukraine. *Machinery and Energetics*. 2021. № 12(2). P. 39–47. DOI: 10.31548/machenergy2021.02.039.

References

1. Novytskyi, A., Karabyniosh, S., Ruzhylo, Z., & Novytskyi, Yu. (2018). Air cabin filters for vehicles. *Agroexpert*, 2(115), 82–84. [in Ukrainian].
2. Novytskyi, A., Ruzhylo, Z., Karabyniosh, S., & Novytskyi, Yu. (2018). Air filters for internal combustion engines and features of their maintenance. *Agroexpert*, 1(114), 64–67. [in Ukrainian].

3. Synák, F., Kalašová, A., & Synák, J. (2020). Air filter and selected vehicle characteristics. *Sustainability*, 12(22). <https://doi.org/10.3390/su12229326>.
4. Ravi Chander, R., Sudheer Prem Kumar, V., Vijaya Kumar Reddy, K., & Chakradhar Goud, S. (2014). Performance analysis of air filters for diesel engine: An experimental approach. *International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences*, 4(2), 14–32. <http://www.euroasiapub.org>.
5. Vishal, S. R., Prataprao, K. O., Pravin, N. A., & Rammohan, A. (2017). Investigation of air filter clogging effect on performance and emissions of engines. *International Conference on Microelectronic Devices, Circuits and Systems (ICMDCS)*, Vellore, India, 1–6. <https://doi.org/10.1109/ICMDCS.2017.8211699>.
6. ISO 5011:2000. Inlet air cleaning equipment for internal combustion engines and compressors – Performance testing. (2000). Edition 2. 39 p.
7. Liu, X., Shen, H., & Nie, X. (2019). Study on filtration performance of baghouse filters for ultra-low emission depending on pore size and fibre diameter. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(2), 247. <https://doi.org/10.3390/ijerph16020247>.
8. Modaqeq, T., Joia, R., Tulepov, M., & Nurgaliuly, O. A. (2025). An in-depth analysis of car air filters: Structure, function and operational mechanisms. *European Journal of Theoretical and Applied Sciences*, 3(1), 249–260. [https://doi.org/10.59324/ejtas.2025.3\(1\).24](https://doi.org/10.59324/ejtas.2025.3(1).24).
9. Bhatt, R. K., Joshi, M. M., & Baghel, A. (2021). Review on automotive air filter performance. *International Journal of Engineering Research and Applications*, 11(9, Series-II), 6–13. doi.org/10.9790/9622-1109020613.
10. Dziubak, T., & Karczewski, M. (2022). Experimental study of air filter pressure drop influence on engine performance. *Energies*, 15(9), 3285. <https://doi.org/10.3390/en15093285>.
11. Akal, D., & Selvi, I. (2023). Effects of clogged air filter on power, torque, fuel consumption and diesel engine emissions in tractors. *Petroleum Science and Technology*, 41(24), 2419–2433. <https://doi.org/10.1080/10916466.2023.2230248>.
12. Toma, M. (2014). A study of air filter maintenance for automotive internal combustion engines. *U.P.B. Sci. Bull., Series*, 76(2), 101–110. https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/full8e1_421518.pdf.
13. DSTU 3004–95. Nadiinist tekhniky. Metody otsinky pokaznykiv nadiinosti za eksperymentalnyimi danymi. (1995). Kyiv, 123 p. [in Ukrainian].
14. Dziubak, T., & Bakała, L. (2021). Problems of selecting filter partitions for passenger car intake filters. *Combustion Engines*, 185(2), 44–59. <https://doi.org/10.19206/ce-139629>.
15. Gailis, M., & Pīrs, V. (2011). Research on influence of engine air filter replacement periodicity. *Engineering for Rural Development*, 173–178. https://www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2011/Papers/032_Gailis.pdf.
16. Aulin, V. V., et al. (2023). Optimal maintenance and repair complex to increase reliability of machine units and systems. *Tsentrlnoukraiński naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 8(39)_II, 175–189. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8\(39\).2.175-189](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2023.8(39).2.175-189) [in Ukrainian].
17. Tyshchenko, S. Yu., Aulin, V. V., & Hryn'kiv, A. V. (2025). Detection of typical failures of Renault group vehicles and justification of spare parts selection. *Tsentrlnoukraiński naukovyi visnyk. Tekhnichni nauky*, 11(42), Part II, 371–381. [https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11\(42\).2.371-381](https://doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42).2.371-381). [in Ukrainian].
18. Novytskyi, A. V., & Bannyi, O. O. (2021). Statistical analysis of repair service functioning in Ukraine. *Machinery and Energetics*, 12(2), 39–47. <https://doi.org/10.31548/machenergy2021.02.039>.

Yuri Novitskyi

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Research on the Reliability and Frequency of Replacement of Engine Airfilters

The article examines key aspects of reliability and justification of replacement of air filters in internal combustion engines. The optimal air filter replacement interval is critical for ensuring efficient engine operation and reducing wear on parts, minimizing fuel costs, and optimizing the efficiency of mobile energy resources. The purpose of this article is to analyze the factors that affect the reliability of engine air filters and to justify the optimal replacement interval based on statistical analysis.

Research methods are considered, including laboratory and operational tests and the collection of statistical information. The limit state of the engine air filter is assessed based on a set of direct and indirect signs. The results of the replacement frequency of air filters in Mazda cars are presented with their statistical processing. Calculations have established the following indicators for the replacement frequency of engine air filters: the average replacement frequency is 10.1 thousand km; the standard deviation of the average replacement frequency is 2.99 thousand km; the coefficient of variation is 0.44; the shift in the beginning of the dispersion of the average replacement frequency is 3.25 thousand km. The confidence interval limits for the average frequency of engine air filter replacement for the normal distribution law have been established: 6.03 thousand km – lower confidence limit; 14.17 thousand km – upper confidence limit.

The conclusions emphasize the importance of a comprehensive approach to determining the frequency of replacement of engine air filters, taking into account operating conditions, the quality of filter elements, and the manufacturer's plant. To achieve efficiency in use and savings in maintenance and repair costs, it is recommended to take into account the actual operating conditions of mobile power equipment and the technical condition of the filters.

engine airfilter, reliability, mobile power unit, replacement frequency

Одержано (Received) 21.08.2025

Прорецензовано (Reviewed) 29.08.2025

Прийнято до друку (Approved) 23.09.2025