

## ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСТОСУВАННЯ ФІЛЬТРА ОЧИСТКИ ПОВІТРЯ ПАЛИВНОГО БАКА АВТОМОБІЛЯ

**Олег Миронюк, к. т. н., Віктор Шевчук, к. т. н., Ростислав Паславський, к. т. н.,  
Олег Сукач, к. т. н.**

*Львівський національний університет природокористування,  
вул. Володимира Великого, 1, м. Дубляни, Львівський р-н, Львівська обл., Україна,  
e-mail: myronyukos@lnau.edu.ua, shevchukvv@lnau.edu.ua, paslavskyjri@lnau.edu.ua,  
19oleg85@ukr.net*

<https://doi.org/10.31734/agroengineering2022.26.140>

### **Миронюк О., Шевчук В., Паславський Р., Сукач О. Обґрунтування застосування фільтра очистки повітря паливного бака автомобіля**

Обґрунтована важливість очистки дизельного пального від механічних забруднень і води в системах паливободачі дизельних двигунів автомобілів, які використовуються в умовах сільськогосподарського виробництва. Встановлено, що для видалення забруднень використовують різні методи, в основі яких лежать хімічні, фізико-хімічні і фізичні процеси. Для очистки та зневоднення пального найчастіше застосовують фізичні методи, використовуючи фільтрувальні пористі перегородки. Встановлено переваги й недоліки гідрофільних і гідрофобних фільтрувальних матеріалів. Наголошено на перспективності застосування гідрофобних матеріалів із забезпеченням їх безперервної або періодичної регенерації. Одним із шляхів зменшення забруднення пального в системах паливободачі дизельних двигунів є запобігання потраплянню забруднень у паливний бак. Проаналізовані різні способи вирішення цієї проблеми. Забруднення надходять до бака під час витрати палива, у процесі заправки, а також під час малих дихань баків з атмосфери. Розташування паливних баків виправдане з технологічних міркувань забезпечення подачі пального, проте з погляду потрапляння атмосферних забруднень вони розташовані в зоні найбільшої запиленості. Проведений теоретичний аналіз процесів накопичення механічних домішок у баках машин з урахуванням експлуатаційних і конструктивних чинників показав, що мінімізації забрудненості пального в баках автомобілів можна досягти застосуванням пристроїв, що запобігають потраплянню забруднень до паливних баків. Встановлено, що використання технічного пристрою для запобігання потраплянню забруднень до паливного бака з ефективністю 0,65 рівноцінне використанню фільтра тонкої очистки пального з номінальною (95 %) тонкістю очищення  $d_{0,95} = 2,9$  мкм. Таким пристроєм може бути фільтр очистки повітря, що надходить до паливного бака, з використанням гідрофобної фільтрувальної перегородки, регенерація якої відбувається від вібраційних коливань двигуна внутрішнього згоряння. Фільтр закріплюється на паливному баку за допомогою пружини, жорсткість якої вибирають з умови резонансу. Система очистки, що передбачає і захист бака, і фільтрування, дасть змогу одержати високу якість очистки і економічність самої системи очищення, що визначається витратами на фільтрування, які, своєю чергою, залежать від ресурсу змінюваних фільтрувальних елементів і кількості забруднень, які циркулюють у паливній системі.

**Ключові слова:** фільтр очистки повітря, паливний бак, гідрофобна перегородка, регенерація фільтрувальної перегородки.

### **Myroniuk O., Shevchuk V., Paslavskiy R., Sukach O. Rationale for using a car fuel tank air filter**

The importance of diesel fuel purification from mechanical pollution and water in fuel supply systems of cars diesel engines used in the conditions of agricultural production is substantiated. It is established that various methods are used to remove contaminants, which are caused by chemical, physical-chemical and physical processes. Physical methods are most often used to clean and dehydrate fuel, using filter porous partitions. The advantages and disadvantages of hydrophilic and hydrophobic filter materials are established. The emphasis is placed on the prospects of using hydrophobic materials with ensuring their continuous or periodic regeneration. One way to reduce fuel pollution in diesel engine supply systems is to prevent them from entering the fuel tank. Different ways of solving this problem are analyzed. Contamination enters the tank during fuel consumption, during refueling, as well as during small breaths of tanks from the atmosphere. The location of fuel tanks is justified for technological reasons of fuel supply, but in terms of air pollution, they are located in the zone of greatest dust. The theoretical analysis of the mechanical impurities accumulation processes in the cars tanks, taking into account operational and design factors showed that minimization of fuel pollution in the cars tanks can be achieved by using devices that prevent contaminants in fuel tanks. It is established that the use of a technical device to prevent contaminants from entering the fuel tank with an efficiency of 0.65 is equivalent to the use of a fine fuel filter with a nominal 95% fineness of cleaning  $d_{0,95} = 2.9$   $\mu\text{m}$ . Such device may be the filter for cleaning the air entering the fuel tank with using a hydrophobic filter partition, the regeneration of which occurs from the vibrational vibrations of the internal combustion engine. The filter is fixed on the fuel tank by means of the spring, the stiffness of which is chosen from the resonance condition. The cleaning system, which includes both tank protection and filtration, will allow to obtain high quality cleaning

and efficiency of the cleaning system itself, which is determined by the filtration costs, which in turn depend on the resource of changing filter elements and the amount of contaminants circulating in the fuel system.

**Key words:** air purification filter, fuel tank, hydrophobic partition, filter partition regeneration.

**Постановка проблеми.** У зв'язку з високою потребою аграрного виробництва в автотракторній та іншій самохідній сільськогосподарській техніці, обладнаній дизельними двигунами, особливо зростає актуальність питання забезпечення чистоти дизельного пального. Результатом вирішення цього питання є економія пального, продовження строку служби дизельних двигунів та зменшення їх негативного впливу на довкілля.

Питання забезпечення чистоти дизельного пального на стадії виготовлення вдало вирішується завдяки використанню сучасних технологій, а для підтримання необхідного рівня чистоти дизельного пального під час транспортно-складських та заправних операцій розроблені ефективні заходи й виготовлені відповідні технічні пристрої [1]. Водночас низка вчених-дослідників [6; 9] акцентує увагу на важливості вдосконалення процесу очистки дизельного пального на завершальному етапі життєвого циклу перед використанням за призначенням – безпосередньо у системі паливоподачі дизеля.

Очевидно, що існуюча система очистки дизельного пального, що надходить до баків автомобільної техніки під час заправлення на нафтохвищах господарств агропромислового комплексу, переважно не достатньо забезпечує необхідний рівень чистоти дизпалива, поясненням чому є недостатнє застосування на вказаних об'єктах сучасних засобів очистки пального. До того ж навіть за умови заправлення автомобілів «чистим» паливом під час його потрапляння в камеру згоряння дизеля з паливного бака без додаткової очистки в системі живлення або за умови очищення серійними фільтрами, встановленими у цій системі, воно матиме суттєву кількість забруднень з урахуванням їх сталого потрапляння до пального з атмосфери та інших зовнішніх і внутрішніх джерел. Це свідчить про необхідність розробки заходів щодо запобігання потраплянню забруднень до паливного бака.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Розробці нових способів і засобів очистки пального від забруднень увагу приділяло багато дослідників [2; 5; 10; 12]. Для цього пропонують використовувати різні методи: фізичні, хімічні, фізико-хімічні. Зазвичай тверді механічні забруднення в системі паливоподачі дизелів, як свідчать дослідження [7; 14], видаляють з пального за допомогою фізичних методів.

Фізичні методи очистки дизпалива передбачають очистку в силовому полі під дією гравітаційної, відцентрової, електричної, магнітної, електродинамічної та інших сил, очистку за допомогою фільтрування палива через пористі перегородки, а також очистку на основі поєднання цих методів.

Універсальними пристроями для очистки пального від твердих забруднень є фільтри, ефективність застосування яких майже не залежить від властивостей частинок, а залежить винятково від співвідношення частинок і розмірів пор фільтрувального елемента. Такі фільтри порівняно з іншими пристроями для очистки пального мають чимало переваг: стабільну тонкість очистки, відсутність обертових частин, простоту експлуатації [3; 4; 7; 8; 12; 13; 16].

В основі фільтрувальних методів очистки від забруднень лежить використання пористих перегородок, які виготовляють з водопоглинальних (гідрофільних) чи водовідштовхувальних (гідрофобних) матеріалів, а також їх комбінації. У першому випадку матеріал пористої перегородки в процесі фільтрування пального інтенсивно вбирає емульсовану воду до повного насичення. У другому випадку пориста перегородка, пропускаючи лише паливо, є непроникною для емульсійної в ній води, яка залишається на поверхні цієї перегородки. У третьому випадку відбувається послідовне укрупнення мікрокрапель води внаслідок їх коагуляції при взаємодії з волокнами пористої перегородки і випадання укрупнених крапель з потоку палива [16].

У процесі використання гідрофільних перегородок ресурс їхньої роботи обмежений часом до повного насичення перегородки водою. Основним недоліком застосування гідрофобних перегородок є блокування мікрокраплями води пор перегородки, що перешкоджає проходженню через них очищеного пального. Перегородки, що поєднують гідрофільні і гідрофобні волокна, є великогабаритними, а ефективність їхньої роботи залежить від швидкості потоку пального, його густини і в'язкості [16].

Найпростішими за будовою серед фільтрів-водовідокремлювачів, що мають малі габарити і високу водовідокремлювальну здатність, є пристрої з гідрофобними перегородками, проте проблема відведення з їхньої поверхні затриманих крапель води вимагає вирішення.

Очищення пального від забруднень у системах паливоподачі дизелів здійснюють за допомогою фільтрів різного конструктивного виконання [9; 12]. Основний недолік таких фільтрів – обмежений ресурс їхньої роботи, що зумовлений поступовим закупорюванням пор фільтрувального матеріалу частинками забруднень і зростаючим у результаті цього перепадом тиску на фільтрі до гранично допустимого значення [5]. Тому ресурс роботи фільтрувального елемента до його забивання намагаються поєднати з терміном чергового технічного обслуговування автомобіля, під час якого і здійснюється заміна чи промивання фільтрувальних елементів.

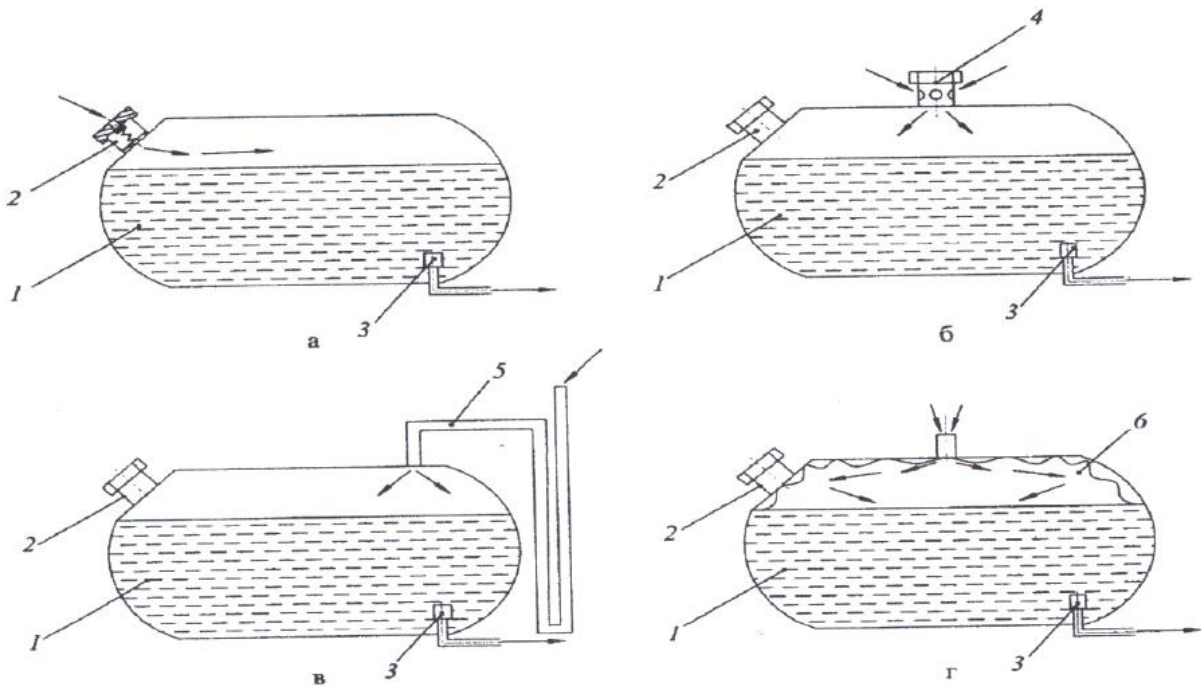
Збільшення терміну служби фільтрувальних елементів і скорочення трудомісткості обслуговування фільтрів можна досягти завдяки періодичній чи безперервній регенерації фільтрувальної перегородки фільтра. Безперервну регенерацію проводять одночасно з фільтруванням, і вона супроводжується постійним видаленням забруднень зі всієї поверхні фільтрувальної перегородки, а періодична – поступовим видаленням забруднень з

окремих її ділянок завдяки продуванню повітрям, змиву струменем рідини, механічному видаленню за допомогою щіток, скребоків, вібраторів тощо.

Аналіз методів очистки дизпалива дає підстави стверджувати, що перспективним для використання в системах паливоподачі дизелів є застосування фільтрувальних перегородок із забезпеченням їх безперервної або періодичної регенерації.

Враховуючи те, що найбільша кількість забруднень, які потрапляють до паливного бака, має атмосферне походження, важливим профілактичним заходом є запобігання контакту палива в баку з атмосферним повітрям. Відомі різні способи вирішення цього завдання [9], які представлені на рис. 1.

Дихальний клапан у герметичній кришці заливної горловини паливного бака знижує кількість пилу та вологи, що потрапляє до палива з атмосферного повітря, але повністю не виключає їх взаємного контакту під час періодичного відкриття клапана. Повітряний фільтр з пористих матеріалів вимагає періодичної заміни і не захищає паливний бак від потрапляння до нього вологи.



**Рис. 1.** Пристрої для зниження потрапляння атмосферних забруднень до палива:  
а – дихальний клапан у кришці горловини; б – повітряний фільтр; в – дихальна трубка;  
г – еластичний газгольдер; 1 – паливний бак; 2 – кришка горловини; 3 – паливозабірник;  
4 – повітряний фільтр; 5 – дихальна трубка; 6 – еластичний газгольдер

**Fig. 1.** Devices to reduce the ingress of air pollution into the fuel: а – breathing valve in the throat cap;  
б – air filter; в – respiratory tube; г – elastic gasholder; 1 – fuel tank; 2 – throat cap; 3 – fuel intake;  
4 – air filter; 5 – breathing tube; 6 – elastic gasholder

Дихальна трубка великої довжини, виведена в зону мінімального забруднення повітря, є доволі ефективним засобом захисту пального від атмосферних забруднень, але за від'ємних температур у ній можливе утворення крижаних пробок унаслідок конденсації водяної пари. Еластичний газгольдер – ефективний засіб захисту пального, але його застосування пов'язане з певними технічними труднощами, зумовленими складністю ущільнення еластичної оболонки у внутрішній порожнині паливного бака.

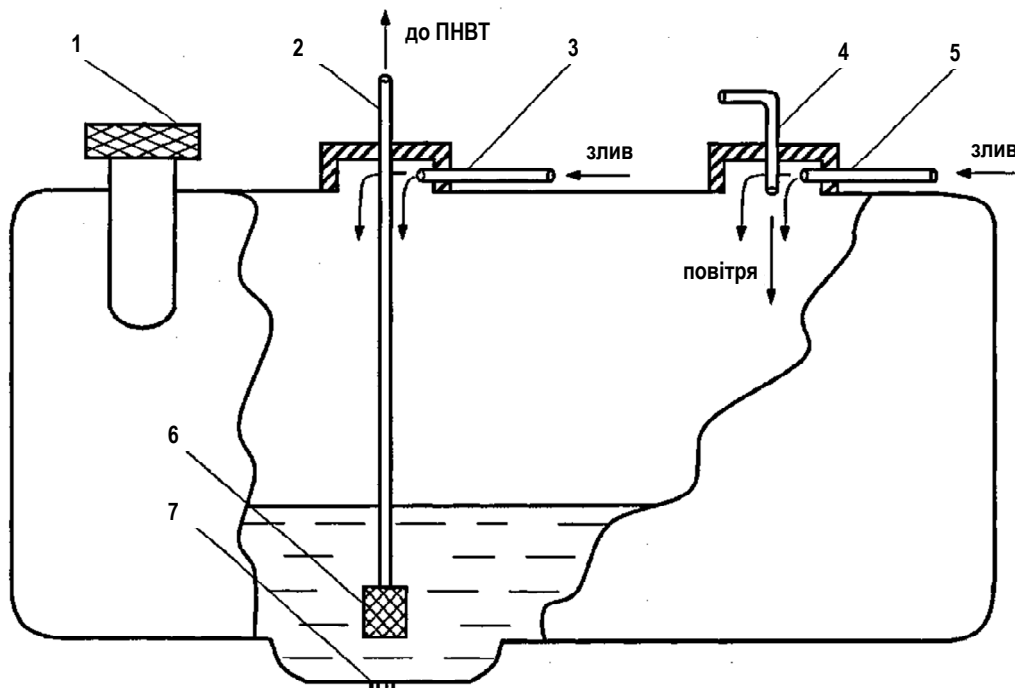
Таким чином, заходи з удосконалення конструкції паливного бака не дають змоги цілковито вирішити завдання забезпечення потрібної чистоти дизпалива. Вирішення цієї проблеми можливе за умови, коли поряд зі здійсненням організаційних заходів з очищення дизпалива в баку систему живлення двигуна оснастити фільтром очистки повітря, що надходить до бака.

**Постановка завдання.** Підвищення чистоти дизельного пального в паливних системах машин є комплексним завданням. Його виконання пов'язане з необхідністю аналізу впливу конструктивних чинників на процеси накопичення і відділення механічних домішок, а також із розробкою конструк-

тивних заходів, що знижують накопичення експлуатаційних забруднень. Метою дослідження є підвищення чистоти палива в системі живлення дизельних двигунів вантажних автомобілів завдяки захисту паливних баків від забруднень в умовах сільськогосподарського виробництва.

**Виклад основного матеріалу.** Забруднення у вигляді механічних домішок потрапляють до паливних систем машин через баки, тобто місткості, що акумулюють забруднення. Найпоширеніші (стандартні) баки машин з дизельними двигунами – це металеві місткості, що мають заливну горловину з герметичними або напівгерметичними кришками, дихальні сапуни, забірники палива та інше оснащення (рис. 2).

Забруднення надходять до бака під час витрати палива і в процесі заправлення, а також під час малих дихань баків з атмосфери. Традиційне розташування баків у компоновальній схемі паливних систем машин слід визнати за виправдане виходячи з технологічних міркувань забезпечення подачі палива, але з погляду потрапляння атмосферних забруднень, як правило, баки розташовані в зонах найбільшої запиленості.



**Рис. 2.** Паливний бак вантажного автомобіля: 1 – герметична кришка горловини; 2 – паливозабірник; 3 – зливний паливопровід від паливного насоса високого тиску; 4 – сапун; 5 – зливний паливопровід від форсунок; 6 – сітчастий фільтр паливозабірника; 7 – зливна пробка

**Fig. 2.** Fuel tank of the truck: 1 – airtight throat cap; 2 – fuel intake; 3 – drain fuel line from high pressure fuel pump; 4 – soap; 5 – drain fuel line from the injectors; 6 – mesh filter of the fuel intake; 7 – drain plug

Механічні домішки, що потрапили до бака машини, частково осідають на дно, частково затримуються фільтрами. Велика частка забруднень постійно циркулює в системі малим колом циркуляції. При цьому за рахунок коливань маси палива в баку, і особливо в процесі заправок, маса забруднень, що осіла, періодично частково повертається в об'єм палива, що подається в систему паливонадачі, і далі, в решті-решт, затримується системою фільтрації. Цим пояснюється той факт, що рекомендовані заходи, пов'язані з осадженням забруднень на дні бака, періодичною промивкою бака, регулярним зливом відстою, збільшують експлуатаційні витрати і не вирішують проблеми зниження забруднення палива в баках машин. Шляхи вирішення цієї проблеми, очевидно, лежать у сфері запобігання потраплянню забруднень до баків.

Загальна кількість забруднень у вигляді механічних домішок, що знаходяться в паливному баку автомобіля з дизельним двигуном, у певний момент складається з тих, що надійшли під час заправлення  $G_3$ , а також з атмосфери  $G_a$  під час дихання бака:

$$G = G_3 + G_a .$$

Для дизельних двигунів з найпоширенішою схемою подачі пального (рис. 3) елементарний процес накопичення механічних домішок у баку описується таким рівнянням матеріального балансу:

$$\rho_n (k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_{\bar{\sigma}} - q_n \cdot \tau) dC = a_{\bar{\sigma}} d\tau - \rho_n \cdot i \cdot q_n \cdot \eta_c \cdot C d\tau - \rho_n \cdot i \cdot q_n (1 - \eta_c) \eta_m \cdot C d\tau , \quad (1)$$

де  $\rho_n$  – густина пального, кг/м<sup>3</sup>;  $k_{\bar{\sigma}}$  – коефіцієнт заповнення бака паливом,  $k_{\bar{\sigma}} = Q_n / Q_{\bar{\sigma}}$ ;  $Q_n$  – об'єм пального в баку, м<sup>3</sup>;  $Q_{\bar{\sigma}}$  – об'єм бака, м<sup>3</sup>;  $q_n$  – об'ємна витрата пального дизельним двигуном, м<sup>3</sup>/с;  $\tau$  – час роботи двигуна, с;  $a_{\bar{\sigma}}$  – умовна швидкість постійного надходження забруднень до бака, кг/с;  $i = V / q_n$  – кратність циркуляції палива;  $V$  – витрата пального через фільтри, м<sup>3</sup>/с;  $\eta_c, \eta_m$  – коефіцієнти ефективності роботи фільтрів грубої і тонкої очистки відповідно;  $C$  – концентрація механічних домішок у баку, г/т.

У рівнянні (1) ліва частина відображає елементарну зміну кількості забруднень у баку. Права частина відображає різницю кількості забруднень, що надійшли, і затриманих системою фільтрування пального.

Розділяючи змінні в (1), а також інтегруючи в межах початкової концентрації після заправки  $C_3$  до поточної  $C_{\bar{\sigma}\tau}$  на момент часу  $\tau_k$ , одержуємо:

$$\int_{C_3}^{C_{\bar{\sigma}\tau}} \frac{dC}{a_{\bar{\sigma}} - \rho_n \cdot q_n \cdot b_{\bar{\phi}} \cdot C} = \int_0^{\tau_k} \frac{d\tau}{\rho_n (k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_{\bar{\sigma}} - q_n \tau)} .$$

Провівши інтегрування

$$\frac{1}{b_{\bar{\phi}}} \ln \left( \frac{a_{\bar{\sigma}}}{\rho_n \cdot q_n \cdot b_{\bar{\phi}} \cdot C} - C \right) \Big|_{C_3}^{C_{\bar{\sigma}\tau}} = \ln \left( \frac{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_n - \tau}{q_n} \right) \Big|_0^{\tau_k}$$

і підставивши граничні значення, маємо:

$$\frac{1}{b_{\bar{\phi}}} \ln \left( \frac{\frac{a_{\bar{\sigma}}}{\rho_n \cdot q_n \cdot b_{\bar{\phi}}} - C_{\bar{\sigma}\tau}}{\frac{a_{\bar{\sigma}}}{\rho_n \cdot q_n \cdot b_{\bar{\phi}}} - C_3} \right) = \ln \left( \frac{\frac{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_n - \tau_k}{q_n}}{\frac{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_n}{q_n}} \right) .$$

У результаті одержуємо формулу для визначення забрудненості палива за безперервної роботи автомобіля:

$$C_{\bar{\sigma}} = \frac{g_{\bar{\sigma}}}{b_{\bar{\phi}}} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_{\bar{\sigma}}} \right)^{b_{\bar{\phi}}} \right] + C_3 \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_{\bar{\sigma}}} \right)^{b_{\bar{\phi}}} , \quad (2)$$

де  $b_{\bar{\phi}} = i \cdot \eta_p$  – параметр, що враховує вплив фільтраційної очистки на процес накопичення забруднень у баку;  $g_{\bar{\sigma}} = a_{\bar{\sigma}} / \rho_n \cdot q_n$  – відносна кількість забруднень, що надходять до бака в процесі експлуатації машини;  $Q_{\tau}$  – об'єм пального, витраченого на момент часу  $\tau_k$  роботи двигуна.

У процесі реальної експлуатації робота паливної системи має періодичний характер. Під час зупинок автомобіля частина забруднень осідає на дно бака. Тому поточна забрудненість пального в баку визначається за формулою

$$C_{\bar{\sigma}} = \left\{ \frac{g_{\bar{\sigma}}}{i \cdot \eta_p} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_{\bar{\sigma}}} \right)^{i \cdot \eta_p} \right] + C_3 \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\bar{\sigma}} \cdot Q_{\bar{\sigma}}} \right)^{i \cdot \eta_p} \right\} (1 - \eta_{\text{відс}}) , \quad (3)$$

де  $\eta_p = [\eta_c + (1 - \eta_c) \cdot \eta_m]$  – результативний коефіцієнт очистки пального системою фільтрування;  $\eta_{\text{відс}} = (0,1-0,2)$  – коефіцієнт гравітаційного осадження забруднень у паливному баку.

Величині  $g_{\bar{\sigma}}$  необхідно надати статистичну оцінку. Для цього скористаємося довідковими даними стосовно забрудненості дизельного пального. Для автомобілів, оснащених системою очистки пального з  $i = 3$ ,  $\eta_c = 0,2$ ,  $\eta_m = 0,6$  для середньостатистичних значень  $C_{\bar{\sigma}} = 0,0041\%$  і  $C_3 = 0,0035\%$ , за  $\eta_{\text{відс}} = 0,2$  з формули (3) одержуємо  $g_{\bar{\sigma}} = 0,01\%$  (для  $Q_{\tau} / k_{\bar{\sigma}} Q_{\bar{\sigma}} = 0,5$ ) [6].

Це значення  $g_{\bar{\sigma}}$  відповідає вільному проникненню забруднень до бака через горловину, що не має засобів захисту. У разі встановлення будь-якого пристрою (наприклад, повітряного фільтрсапуна) з ефективністю  $\eta_{\bar{\sigma}}$  забрудненість пального в баку механічними домішками визначиться так:

$$C_{\delta} = \left\{ \frac{g_{\delta}}{i \cdot \eta_p} (1 - \eta_e) \left[ 1 - \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\delta} \cdot Q_{\delta}} \right)^{i \eta_p} \right] + C_3 \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\delta} \cdot Q_{\delta}} \right)^{i \eta_p} \right\} (1 - \eta_{aidc}) \quad (5)$$

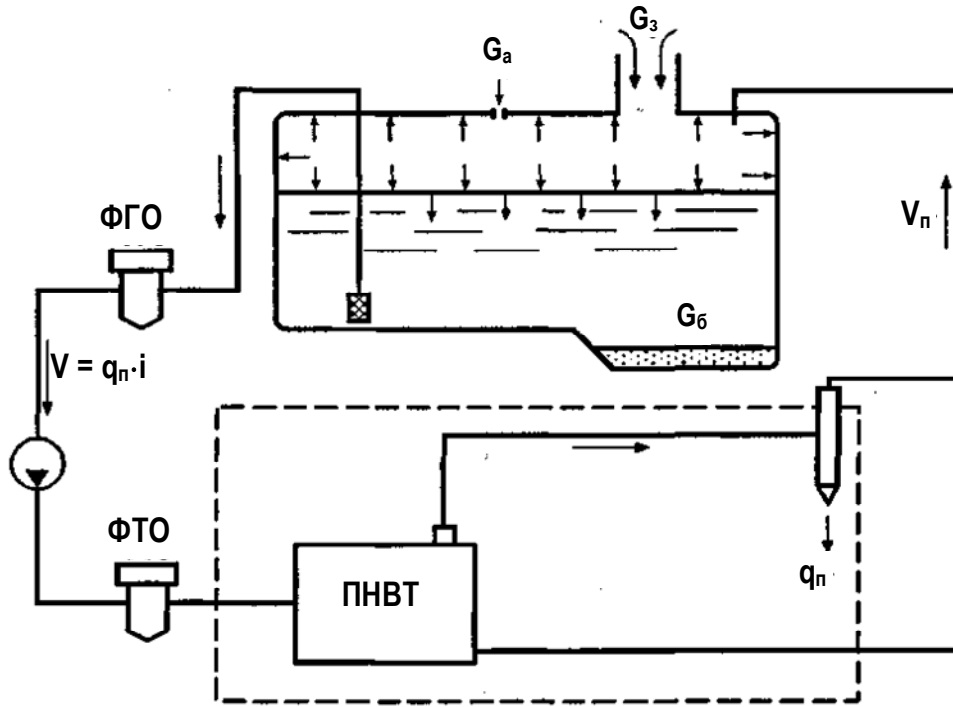


Рис. 3. Схема накопичення забруднень у паливному баку дизельного двигуна  
Fig. 3. Scheme of pollution accumulation in a fuel tank of the diesel engine

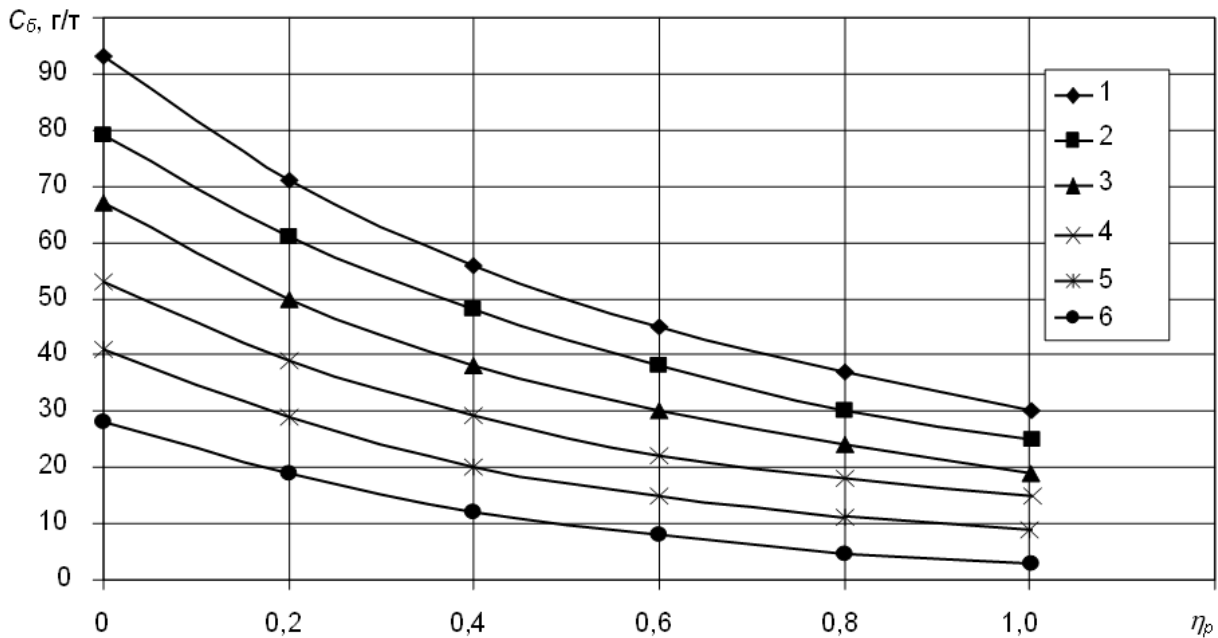


Рис. 4. Розрахункова залежність вмісту механічних домішок у баку від ефективності системи фільтрування пального для  $g_{\delta} = 100$  г/т;  $i = 3$ ;  $C_3 = 35$  г/т;  $\eta_{aidc} = 0,2$ ; 1 -  $\eta_e = 0$ ; 2 -  $\eta_e = 0,2$ ; 3 -  $\eta_e = 0,4$ ; 4 -  $\eta_e = 0,6$ ; 5 -  $\eta_e = 0,8$ ; 6 -  $\eta_e = 1,0$

Fig. 4. Estimated dependence of mechanical impurities content in the tank on the efficiency of the fuel filtration system for  $g_{\delta} = 100$  g/t;  $i = 3$ ;  $C_3 = 35$  g/t;  $\eta_s = 0.2$ ; 1 -  $\eta_s = 0$ ; 2 -  $\eta_s = 0.2$ ; 3 -  $\eta_s = 0.4$ ; 4 -  $\eta_s = 0.6$ ; 5 -  $\eta_s = 0.8$ ; 6 -  $\eta_s = 1.0$

За відсутності системи фільтрування пального ( $\eta_p = 0$ ) після розкриття невизначеності за правилом Лопітала для ( $b_{\phi} \rightarrow 0$ ) формула (2) набуде такого вигляду:

$$C_{\phi} = C_s + g_{\phi} \left[ -\ln \left( 1 - \frac{Q_{\tau}}{k_{\phi} \cdot Q_{\phi}} \right) \right]. \quad (4)$$

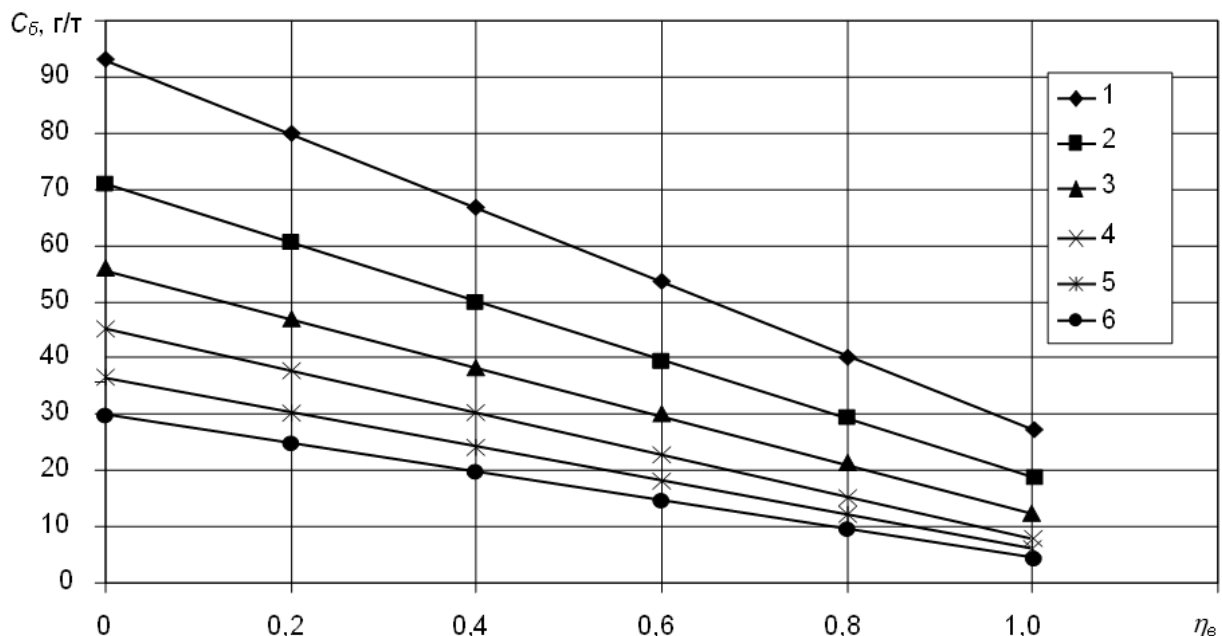
Формула (5) дає змогу аналізувати вплив основних параметрів паливної системи автомобіля, включаючи систему очистки, на процес накопичення забруднень у паливному баку.

На рис. 4 зображена теоретична розрахункова залежність (за формулою (5)) забрудненості пального в баку  $C_{\phi}$  від результативної ефективності системи фільтрування палива  $\eta_p$  за  $Q_{\tau} / k_{\phi} Q_{\phi} = 0,5$ . Оскільки фільтр грубої очистки затримує в основному крупні механічні домішки, а паливний бак не має засобів для запобігання потраплянню до нього забруднень ( $\eta_e = 0$ ), то основна робота з фільтрування механічних домішок лягає на фільтр тонкої очистки. З графіка 1 на рис. 4 випливає, що за рівня забрудненості пального в 50 г/т коефіцієнта очистки пального  $\eta_m = 0,51$  можна досягнути встановленням фільтра тонкої очистки з номінальною (95 %) тонкістю очищення  $d_{0,95} = 2,9$  мкм [11].

З графіка 1 (рис. 5) видно, що аналогічна чистота пального теоретично може бути одержана й без фільтра тонкої очистки ( $\eta_p = 0$ ) у тому разі, якщо бак буде захищений пристроєм, що запобігає потраплянню до нього забруднень з ефективністю затримки механічних домішок  $\eta_e = 0,65$ . Практично бажана система очистки, що передбачає і захист бака, і фільтрування, дасть змогу одержати високу якість очистки і економічність самої системи очищення, що визначається витратами на фільтрування, які, своєю чергою, залежать від ресурсу змінюваних фільтрувальних елементів і кількості забруднень, що циркулюють у паливній системі.

Проведений аналіз процесів накопичення забруднень у паливних баках автомобілів у вигляді механічних домішок і води показує, що вирішення завдання зниження рівня загальної забрудненості палива, що надходить до паливної апаратури дизельних двигунів автомобілів, можливе завдяки розробці пристроїв, що запобігають потраплянню механічних домішок до баків машин.

У результаті очікуваним ефектом удосконалення паливних систем машин є загальне зниження витрат на змінювані (витратні) вузли і деталі паливної апаратури, а також зниження втрат від простоїв техніки.



**Рис. 5.** Розрахункова залежність вмісту механічних домішок у баку від ефективності пристроїв захисту баків за  $g_{\phi} = 100$  г/т;  $i = 3$ ;  $C_s = 35$  г/т;  $\eta_{e10c} = 0,2$ ;  $1 - \eta_p = 0$ ;  $2 - \eta_p = 0,2$ ;  $3 - \eta_p = 0,4$ ;  $4 - \eta_p = 0,6$ ;  $5 - \eta_p = 0,8$ ;  $6 - \eta_p = 1,0$

**Fig. 5.** Estimated dependence of mechanical impurities content in the tank on the efficiency of tank protection devices for  $g_b = 100$  g/t;  $i = 3$ ;  $C_p = 35$  g/t;  $\eta_s = 0,2$ ;  $1 - \eta_r = 0$ ;  $2 - \eta_r = 0,2$ ;  $3 - \eta_r = 0,4$ ;  $4 - \eta_r = 0,6$ ;  $5 - \eta_r = 0,8$ ;  $6 - \eta_r = 1,0$

Аналіз різних варіантів використання пористих перегородок для знепилювання і зневоднення атмосферного повітря, що надходить до паливного бака, показує, що для цих цілей найпридатніша перегородка з гідрофобного матеріалу, наприклад, із недорогого і недефіцитного фільтрувального матеріалу з розміром пор 20...30 мкм (паперу, нетканого полотна тощо), просоченого сумішшю з 90...92 % толуолу і 8...10 % полімеру етилгідросилоксану [16]. Видалення пилового осаду і мікрокрапель води з поверхні пористої перегородки можна здійснювати, використовуючи вібраційну очистку цієї поверхні.

Під час видалення забруднень із пористої перегородки вібраційними методами нерационально застосовувати додаткові пристрої, що приводяться в дію від сторонніх джерел енергії. Робилися спроби використовувати для створення вібрації під час регенерації фільтрувальної перегородки енергію повітряного потоку, але для повітряного фільтра, встановленого на паливному баку, це рішення є малоефективним. Водночас сам двигун внутрішнього згоряння є джерелом пружних коливань від вібрації в широкому спектрі частот. За даними [15], вібрації дизеля мають інтенсивні складові в частотному діапазоні від 16 до 8000 Гц. У літературі відсутні дані, що характеризують рівні і спектральний склад вібрації паливних баків дизельних двигунів, на яких планується встановити повітряні фільтри. Це питання вимагає експериментального дослідження. Проте слід розглянути теоретичні положення, на яких ґрунтується процес регенерації фільтрувальної перегородки вібраційними методами.

Ефективність вібраційної очистки пористої перегородки залежить від частоти й амплітуди її коливань. Частота коливань повітряного фільтра дорівнюватиме частоті коливань паливного бака, на якому він встановлений, але амплітуда коливань цього бака, жорстко змонтованого на рамі автомобіля, має обмежені значення і може виявитися недостатньою для ефективної регенерації пористої перегородки. Значення цього параметра можна збільшити, використовуючи явище резонансу. Для збільшення амплітуди коливань повітряного фільтра його слід встановити на циліндричній пружині стиску, характеристики якої повинні задовольняти умову

$$\Omega = \omega_0, \quad (6)$$

де  $\Omega$  – частота коливань паливного бака, Гц;  $\omega_0 = \sqrt{k/m}$  – власна частота коливань повітряного фільтра, Гц;  $k$  – жорсткість пружини, Н/м;  $m$  – маса повітряного фільтра, кг.

Вираз (6) є умовою резонансу. Тоді рівняння для знаходження необхідної жорсткості пружини матиме такий вигляд:

$$k = \Omega^2 m. \quad (7)$$

Загальний вигляд пристрою для очистки атмосферного повітря, що надходить до паливного бака дизеля, подано на рис. 6.

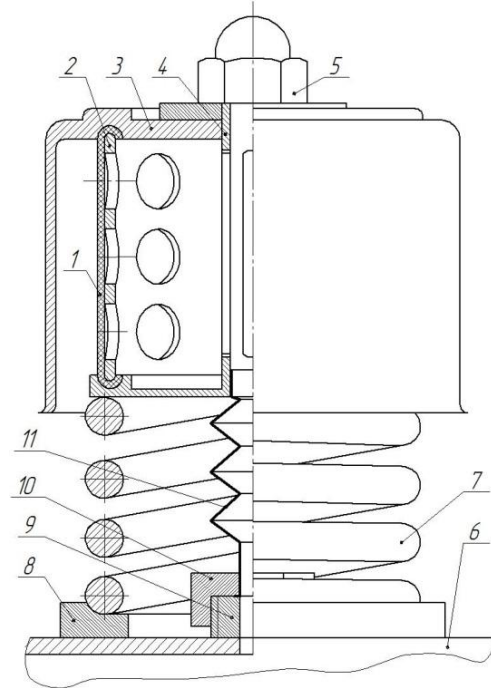


Рис. 6. Конструктивна схема фільтра очистки повітря, що надходить до паливного бака

Fig. 6. Structural scheme of the air purification filter which arrives in a fuel tank

Фільтр містить еластичну перегородку 1 з гідрофобного матеріалу, надіту на циліндричний перфорований каркас 2 і герметично затиснуту між ковпаком 3 та корпусом 4 за допомогою гайки 5. Корпус 4 виконаний у вигляді опорного диска і трубки з прорізами. Фільтр закріплений на паливному баку 6 за допомогою пружини 7, розміщеної між опорним диском і чашкою 8, встановленою на паливному баку 6. Очищене на фільтрувальній перегородці 1 повітря надходить через отвори в каркасі 2 і прорізи в трубці у сильфон 11 і далі у паливний бак 6. З'єднання сильфона 11 зі штуцером 9 паливного бака 6 здійснюється за допомогою накидної гайки 10.

Фільтр для очистки повітря, що надходить до паливного бака, від пилу і вологи працює таким чином. Запилене і вологе повітря надходить під кришку-ковпак через кільцеву щілину, проходить через фільтрувальну гідрофобну вологовідокрем-



лювальну перегородку, де осідають крапельна волога і частки пилу. Потім через отвори в перфорованому каркасі, що слугує для фіксації фільтрувальної перегородки, очищене повітря надходить через прорізи в стінках трубки у внутрішній простір цієї трубки і звідти через сифонний рукав – до паливного бака. Під впливом вібрації паливного бака, що викликає за допомогою пружини резонансні коливання повітряного фільтра, з пористої перегородки видаляються затримані на її поверхні частинки пилу і мікрокраплі води.

**Висновки.** Теоретичний аналіз процесів накопичення механічних домішок у баках машин із врахуванням експлуатаційних і конструктивних чинників показує, що мінімізації забрудненості пального в баках автомобілів можна досягти застосуванням пристроїв, що запобігають потраплянню забруднень до паливних баків. При цьому підвищується ресурс роботи основних фільтрів.

Одержана теоретична залежність (5) накопичення механічних домішок у баках автомобілів дає змогу аналізувати вплив складу забруднень та ефективності пристроїв для запобігання потраплянню забруднень до паливних баків.

На основі аналізу відомих засобів, що запобігають потраплянню механічних домішок до баків машин, запропонована конструкція фільтра очистки повітря, призначеного для затримання атмосферного пилу та крапельної вологи, що надходять до палива в процесі дихання баків. Використання явища резонансу сприятиме регенерації фільтрувальної перегородки від забруднень.

#### Бібліографічний список

1. Банний О. О., Матейко Р. О. Сучасні паливні фільтри тяжкої техніки. *Надійність сільськогосподарської техніки в системі інноваційних процесів*: матеріали V наук.-практ. семінару. Київ, 2020. С. 40-43.
2. Біла Я. Ю., Яремчук Т. О., Тітова Л. Л. Підвищення ресурсу паливних фільтрів і покращення якості очистки палива. *Сучасні технології аграрного виробництва*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2019. С. 34-35.
3. Божок А. М., Лісовал А. А., Рикова І. В. Запобігання випаровування палива з бака транспортного засобу. *Вісник Національного транспортного університету*. 2012. Вип. 25. С. 86-89.
4. Калюжний О. Б., Платков В. Я. Підвищення ресурсу роботи фільтрів очищення біопалив. *Нові і нетрадиційні технології в ресурсо- і енергозбереженні*: матеріали Міжнар. наук.-техн. конф. Одеса: ДУ «Одеська політехніка», 2021. С. 53-56.
5. Лісєєва А. І. Сутність роботи паливних фільтрів для дизельних двигунів. *Інноваційне забезпечення виробництва органічної продукції в АПК*: матеріали V Міжнар. наук. конф. в рамках роботи XXXII Міжнар. агропромислової виставки «АГРО 2020». Київ, 2020. С. 128-129.
6. Марчак Т. В., Романов О. М., Чернишук В. В. Огляд конструкцій фільтрів для зневоднення біопалив в системах живлення автотракторних двигунів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Серія: Технічні науки*. Вінниця, 2011. Вип. 9. С. 194-201.
7. Миронюк О. С., Ковальчук І. М. Фільтр очистки дизельного палива у циркуляційних системах паливободачі. *Всеукраїнська наукова конференція молодих учених і науково-педагогічних працівників*: матеріали. Умань: ВПЦ «Візаві», 2021. С. 175-176.
8. Миронюк О., Шевчук В., Паславський Р. Дослідження двоступінчатого фільтра очистки дизельного пального. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Агроінженерні дослідження*. 2021. № 25. С. 49-56.
9. Назаренко І. П., Коваль Д. М., Дубініна С. В. Методи і технічні засоби очищення нафтопродуктів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. Мелітополь, 2015. Т. 2, вип. 5. С. 231-234.
10. Продеус О. В., Новицький А. В., Ружилюк З. В. Лідерство в сфері фільтрації – ефективний напрям забезпечення надійності техніки. *Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки*: матеріали XI Міжнар. наук.-практ. конф. Кропивницький, 2017. С. 255-256.
11. Ріло І. П., Марчук М. М., Колесник О. А. Використання експлуатаційних матеріалів та економія паливно-енергетичних ресурсів. Рівне: НУВГП, 2012. 190 с.
12. Усе про паливні фільтри двигунів / А. В. Новицький, С. С. Карабиньощ, З. В. Ружилюк, Ю. А. Новицький. *Agroexpert*. 2018. № 3. С. 88-92.
13. Яцун В. І., Тітова Л. Л. Паливободаючі системи автомобільних дизелів. *Сучасні технології аграрного виробництва*: матеріали V Міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2019. С. 32-33.
14. Bejger A., Gawdzinska K. Fuel system contamination affecting injection equipment of diesel engines. *Applied Mechanics and Materials*. 2016. 817. P. 27–33. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.817.27.
15. Mironyuk O. Assessment of the noise level on arterial streets depending on traffic flow indicators. *Transport Technologies*. 2021. 2(2). P. 52–63. doi: 10.23939/tt2021.02.052.
16. To assess the performance of the new fuel filter elements / E. Udler, V. Isaenko, P. Isaenko, A. Isaenko, S. Zykov. *Harvard Journal of Fundamental and Applied Studies*. 2015. 8. P. 586-593.

Стаття надійшла 30.06.2022