



УДК 621.43.001.42

DOI: 10.37128/2520-6168-2020-1-6

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЗНИЖЕННЯ ТОКСИЧНОСТІ
ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ ДИЗЕЛЬНИХ ДВИГУНІВ**

Паладійчук Юрій Богданович, к.н.т., доцент,
Телятник Інна Анатоліївна, студентка
Вінницький національний аграрний університет

Yu. Paladiychuk, Ph.D., associate professor
I. Telyatnik, student
Vinnytsia National Agrarian University

Річні викиди в атмосферу України становлять понад 6 млн. тонн шкідливих речовин і вуглекислого газу. В основному забруднюють середовища промислові підприємства. Проте із збільшенням кількості автомобілів на дорогах, збільшилась і кількість шкідливих викидів в атмосферу. За останні кілька років кількість відпрацьованих газів, що надходять у повітря на території великих міст, зросла на 50 – 70 %. Більше половини шкідливих речовин викидають в атмосферу приватні авто: у 2019 році на них припало 1,7 млн. тонн шкідливих речовин, тоді як загальна кількість усіх автомобільних викидів склала 2,3 млн. тонн.

В даній статті висвітлено проблему забруднення навколишнього середовища відпрацьованими газами дизельних двигунів внутрішнього згорання. Представлено способи поліпшення екологічних показників. Проаналізовано склад відпрацьованих газів та їх дії на екологію навколишнього середовища. Розглянуто стандарти Євро – 1 Євро – 6, по скороченню шкідливих речовин у дизельному паливі. Наведені сучасні екологічні норми Stage і Tier та регулювання димності за допомогою стандартів. Запропоновано формулу для визначення шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів та формулу для визначення димності газів. Розглянуто шляхи нейтралізації токсичності відпрацьованих газів, за допомогою нейтралізаторів та зменшення сажі за допомогою дизельного сажового фільтра. Описано системи DRNR «Common Rail», рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) та систему селективної нейтралізації (SCR) із застосуванням реагенту Adblue, його переваги та недоліки. Представлена порівняльна характеристика систем EGR та SCR.

Бензинові двигуни в даній статті не розглядаються.

Ключові слова: дизельне паливо, двигун внутрішнього згорання, димність, норми токсичності, нейтралізатори, каталізатори, вуглекислий газ, система рециркуляції відпрацьованих газів, система селективної каталітичної нейтралізації.

Ф. 6. Рис. 7. Табл. 5. Літ. 12. Д. 1.

1. Постановка проблеми

На сьогодні забруднення довкілля шкідливими речовинами з відпрацьованих газів (ВГ) двигунів внутрішнього згорання, є найбільшою екологічною проблемою для людей та навколишнього середовища. У ВГ, що їх викидають наші автомобілі, виявлено близько 280 різних шкідливих речовин, серед яких особливу небезпеку становлять канцерогенні бензопірени, оксиди азоту, свинець, ртуть, альдегіди, оксиди вуглецю й сірки, сажа, вуглеводні.

Зростання забруднення атмосфери оксидами азоту, вуглекислим газом та вуглеводнями спричиняє утворення «парникового ефекту» як наслідок відбувається підвищення середньорічної температури та процес глобального потепління.

Кількість транспорту у світі зростає, що хвилини, а разом з тим і рівень викидів шкідливих речовин в атмосферу.

Транспортно-дорожній комплекс – один із чинників забруднення повітря. ВГ що знаходяться в атмосфері глибоко впливають як на самопочуття людей так і на навколишнє середовище. Крім того: автомобільний рух є джерелом забруднення міст викидами тонко-дисперсних та дуже тонко-дисперсних частинок. При спалюванні палива у двигуні внутрішнього згорання (ДВЗ), утворюються гази, що в своєму складі містять досить широкий спектр різних шкідливих речовин, у тому числі канцерогени. Забруднення навколишнього середовища, зокрема придорожних смуг та водних



об'єктів відбувається за рахунок: хлоридів, що застосовуються для посипання доріг взимку, не утилізовані залишки від стертих шин та гальмівних колодок та сипкі і пилові вантажі

Таблиця 1

Склад відпрацьованих газів бензинового та дизельного двигуна внутрішнього згорання [3]

Назва елемента	Бензиновий двигун	Дизельний двигун
Азот N ₂ , об.%	74 – 77	76 – 78
Кисень O ₂ , об.%	0,3 – 0,8	2,0 – 18,0
Вода H ₂ O (пара), об.%	3,0 – 5,5	0,5 – 4,0
Вуглекислий газ CO ₂ , об.%	0,0 – 16,0	1,0 – 10,0
Монооксид вуглецю CO*, об.%	0,1 – 0,5	0,01 – 0,5
Оксиди азоту NO _x *, об.%	0,0 – 0,8	0,0002 – 0,5
Вуглеводні C _n H _m *, об.%	0,2 – 0,3	0,09 – 0,5
Альдегіди *, об.%	0,0 – 0,2	0,001 – 0,009
Сажа C**, г/м ³	0,0 – 0,04	0,01 – 1,10
Бензопірен-3,4** , г/м ³	10 - 20×10 ⁻⁶	10×10 ⁻⁶

Зниження концентрації цих компонентів на даний час не є проблемою завдяки новітнім системам та технологіям, але разом з тим досить важко позбутися оксидів азоту, свинцю, ртуті та сірки, це є досить нагальним та актуальним питанням для екологів та виробників. Ця проблема не полягає в пошуку технології (оскільки їх вистачить) для зниження цих компонентів, а скоріше у виборі варіанта, який є оптимальним за екологічними та економічними показниками, адже цінова категорія є досить важливим показником для більшості споживачів, які через брак коштів і високі ціни починають нехтувати станом навколишнього середовища.

На сьогодні багатьма закордонними виробниками автотранспорту розробляються технології щодо вирішення проблеми нульового рівня токсичності ВГ. Їхній досвід показує, що досягти цього можна тільки у випадку використання альтернативного до нафтового виду пального. Тому практично всі перспективні екологічно чисті автомобілі проектуються із споживанням альтернативних видів пального.

Україна також бере участь у покращенні екологічного стану довкілля, бореться із забрудненням навколишнього середовища, запроваджуючи законопроекти, що регламентують норми шкідливих викидів в атмосферу для транспорту з різними типами двигунів, зокрема з дизельними.

2. Мета і задачі дослідження

Метою даного дослідження є розв'язання проблеми зниження токсичності ВГ.

Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати такі завдання:

- проаналізувати відомі методи очищення ВГ та провести систематику способів нейтралізації токсичності ВГ ДВЗ;
- з врахуванням отриманої інформації, зробити висновки та провести аналіз систем, що дозволяють знизити кількість шкідливих викидів у ВГ.

3. Контроль шкідливих речовин у ВГ дизельних двигунів

В Європі відповідно до положення про скорочення кількості ВГ і поліпшенню екології були створені стандарти. Дані стандарти називаються Euro IV, Euro V та Euro VI. Нововведені директиви, які ввів Євросоюз, дають змогу регулювати викиди шкідливих речовин в дизельних двигунах. 1 жовтня 2006 року Євросоюз запровадив нову директиву під назвою Євро – 4, що стала контролювати ще більше норми викидів газів в атмосферу, яка 1 жовтня 2008 ще підвищилася (в Євро – 5). Усі автомобілі які почали випускати з 2009 року відповідають нормам Євро – 5. З 2014 року стандарти ще підвищилися до Євро – 6 [4].

Визначити вміст шкідливих речовин (Q) у ВГ по j-м компонентам (г/год) можливо за формулою 1

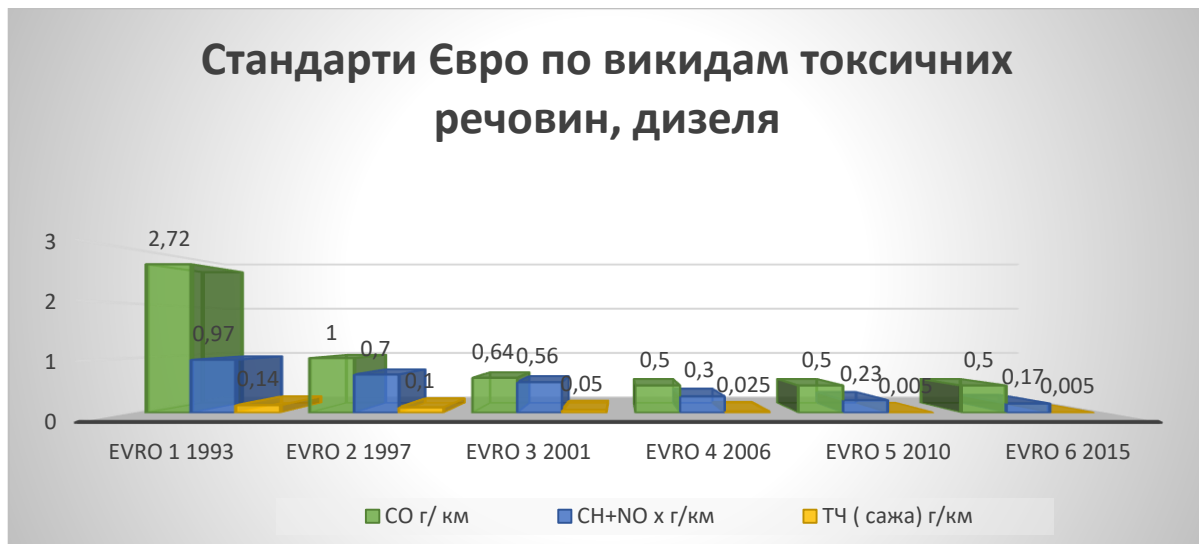
$$Q = \sum c \cdot m \cdot l_j \cdot V \cdot d_a; \quad (1)$$

де c – коефіцієнт, що враховує кількість спаленого пального за один умовний робочий такт двигуна;



m – кількість умовних робочих тактів двигуна;
 l_j – питомий викид j -ої шкідливої речовини (г/кг спаленого пального);
 V – робочий об'єм циліндрів двигуна, л;
 d_a – коефіцієнт, що враховує термін експлуатації двигуна.

При згорянні дизельного палива неминуче утворення твердих частинок – сажі. Оксиди азоту утворюються в камері згорання при високій температурі та великому надлишку повітря в паливо-повітряній суміші, на якому, власне, і працює дизельний двигун. Із-за цього ж надлишку повітря звичайний нейтралізатор не здатний їх знешкоджувати.



Дизельне паливо – це прозора масляниста рідина від жовтуватого до світло-коричневого кольору. Дизельне паливо – це складне утворення парафінових (10...40%), нафтових (20...60%) і ароматичних (14...30%) вуглеводнів та їх похідних середньої молекулярної маси 110...230, що википають у межах 170...380°C.

Україна має чинний державний стандарт технологічних умов з виготовлення дизельного палива ДСТУ 3868-99. Цей стандарт передбачає два різновиди дизельного палива: літнє та зимове.

У 2008 році Україна зокрема Лисичанський нафтопереробний завод почав випускати «Дизельне паливо підвищеної якості» за українським ДСТУ 4840:2007. Даний вид палива поділявся на дві категорії в залежності від вмісту сірки. Перший вид дизельного палива відповідав вимогам стандарту Євро – 5 (EN 590), та мав у своєму складі не більше ніж 0,001% сірки, другий вид палива – Євро – 4 (EN 590), з вмістом сірки не більше ніж 0,005%.

Із започаткуванням в багатьох країнах світу жорстких екологічних вимоги ЄВРО щодо викидів шкідливих речовин від транспортних засобів в атмосферу, кількість шкідливих речовин у ВГ автомобілів за кордоном знизилась приблизно в 3 рази, а разом за останні 40 років вміст токсичних компонентів зменшився на 70 %.

У всьому світі, у тому числі і в Україні посилюються екологічні норми вмісту токсичних речовин у ВГ ДВЗ тракторів, самохідних машин, автомобілів та спеціальної техніки.

Існує два сучасних та перспективних екологічних стандарти для дизельних двигунів лісогосподарських та сільськогосподарських мобільних машин Stage і Tier, що діють на території Європейського союзу та США відповідно.

За допомогою норм Stage I, II, III та IV встановлюються максимальні допустимі рівні токсичності та димності ВГ дизельних двигунів спеціальних машин не призначених для експлуатації на дорогах загального користування. Ці норми актуальні або будуть через деякий час актуальні для України і країн СНД в міру введення їх після країн ЄС.

У Європейському союзі з 1999 р. були введені норми токсичності і димності ВГ, а в Північній Америці діяли ті ж норми тільки вони мали іншу назву Tier.



Таблиця 2

Екологічні стандарти ЄС та США [5]

Європейські норми токсичності	Американські норми токсичності
Stage I (1999 р.)	Tier 1
Stage II (2001 р.)	Tier 2
Stage III a (2004 р.)	Tier 3
Stage III b (2012 р.)	Tier 4i
Stage IV (2014 р.)	Tier 4f

Нові норми токсичності і димності ВГ вступили в силу 1 січня 2012 року, це – етап спрямований на зниження викидів нормованих шкідливих речовин, таких як оксиди азоту (NO_x), тверді частинки (сажа), незгорілі вуглеводні (C_nH_m) і монооксид вуглецю (CO) або як його ще називають чадний газ. Нові екологічні стандарти стосуються всієї лісо- і сільськогосподарської техніки (дизелів лісо- і сільськогосподарських тракторів, самохідних шасі, комбайнів та інших самохідних машин), причому введення норм Stage III b (Tier 4i) для тракторів і машин потужністю 130,18 – 560,45 кВт. сприятимуть зниженню викидів оксидів азоту (NO_x) до 15 %, частинок сажі – до 3 %, що є по суті виклик для виробників двигунів і машин. Крім того у 2014 р. набули чинності норми Stage IV (Tier 4f), які змусили зменшити викиди оксидів азоту додатково до 3 %.

Норми димності та її контролювання

Із запровадженням Євро стандартів та норм Stage і Tier, запроваджуються і норми димності ДВЗ. За допомогою цих норм здійснюється контроль димності на різних підприємствах що пов'язані з експлуатацією та обслуговуванням автомобілів; на виробництві двигунів та автомобілів при випробуванні даної продукції; також димність контролюють під час державних технічних оглядів та при дорожніх умовах.

Під час офіційно затвердженої сертифікації димності автомобілів за ДСТУ UN/ECE R 24-03 (Правилами ЄЕК ООН №24-03), усі дані повинні відповідати нормам та стандартам, які вказані в документі про сертифікацію або наведені заводом-виробником. Якщо автомобілі не сертифіковані за ДСТУ UN/ECE R 24-03 (Правилами ЄЕК ООН №24-03), то їхні показники димності не повинні перевищувати даних наведених у таблиці 3.

Таблиця 3

Нормативи димності дизельних двигунів [6, 7]

Об'єкт випробування	Гранично допустимий натуральний показник ослаблення світлового потоку K_{don} , м^{-1}	Гранично допустимий коефіцієнт ослаблення світлового потоку N_{don} , %
Автомобілі з дизелями		
без наддуву	2,5	66
з наддувом	3,0	73
Автомобілі з газодизелями		
без наддуву	1,7	52
з наддувом	2,0	58

Димність (ВГ) двигуна автомобіля – це показник, що характеризує ступінь поглинання світлового потоку, який просвічує ВГ двигуна.

Димність характеризується двома показниками, одним із них є натуральний показник ослаблення світлового потоку, його вміст нормується та контролюється. Ще одним допоміжним показником є коефіцієнт ослаблення світлового потоку.

Натуральний показник ослаблення світлового потоку – це величина, обернена товщині шару відпрацьованих газів, проходячи який потік випромінювання від джерела світла димоміра ослаблюється в e разів.

Коефіцієнт ослаблення світлового потоку - це ступінь ослаблення світлового потоку внаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами під час проходження ними робочої труби димоміра.

Димність (N) визначають за наступною формулою

$$N = 100 - \beta; \quad (2)$$



де, β – світлопроникність.

Світлопроникність (β) розраховують за формулою

$$\beta = \frac{i}{i_0} \cdot 100; \quad (3)$$

де, i – інтенсивність світла, що пройшло через дим;

i_0 – інтенсивність падаючого паралельного пучка, що проникає у дим.

Кожна деталь автомобіля, яка впливає на димність тим чи іншим шляхом: повинна якісно виготовлятися; забезпечувати норми стандартів протягом всього терміну експлуатації, при дотриманні правил експлуатації та обслуговування. Всі ці правила зазначенні в документації, яка додається до автомобіля.

4. Основні результати дослідження

Екологічні показники автотранспортних засобів, можливо підвищити за допомогою комплексних заходів з вдосконалення конструкції та режимів роботи. Покращуються екологічні показники за допомогою підвищення економічності, заміни бензинових ДВЗ дизельними та багатьма іншими заходами (табл. 4) [8].

Таблиця 4

Способи поліпшення екологічних показників ДВЗ

Способи поліпшення екологічних показників

Підвищення економічності	Підвищення технічного рівня	Заміна бензинових ДВЗ дизельними	Підвищення режиму роботи ДВЗ	Застосування нейтралізаторів
--------------------------	-----------------------------	----------------------------------	------------------------------	------------------------------

Досягнути зниження токсичності ДВЗ автомобілів можливо за допомогою нейтралізаторів ВГ та різних сучасних систем.

Нейтралізатор – додатковий елемент, який встановлюється у вихлопну систему двигуна, що забезпечує зниження токсичності ВГ. Нейтралізатори бувають: рідинні, каталітичні, термічні та комбіновані.

За допомогою розчинів або хімічних взаємодій токсичних компонентів ВГ, відбувається робота рідинного нейтралізатора. ВГ проходять через розчин, що складається з води, водного розчину сульфату натрію та водного розчину двовуглекислої соди.

Процес нейтралізації рідинним нейтралізатором не потребує багато часу для виходу на робочий режим після пуску холодного двигуна.

На рис.1 наведена схема рідинного нейтралізатора, що використовується двоциліндрним дизельним двигуном [8].

Рідинні нейтралізатори мають ряд недоліків, які роблять їх менш перспективними на ринку, до них відносяться: велика маса і габарити; часта заміна рідини; невелике зниження СО; зниження NO₂ лише на 50%; швидке випаровування рідини.

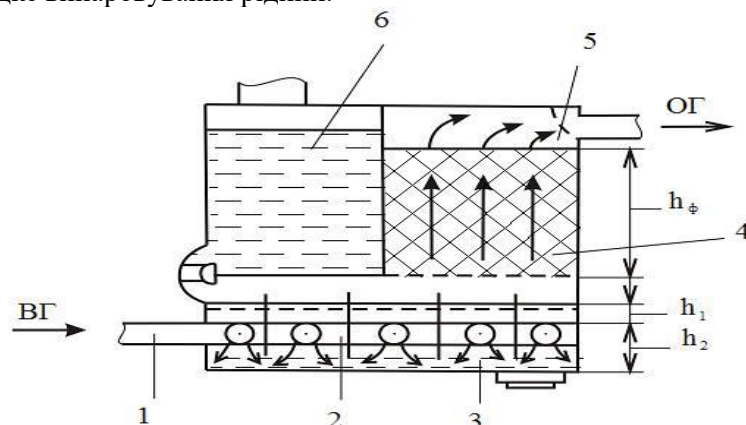


Рис. 1. Схема рідинного нейтралізатора: 1 – труба; 2 – колектор; 3 – бак; 4 – фільтр; 5 – сепаратор; 6 – додатковий бак



Однак рідинні нейтралізатори при використанні їх в комбінованих системах очищення можуть бути раціональними, особливо в тих установках, де ВГ повинні мати низьку температуру при надходженні в атмосферу.

Каталітичний нейтралізатор – пристрій що знаходиться у вихлопній системі ДВЗ, за допомогою якого відбувається зменшення токсичності ВГ. Процес відбувається при відновленні оксидів азоту, з використанням отриманого кисню для догорання чадного газу та недогорілих вуглеводнів. Успішна робота каталітичного нейтралізатора забезпечується стехіометричним співвідношенням палива і кисню у паливо-повітряній суміші.

За допомогою каталізатора відбувається хімічні перетворення (реакція окислення та відновлення), при цьому утворюються нешкідливі або мало-шкідливі сполуки.

Термічний нейтралізатор являє собою так звану камеру згоряння, в якій відбувається процес догорання продуктів неповного згоряння палива – СН та СО. Зазвичай нейтралізатор розташовується у випускному тракті двигуна, але можливе встановлення і на місці випускного трубопроводу, при цьому виконувати його функції. Окислення СО та СН відбувається досить швидко при температурі вище 830°C, при цьому в зоні реакцій наявний незв'язаний кисень.

Термічний нейтралізатор (рис.2) [10] являє собою корпус з випускними патрубками та однієї чи двох жарових труб-вставок з жароміцної листової сталі.

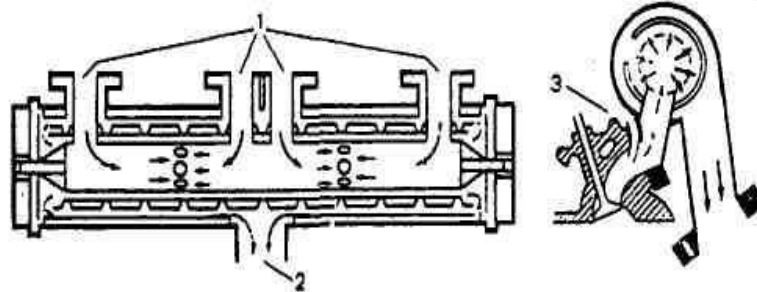


Рис. 2. Термічний нейтралізатор-допалювач:
1 – випускні патрубкі двигуна; 2 – вихід газів з нейтралізатора;
3 – підведення додаткового повітря

У складі ВГ крім парів токсичних речовин, містяться також частинки сажі, для їх зменшення інженери доповнили окислювальний нейтралізатор, який бореться з викидами СО і СН, дизельним сажовим фільтром (DPF) (рис. 3) [11]. В основному нейтралізатор і фільтр знаходяться в одному корпусі, але зустрічаються і роздільні конструкції.

Даний фільтр схожий на звичайний нейтралізатор, при цьому має різницю в тому, що саме він накопичує в собі частинки сажі і виробляє їх спалювання – регенерацію. Температура для цього процесу має становити близько 600 градусів. При звичайних умовах температура ВГ дизеля – від 150 до 300°C, а впливом на управління двигуном її можна підняти тільки до п'ятисот. Для вирішення цієї проблеми застосовують два методи. Перший метод ґрунтується на нанесенні платини на канали фільтра. Цей каталітичний шар знижує температуру згоряння сажі до потрібних 500°C і прискорює сам процес. У другому методі в якості каталізатора використовують присадки до палива, для якої передбачений невеликий додатковий бак. Після регенерації залишаються сажові залишки, які заповнюють фільтр. Утворюються вони з моторного масла і палива, перетворити їх у що-небудь неможливо.

Фільтри з каталітичним шаром доповнено датчиком різних тисків, датчиками температури ВГ і λ -зондом. Датчик тиску визначає різницю тисків ВГ до і після фільтра DPF. По різниці тисків визначається кількість накопиченої сажі: чим вона більша тим сильніше забитий фільтр. За цим же параметром оцінюється стан самого фільтра. Занадто сильний перепад тисків двигуна розцінюється, як засміченість фільтра, при цьому запалюється лампочка *Check* це спричиняє аварійний режим роботи. Аналогічно він поведе себе і у випадку занадто низького перепаду, у випадку пошкодження фільтра. Також сигнал датчика служить для контролю процесу регенерації.

В залежності від складності системи використовують від двох до трьох датчиків температури ВГ, розміщений на корпусі фільтра. Передній датчик на вході в окислювальний нейтралізатор визначає, чи досягнута його робоча температура. Середній – на вході фільтра DPF – сигналізує про температуру, необхідну для регенерації. Задній (у більш простих системах не використовують)



ставлять на виході для контролю температури вихлопних газів в процесі. За допомогою показників розраховують кількість згорілої сажі.

λ -зонд знаходиться за сажовим фільтром, його свідчення потрібні для більш точного визначення кількості згорілої сажі.

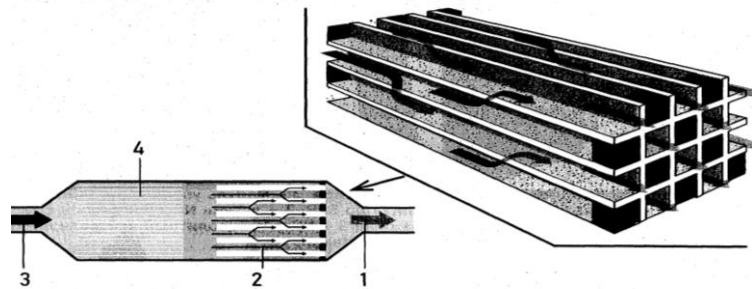


Рис. 3. Схема сажового фільтра:
1 – очищені відпрацьовані гази; 2 – фільтр DPF; 3 – відпрацьовані гази із двигуна;
4 – окислювальний нейтралізатор

Найкращим конструкторським рішенням по зменшенню викидів твердих частинок (сажі) дизельними двигунами, є застосування фільтрів регенеративного типу.

Фільтр-сажовловлювач (рис. 4, а) – це коміркова конструкція з комірками прямокутного перерізу. Матеріал фільтра є досить міцний пористий кордієрит який має стійку сторону щодо агресивних хімічних речовин, спалювання та утворення тріщин при високих температурах [8].

На рис. 4, б зображений інший вид фільтра-сажовловлювача. Він складається з декількох послідовно розташованих пористих перегородок, які забезпечують досить високу ефективність очищення.

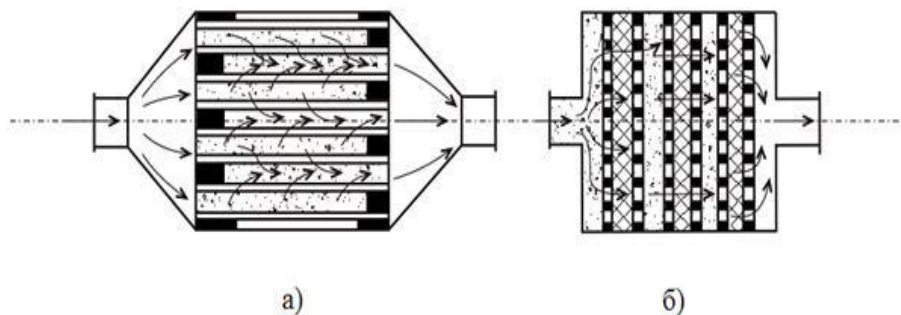


Рис. 4. Схема фільтрів-сажовловлювачів із комірковою (а)
та багат шаровою насадками (б)

За допомогою фільтрів вміст сажі у ВГ зменшується більше ніж у 5 раз. Накопичені частинки сажі у фільтрі, видаляються періодично за допомогою термічного окислення, при цьому температура ВГ становить 450°C і вище, що спричиняє займання накопиченої сажі.

Спроможність сажовловлювачів дизельних ДВЗ становить 10 тис. км. і більше при незначному збільшенні гідравлічного опору. Для цього здійснюють періодичну (через 100 км пройденого шляху) регенерацію фільтроелемента.

Сучасні та перспективні системи зниження токсичності ВГ дизельних двигунів.

На сьогодні ринок насичений досить багатьма різними системами, які дозволяють знизити вміст канцерогенних бензопіренів, оксидів азоту, свинцю, ртуті, альдегідів, оксидів вуглецю й сірки, сажі та вуглеводнів. Найперспективніші з них це: система DRNR (від «Common Rail»), система рециркуляції відпрацьованих газів (EGR) та система селективної каталітичної нейтралізації (SCR).

Розглянемо кожну із цих систем окремо, визначимо переваги та недоліки.

Система для дизельних двигунів останнього покоління «Common Rail» має у своєму складі систему DRNR, яка одночасно знешкоджує шкідливі окиси азоту і канцерогенні частки сажі. Мікроскопічний керамічний фільтр покритий шаром, що накопичує азот, та має каталізатор з платини, він і є головною частиною. Коли двигун працює на бідній суміші частинки сажі



окислюються завдяки кисню, що утворюється при з'єднанні NO та O₂ з ВГ у процесі накопичення NO₂. Коли комп'ютер збагачує суміш, частинки окислюються з киснем, що отримується в результаті розкладання накопичених окислів у безпечний азот. Ця система дозволяє знизити вміст сажі та NO_x на 80 %, в порівнянні з діючими нормами. Недоліком системи є те, що її можна застосовувати лише в наявній системі «Common Rail».

Система рециркуляції ВГ в ДВЗ являє собою клапан, що сполучає на деяких режимах роботи після-дросельний простір впускного колектора з випускним колектором [15].

Робота системи (EGR) полягає у зменшенні кількості кисню в новій паливо-повітряній суміші та зниження температури згоряння в циліндрі. Частина газів в даній системі повертається назад на впуск. Для дизельних двигунів система складається з керуючого клапана, охолоджувача потоку газів і впускного запірної клапана.

ВГ відводяться назад на впуск за допомогою керуючого клапана EGR, що розташований на стороні випуску, в ньому розміщений датчик положення. Керує роботою клапана модуль керування двигуна. При вимиканні двигуна клапан кілька разів відкривається і закривається: відбувається так звана самоочистка. Під час несправності системи EGR клапан залишається закритим. При цьому бувають випадки накопичення сажі та корозії, що призводять до несправності клапана, тобто заклинювання його у відкритому стані. Постійне повернення повної порції ВГ, буде знижувати ресурс елементів та потужність дизельного двигуна.

В системі EGR, охолоджувач працює як інтеркулер в системах наддуву. Гази пройшовши через охолоджувач, мають вищу щільність, при цьому вони тягнуть більші витрати, та ще додатково знижують температуру згоряння в циліндрі. Однак при пуску та в режимі прогріву двигуна така посилена рециркуляція буде тільки на шкоду, так як відбувається неповне згоряння палива. Для уникнення такого явища, використовують клапан, який направляє газу в обхід охолоджувача, та додатково попереджає утворення конденсату через низьку температуру.

У впускному такті перед каналом подачі ВГ розміщена дросельна заслінка так званий, запірний впускний клапан. Клапан при необхідності закривається майже на половину, при цьому зменшує поперечний переріз впускного трубопроводу, що забезпечує створення у випускному колекторі розрідження та підвищується інтенсивність рециркуляції ВГ. У дизельних двигунах клапан відповідає за якісне регулювання паливно-повітряної суміші, тобто контролюються параметри вприскування палива. При відмові заслінка повністю відкривається. Після вимикання двигуна, спрацьовує функція самоочистки, коли дросель кілька разів повністю відкривається і закривається.

Лампа *Check*, повідомляє про несправність системи рециркуляції ВГ. Перевіряють систему за допомогою діагностики на комп'ютері. Для запобігання нагару на системі та двигуні, потрібно використовувати якісне моторне мастило та дизельне паливо з перевірених АЗС. Не якісні мастила, дизельне паливо та продукти його згоряння зменшують ресурс двигуна.

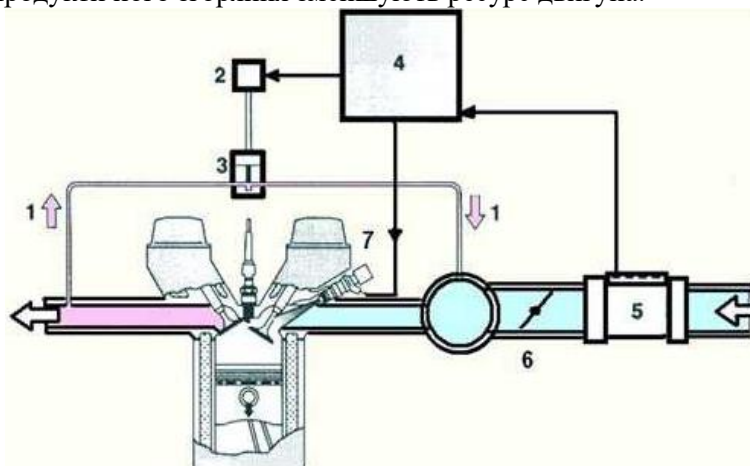


Рис. 5. Схема системи рециркуляції (EGR) ВГ:

1 – потік ВГ; 2 – електро-пнеumo клапан; 3 – клапан EGR; 4 – електронний блок управління;
5 – датчик об'ємного використання повітря; 6 – дросельна заслінка; 7 – форсунка [15]

Щоб і на далі знижувати викиди оксидів азоту, інженери ще більше ускладнили дизельний двигун, також дійшли до неможливого, зменшення їх утворення в циліндрі двигуна. На даному етапі розробок створюється система (SCR) рис. 6 [11], її широко почали застосовувати як на вантажівках



так і легкових автомобілях, що призначенні для європейського ринку. Система має додатковий нейтралізатор-перетворювач, розміщений у випускній системі автомобіля, та бак для реагенту (карбаміда). За допомогою наявного розчину сечовини відбувається перетворення оксидів азоту в нешкідливі речовини [11].

Нейтралізатор має дві частини: перша – це цеоліт нейтралізатора 4, а друга – нейтралізатор проковзування 6. Завдяки каталітичному покриттю – цеоліту, відбувається реакція між карбамідом і оксидами азоту. В даній реакції утворюється аміак 2, що спричиняє нейтралізацію оксидів. Коли не відбулася реакція нейтралізації, аміак проходить далі, щоб його знешкодити використовують нейтралізатор проковзування. Для рівномірного розподілу розчину карбаміду у ВГ використовують змішувач, який розміщений перед перетворювачем, це пришвидшує процес випаровування реагенту.

Щоб контролювати очищення ВГ використовують датчик NO_x 5 (оксидів азоту), принцип роботи аналогічний роботі кисневого датчика. Датчик має окремий модуль управління, це об'єднує їх в єдиний блок.

За основу система SCR використовує розчин сечовини (**AdBlue**). Її впорскують під тиском в камеру згоряння під час того як в циліндрі утворився вихлоп. Протікає процес гідролізу, при якому утворюється аміак і вуглекислий газ, потім в реакцію вступає основний метал системи. Метал і є основним збудником подальшої реакції, яка перетворює аміак і кисень у воду, і чистий азот [11].

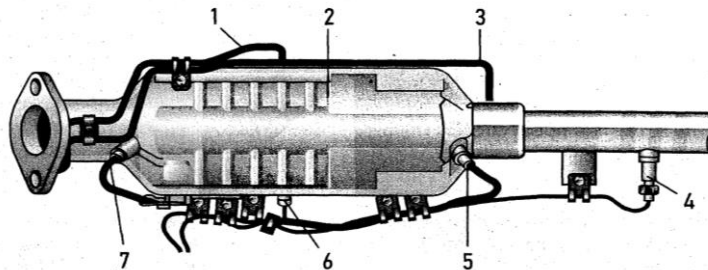
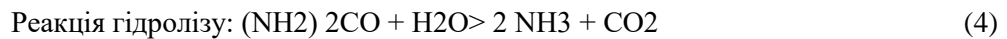


Рис. 6. Схема системи SCR:

1 – корпус нейтралізатора SCR; 2 – аміак; 3 – NO_x; 4 – цеолітний нейтралізатор;
5 – датчик NO_x; 6 – нейтралізатор проковзування

Щоб досягти максимального ефекту нейтралізації протягом усього терміну служби системи, потрібно в першу чергу дотримуватися правил експлуатації та європейського стандарту DIN 70070. При не дотриманні цих правил, може статися незворотний процес, такий як відмова активних центрів або блокування пор.

Систему SCR можна відключати для більш ефективної роботи автомобіля.

Щоб технологія функціонувала безвідмовно потрібно: слідкувати та підтримувати чистоту реагенту сечовини від будь яких сторонніх речовин; робоча рідина (сечовина) не повинна піддаватися стороннім або надмірним фізичним впливом.

Система SCR має дві модифікації:

- з електричним клапаном регулювання охолодження (більш рання модифікація);
- без електричного клапана регулювання охолодження (більш пізня модифікація). Більш якісною та повноцінною вважається система з наявним клапаном регулювання охолодження.

На рис. 6 представлено основні компоненти такої системи із зазначенням належних до неї трубопроводів [12].

В технології SCR використовується AdBlue - спеціальний рідкий реагент, який собою водний розчин, що складається з 32,5% сечовини високої чистоти, 67,5% демінералізованої води високого ступеня очищення, і невеликої кількості вуглекислого газу. При взаємодії оксидів азоту у ВГ з реагентом AdBlue, відбувається перетворення їх в чистий азот і воду. Рідина яка використовується, має бути виготовлена, при дотриманні всіх технологій і мати ліцензію VDA. Використання іншої



речовини сумнівної якості, може призвести до неефективного очищення та спричинити вихід з ладу системи.

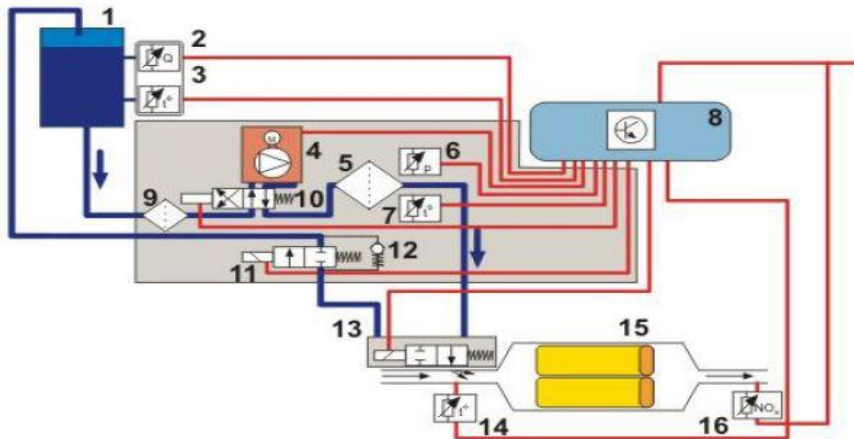


Рис. 7. Принципова схема системи з електричним клапаном регулювання охолодження рідини AdBlue:

1 – бак AdBlue; 2 – датчик рівня розчину в баку AdBlue; 3 – датчик температури в баку AdBlue; 4 – насос постачання розчину AdBlue; 5 – фільтр розчину AdBlue; 6 – датчик тиску розчину AdBlue; 7 – датчик температури розчину AdBlue; 8 – блок управління MID233 системою дозування AdBlue; 9 – фільтр; 10 – гідророзподільювач; 11 – електричний клапан регулювання охолодження; 12 – зворотний клапан; 13 – блок дозування; 14 – датчик температури ВГ; 15 – каталітичний нейтралізатор; 16 – датчик оксидів азоту NOx (застосовується лише для OBD – бортового діагностування)

Реагент **Адблю** використовується як засіб для зниження викидів оксидів азоту дизельних двигунів. Адблю – додаткова робоча речовина, що призначена для зниження токсичності дизельних двигунів, які обладнанні системою SCR.

Європейський стандарт ISO 22241-1/2/3, контролює якість реагенту Адблю. При цьому розчин знижує концентрацію небезпечних оксидів азоту у ВГ, що відповідає екологічним нормам Євро 4, Євро 5 і Євро 6 по викиду шкідливих речовин.

Технологія SCR з використанням реагенту AdBlue має ряд переваги над іншими системами:

1. вона нешкідлива для людей і тварин;
2. не горить;
3. не є токсичною;
4. у ній відсутній ризик вибуху;
5. безпечна для навколишнього середовища;
6. економічно витрачається;
7. не розширюється як вода, тому бак для AdBlue не може лопнути при тривалому промерзанні реагенту;
8. повністю відповідає стандартам вимогам, визначеним стандартами ISO 22241 та DIN 70070;
9. забезпечує надійну роботу системи селективної каталітичної нейтралізації відпрацьованих газів;
10. дозволяє знизити експлуатаційні витрати;
11. зберігає свої властивості у разі замороження.

Маючи так багато переваг у системі є чи немало недоліків:

по-перше – рідина взаємодіє з різними металами;

по-друге – вона дуже чутлива до металів (цинк, алюміній, мідь, чавун, латунь), при їх контакті утворюються солі, що згубно впливають на роботу системи. При застосуванні Адблю потрібно використовувати обладнання яке передбачене для цього;

по-третє – всі матеріали повинні бути ідеально чистими, щоб не забруднювати розчин;

по-четверти – розчин повинен мати оригінальні ємності для зберігання, мінімальний термін зберігання 1 рік (12місяців) при температурі від -11 до +30 градусів, без попадання прямого сонячного світла.

**Пам'ятайте!**

Обладнання під час користування рідиною AdBlue, обов'язково повинно бути виготовлене зі спеціальних матеріалів. При використанні не якісного обладнання або такого яке не відповідає спеціальним умовам експлуатації, є ризик забруднення рідини AdBlue і як наслідок вихід з ладу системи селективної каталітичної нейтралізації.

Таблиця 5

Порівняння особливостей системи EGR та SCR

Ефективність щодо...	Назва системи	
	EGR	SCR
NO ₂	50%	80-100%
CxH _{2x}	0%	50-90%
CO	0%	50-90%
Сажа	При застосуванні додаткового фільтру на 10%	30-50%
Інші показники		
Використання додаткових реагентів	Ні	Adblu
Складність конструкції	Простіша за SCR	Складніша за EGR
Витрата пального	Збільшується на 3-6%	Зменшується на 3-30%
Витрати на технічне обслуговування	Збільшуються	Збільшуються
Вплив температури та вологості на роботу	Не впливає	При більшій вологості менша витрата рідини. При високій температурі більша витрата. Замерзає при -11,5°C.

5. Висновок

Отже, наша атмосфера потерпає від великої кількості чинників. Забруднення її відпрацьованими газами – це найактуальніше явище для будь якого регіону на даний час. Продукти діяльності промислових підприємств, які задовольняють зростаючі потреби людей, містять шкідливі речовини, що отруюють повітря та роблять його небезпечним для життя, та здоров'я людини. Хімічні речовини які попадають у атмосферу становлять загрозу тисячам видів рослин і тварин, разом з тим частково порушується озоновий шар, невпинно настає глобальне потепління та відбуваються інші катаклізми планетарного масштабу.

За допомогою новітніх та передових технологій, можна пригальмувати та зменшити вплив шкідливих речовин на навколишнє середовище, спричинених науково-технічним прогресом. На сьогодні існує безліч перспективних варіантів, щодо захисту екології. Кожний з варіантів має переваги та недоліки, та основною перевагою кожного є те, що вони так чи інакше зменшують кількість токсичних речовин, твердих частинок та інших компонентів, що шкодять атмосфері.

Найбільш перспективною системою із збереженням екології стала німецька система SCR, при її застосуванні ВГ дизельних двигунів очищаються від шкідливих речовин на 90%. Систему широко застосовують на вантажних автомобілях Європи, при цьому транспортні засоби відповідають екологічним нормам Євро – 4, Євро – 5 та Євро – 6.

6. Умовні позначення

ВГ – відпрацьовані гази.

ДВЗ – двигун внутрішнього згорання.

STAGE – екологічний стандарт ЄС.

TIER – екологічний стандарт США.

DRNR – система «Common Rail».

SCR – селективної каталітичної нейтралізації.

EGR – система рециркуляції відпрацьованих газів.

VDA – асоціація автомобільної промисловості Німеччини.

Adblu – розчин сечовини.



ISO 22241 – міжнародний стандарт виробництва реагенту Adblu.

DIN 70070 – німецький стандарт виробництва реагенту Adblu.

Список використаних джерел

1. Анісімов В. Ф., Пришляк В. М., П'ясецький А. А., Бурлака С. А. Експериментальне дослідження відпрацьованих газів дизельних двигунів. *Збірник наукових праць Вінницького національного аграрного університету. Сер. Технічні науки*. 2013. Вип. 12. С. 56–66. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/>.
2. Перспективи розвитку газодизельних двигунів / Біліченко В. В., Мельник М. Є., Вакаренко С. В. *Вісник Донецької академії автомобільного транспорту*. наук. журн. Донецьк, 2012. Вип. 4. С. 42–48.
3. Відпрацьовані гази: веб-сайт. URL: <https://uk.wikipedia.org/>.
4. Стандарти Євросоюзу з токсичності відпрацьованих газів: веб-сайт. URL: <https://ppt-online.org/153845>.
5. Бешун О. А. Сучасні та перспективні екологічні стандарти для дизелів лісо- і сільськогосподарських мобільних машин та технології, які дозволяють їх виконати. *Науковий вісник: ТДАТУ*. Т. 5. Вип. 2. С. 113–123. URL: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf2t5/12boatte.pdf>.
6. ДСТУ 4276:2004. Норми і методи вимірювання димності відпрацьованих газів автомобілів з дизелями або газодизелями. [Чинний від 2005.07.01]. Київ, 2005. 18 с. (Інформація та документація).
7. Перевірка технічного стану колісних транспортних засобів. Норми міжнародних договорів України та права Європейського союзу / Редзюк А.М. та ін. Київ, 2008. 536 с.
8. Навчальні матеріали онлайн. Способи зниження токсичності відпрацьованих газів: веб-сайт. URL: <https://pidruchniki.com/>.
9. Навчальні матеріали онлайн. Шляхи зменшення шкідливості викидів автомобільного транспорту: веб-сайт. URL: <https://pidruchniki.com/>.
10. Сажовий фільтр (DPF). Система SCR: веб-сайт. URL: <https://topik.ru/>.
11. Екологічні норми «Євро»: веб-сайт. URL: <https://propozitsiya.com/ekologichni-normi-ievro>.
12. Что такое SCR система и для чего она необходима: веб-сайт. URL: <https://m-standard.by/novosti/chto-takoe-scr-sistema-i-dlia-chego-ona-neobhodima/>.

References

- [1] Anisimov, V. F., Pryshlyak, V. M., Pyasetsky, A. A., Burlak, S. A. (2013). Experimental study of the exhaust gases of diesel engines. *Collection of scientific works of Vinnytsia National Agrarian University. Avg. Engineering sciences*. 12. Retrieved from: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/pdf> [in Ukrainian].
- [2] Bilichenko, V. V., Melnyk, M. E., Vakarenko, S. V. (2012). Prospects for the development of gas-diesel engines. *Bulletin of the Donetsk Academy of Road Transport*. of sciences. 4. 42-48. [in Ukrainian]
- [3] Exhaust Gas: Website. Retrieved from: <https://en.wikipedia.org/> [in Ukrainian].
- [4] EU standards for flue gas toxicity. Retrieved from: <https://ppt-online.org/153845> [in Ukrainian].
- [5] Beshun, O. A. Modern and promising environmental standards for forestry and agricultural mobile vehicle diesel engines and the technologies that enable them to be met. *Scientific Bulletin: TDATU*. 5(2). Retrieved from: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf2t5/12boatte.pdf> [in Ukrainian].
- [6] Standards and methods for measuring the exhaust fumes of cars with diesel or gas diesel engines. (2005). DSTU 4276: 2004 from 01th July 2005. Kyiv: Derzhstandart Ukraine [in Ukrainian].
- [7] Redzuk, A. M. 2008, *Checking the technical condition of wheeled vehicles. Norms of the international treaties of Ukraine and the law of the European Union*. Kyiv [in Ukrainian].
- [8] Study materials online. Ways to reduce flue gas toxicity. Retrieved from: <https://pidruchniki.com/> [in Ukrainian].
- [9] Study materials online. Ways to reduce road transport emissions. Retrieved from: <https://pidruchniki.com/> [in Ukrainian].
- [10] Soot filter (DPF). SCR System. Retrieved from: <https://topik.ru/> [in Ukrainian].



- [11] Euro environmental standards. Retrieved from: <https://propozitsiya.com/ekologichni-normi-ievro> [in Ukrainian].
- [12] What is a SCR system and what is it for. Retrieved from: <https://m-standard.by/novosti/chto-takoe-scr-sistema-i-dlia-chego-ona-neobhodima> [in Ukrainian].

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ СНИЖЕНИЯ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Годовые выбросы в атмосферу Украины составляют более 6 млн. Тонн вредных веществ и углекислого газа. В основном загрязняют среды промышленные предприятия. Однако с увеличением количества автомобилей на дорогах, увеличилось и количество вредных выбросов в атмосферу. За последние несколько лет количество отработанных газов, поступающих в воздух на территории больших городов, выросло на 50 - 70%. Более половины вредных веществ выбрасывают в атмосферу частные авто: в 2019 году на них пришлось 1700000. Тонн вредных веществ, тогда как общее количество всех автомобильных выбросов составила 2,3 млн. тонн.

В данной статье освещена проблема загрязнения окружающей среды отработанными газами дизельных двигателей внутреннего сгорания. Представлены способы улучшения экологических показателей. Проанализирован состав отработанных газов и их воздействия на экологию окружающей среды. Рассмотрены стандарты Евро - 1 Евро - 6, по сокращению вредных веществ в дизельном топливе. Приведены современные экологические нормы Stage и Tier и регулирования дымности с помощью стандартов. Предложена формула для определения вредных веществ в отработанных газах автомобилей и формулу для определения отработавших газов. Рассмотрены пути нейтрализации токсичности отработавших газов, с помощью нейтрализаторов и уменьшение сажи с помощью дизельного сажевого фильтра. Описаны системы DRNR «Common Rail», рециркуляции отработавших газов (EGR) и систему селективной нейтрализации (SCR) с применением реагента Adblue, его преимущества и недостатки. Представлена сравнительная характеристика систем EGR и SCR.

Бензиновые двигатели в данной статье не рассматриваются.

Ключевые слова: дизельное топливо, двигатель внутреннего сгорания, дымность, нормы токсичности, нейтрализаторы, катализаторы, углекислый газ, система рециркуляции отработавших газов, система селективной каталитической нейтрализации.

Ф. 6. Рис. 7. Табл. 5. Лит. 12. Д. 1.

SUBSTANTIATION OF PARAMETERS FOR REDUCING THE TOXICITY OF EXHAUST GASES OF THE DIESEL ENGINE

Annual emissions of more than 6 million tons of pollutants and carbon dioxide into Ukraine. Mostly polluting industrial enterprises. However, with the increase in the number of cars on the roads, the number of harmful emissions into the atmosphere has increased. Over the past few years, the amount of exhaust gas entering the air in major cities has increased by 50-70%. More than half of the pollutants are emitted by private cars: in 2019, 1.7 million tonnes of harmful substances fell on them, while the total amount of all car emissions was 2.3 million tonnes.

This article highlights the problem of environmental pollution by the exhaust gases of diesel internal combustion engines. Ways to improve environmental performance are presented. The composition of the exhaust gases and their effects on the environment are analyzed. The standards of Euro - 1 Euro - 6, on the reduction of harmful substances in diesel fuel are considered. The modern environmental standards of Stage and Tier and the regulation of smoke by standards are given. A formula for the determination of harmful substances in the exhaust gases of cars and a formula for the determination of the smoke of gases are proposed. The ways of neutralizing the toxicity of the exhaust gases with the help of neutralizers and the reduction of soot by means of the diesel particulate filter are considered. Common Rail DRNR systems, EGR and Selective Neutralization (SCR) systems using Adblue reagent, its advantages and disadvantages are described. The comparative characteristics of EGR and SCR systems are presented.

Gasoline engines are not considered in this article.

Key words: diesel, internal combustion engine, smoke, toxicity standards, catalysts, catalysts, carbon dioxide, exhaust gas recirculation system, selective catalytic neutralization system.

F. 6. Fig. 7. Table. 5. Ref. 12. Chart. 1.



ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Паладійчук Юрій Богданович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Агроінженерії та технічного сервісу» Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: rewet@vsau.vin.ua).

Телятник Інна Анатоліївна – студентка 4 курсу спеціальності « 208 Агроінженерії», Інженерно-технологічного факультету Вінницького національного аграрного університету (вул. Сонячна, 3, м. Вінниця, 21008, Україна, e-mail: inna201098@gmail.com).

Паладійчук Юрій Богданович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Агроинженерия и технического сервиса» Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: rewet@vsau.vin.ua).

Телятник Інна Анатольевна – студентка 4 курса специальности «208 Агроинженерия», Инженерно-технологического факультета Винницкого национального аграрного университета (ул. Солнечная, 3, г. Винница, 21008, Украина, e-mail: inna201098@gmail.com).

Yuriy Paladiychuk – Candidate of Science (Engineering), Associate Professor of the Department of Agroengineering and Technical Service of Vinnitsa National Agrarian University (3 Soniachna St., Vinnitsa, 21008, Ukraine, e-mail: rewet@vsau.vin.ua).

Inna Telyatnuk – 4th year student of specialty 208 of Agroengineering, Faculty of Engineering and Technology of Vinnytsia National Agrarian University (3, Solnychna st., Vinnytsia, 21008, Ukraine, e-mail: inna201098@gmail.com).