

2. Патент № 93288 UA, МПК В23К 13/00. Пристрій для наплавлення тонкостінних деталей / Шаблій О. М., Пулька Ч. В., Базар М. С.; заявник і власник Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя. – № а 200905554; заявл. 01.06.2009; опубл. 25.01.2011, Бюл. № 2.
3. Лыков А. В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высшая школа, 1967. – 600 с.
4. Био М. Вариационные принципы в теории теплообмена / М. Био, А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1975. – 208 с.
5. Фролов В. В. Теоретические основы сварки / В. В. Фролов. – М.: Высшая школа, 1970. – 592 с.

В статье описано метод индукционной наплавки тонких фасонных дисков с использованием кольцевых индукторов путем применения тепловых и электромагнитных экранов. Разработано математическую модель, которая характеризует затраты энергии во время индукционной наплавки тонких стальных дисков.

Индукционная наплавки, стальной диск, электромагнитный экран, тепловое поле, энергия, математическая модель.

The paper describes the induction welding method of thin shaped disks with using of ring inductors by application of heat and electromagnetic screens. Developed a mathematical model that describes the energy consumption during the induction welding of thin steel disks.

Induction welding, steel disc, electromagnetic screen, thermal field, energy, mathematical model.

УДК 621.43.068.4

ОСОБЛИВОСТІ УТВОРЕННЯ ШКІДЛИВИХ КОМПОНЕНТІВ У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВИГУНІВ ЛІСО- І СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ ТРАКТОРІВ

О. А. Бешун, О. А. Марус, кандидати технічних наук

Розглянуто основні шкідливі компоненти відпрацьованих газів двигунів сучасних сільсько- і лісогосподарських тракторів, проаналізовано механізми, причини та умови їх утворення, а також шляхи мінімізації шкідливих викидів.

Екологія, двигун, дизель, токсичність, димність, відпрацьовані газу, викиди, норма, стандарт, Stage, Euro, Tier.

© О. А. Бешун, О. А. Марус, 2015

Постановка проблеми. Проблема захисту навколишнього середовища від шкідливих викидів теплових двигунів є не менш актуальною, ніж економія енергетичних ресурсів. У всіх індустріально розвинутих країнах світу ведуться інтенсивні пошуки шляхів зниження токсичності і димності ВГ (відпрацьованих газів) теплових двигунів, особливо транспортних. Зараз у світі діє система міжнародних, міждержавних, державних та галузевих стандартів, що поширюється на бензинові двигуни легкових та вантажних автомобілів, а також автобусів і на автомобільні, тракторні та комбайнові дизелі.

Аналіз останніх досліджень. Очевидно, що актуальність пошуку шляхів вирішення проблеми зменшення навантаження на довкілля буде лише посилюватись з часом [1, 2]. Не виключенням у цьому відношенні є галузі лісо- і сільськогосподарського виробництва, в яких задіяно велику кількість машин, обладнаних, як правило, дизельними двигунами. Останні, як відомо, є одними з найбільших забруднювачів довкілля і, як показує практика, далеко не вичерпали потенціалу свого вдосконалення. Введення на законодавчому рівні жорстких норм токсичності і димності ВГ автотракторних двигунів та жорстка конкуренція – два фактори, які останнім часом стимулюють провідні двигунобудівні корпорації та фірми кардинально вдосконалювати двигуни, застосовуючи прогресивні новітні технології. Сприяє цьому також стрімкий розвиток мікропроцесорної техніки, цифрових технологій, датчиків та виконавчих механізмів, які стають невід’ємними складовими сучасних двигунів і їх систем [3]. Слід відмітити, що встановлені обмеження і методи визначення вмісту токсичних речовин постійно вдосконалюються і змінюються як в напрямку встановлення нових допустимих норм та вдосконалення методів випробувань, так і в розробці нових вимог до обмеження токсичних речовин таких як свинець, окиси сірки, канцерогенні та інші [1].

Мета досліджень – узагальнити інформацію відносно основних шкідливих компонентів ВГ двигунів сучасних сільсько- і лісогосподарських машин, проаналізувавши механізми, причини і умови їх утворення, а також встановити шляхи мінімізації шкідливих викидів.

Результати досліджень. Призначення ДВЗ (двигунів внутрішнього згоряння) – перетворити хімічну енергію палива в теплову, а її – в механічну роботу. Мета досягається реалізацією декількох послідовних процесів, які можна звести до трьох укрупнених: приготування горючої паливоповітряної суміші певного складу зовні або всередині циліндра (сумішоутворення); запалювання; згоряння (окислення). Причому принципова відмінність ДВЗ, працюючих за циклами Отто і Дизеля, полягає лише в способі запалювання робочого заряду: примусовим запалюванням від стороннього джерела (іскрового розряду на свічці) або самозайманням, викликаним високою

температурою, отриманою внаслідок стиснення повітря. І це зрозуміло: якщо раніше в окремі групи виділяли карбюраторні, газові і інші типи двигунів, то після створення бензинових ДВЗ з безпосереднім впорскуванням палива, спиртових і інших моделей відмінності робочих процесів в екологічному аспекті можна вважати неістотними і, отже, мати право аналізувати їх з позицій загальних закономірностей термодинаміки і хімічної кінетики з деякими поправками. Наприклад, природа виникнення гарячого полум'я, що розповсюджується по го-мо- або гетерогенному зарядам, у двигунів з іскровим запалюванням і дизелів різна, оскільки в першому випадку джерелами є одна або декілька високотемпературних, фіксованих по місцю розташування свічок, в другому – результат виникнення невизначених по місцю і часу первинних спалахів низькотемпературного полум'я з саморозгоном реакцій і накопиченням активних проміжних продуктів, що витрачаються в подальших стадіях, але що приводять, зрештою, теж до гарячого полум'я. Саме в його вузькому фронті або в безпосередньо прилеглому шарі продуктів згоряння в основному завершуються реакції окислення і утворюються токсичні компоненти ВГ. З таких позицій і розглянемо процеси утворення екологічно шкідливих речовин в камерах згоряння двигунів. Почнемо з двигунів, що працюють на традиційних для ДВЗ рідких паливах нафтового походження, які, як відомо, є сумішами вуглеводнів парафінового (алкани), олефінового (алкени), нафтенowego (циклани) і ароматичного (ароматики) рядів з числом атомів вуглецю в молекулі від 5 до 30. Найменш стабільні, у тому числі і в умовах камери згоряння, алкани з ланцюговою будовою молекул (від C_5H_{12} до $C_{13}H_{28}$). Вони окислюються вже при температурах, більше 573 K (300 °C), утворюючи перекиси. Найменш стабільні ароматики з кільцевою будовою і бензольним ядром, що мають високі октанові, і, відповідно, низькі цетанові числа. На жаль, сказати, що механізми і закономірності екзотермічного окислення перерахованих речовин повністю вивчені, поки не можна.

По-перше, достатньо надійно може бути описано згоряння тільки палив, молекули яких мають в своєму складі не більше двох атомів вуглецю; моделі згоряння пропану і бутану знаходяться у стадії інтенсивної розробки, а механізм згоряння октану може бути представлений тільки в гіпотетичній формі. По-друге, при згорянні сумішей вуглеводнів з повітрям, вміст якого менший стехіометричного, утворюється сажа, механізм утворення якої ще явно недостатньо зрозумілий. Відносно механізму утворення екологічно шкідливих продуктів згоряння залишається ще багато неясного. Встановлений лише механізм утворення оксидів азоту при високих температурах згоряння, але дуже погано зрозумілий механізм утворення оксиду азоту з молекул палива, які містять азот, або в результаті реакцій

радикалів, які містять вуглеводні з молекулою азоту. Незрозуміло також, як відбувається зворотний процес перетворення оксидів азоту, що утворилися, в молекулярний азот в межах основної зони полум'я. Поки залишається дуже низьким рівень розуміння хімії сірчистих з'єднань в полум'ї. З урахуванням обчислювальних можливостей сучасних ПК доводиться йти на сильні спрощення газодинамічних або кінетичних аспектів. Іншими словами, немає надійної теоретичної бази, що дозволяє якісно виконати кількісний аналіз хімічного перетворення палива в продукти його згоряння з утворенням токсичних речовин. Повний набір елементарних ланцюгових реакцій, який називається механізмом хімічного перетворення, розглядається, як правило, на макроскопічному рівні, тобто безліч елементарних актів замінюється одним або декількома основними, визначаючими перебіг всієї реакції. Так діятимемо і ми. Правомірність підходу доводиться адекватністю постулюємих закономірностей результатів експериментів, багато разів поставлених на різних типах і моделях двигунів.

Перш за все, відзначимо загальний напрям впливу зміни деяких параметрів робочого процесу на утворення двох специфічних за природою виникнення груп шкідливих речовин. До першої групи відносяться продукти неповного згоряння палива: оксид вуглецю, вуглеводні, альдегіди, сажа; другу складають речовини повного окислення хімічних елементів, що входять в склад як енергоносія, так і повітря – оксиди сірки і азоту. Як відомо з хімічної кінетики, згідно рівнянню Арреніуса швидкість будь-якої реакції лінійно залежить від концентрацій реагуючих компонентів (стосовно згоряння палива в ДВЗ – від концентрацій вуглеводнів і кисню в робочому заряді) і експоненціально – від температури. Звідси витікає, що всяка зміна робочого процесу у напрямі зменшення утворення токсичних з'єднань однієї групи обов'язково приведе до збільшення присутності у ВГ речовин іншої. Наприклад, підвищення температури згоряння і збіднення суміші викликають зменшення викиду оксиду вуглецю з одночасним збільшенням виділення оксидів азоту. Цей чинник показав свого часу в штаті Каліфорнія, США, що жорстке обмеження викиду двигунами автомобілів оксиду вуглецю при реалізації однонаправлених антитоксичних заходів не тільки не поліпшило гігієнічну якість атмосфери, але, навпаки, зробило її непридатною для людини за вмістом оксидів азоту. Довелося міняти технічну політику в двигунобудуванні і експлуатації автомобілів.

Таким чином, необхідно спочатку оптимально організувати робочий процес в екологічному плані з урахуванням індивідуальної шкідливості кожної шкідливої речовини, яка виділяється в процесі його реалізації. Для цього слід встановити закономірності утворення в циліндрах забруднювачів атмосфери і розробити комплексний кри-

терій або критерії оцінки сумарної шкідливості ВГ двигунів і автомобілів (останніх з урахуванням виконуваної корисної роботи при перевезеннях). Розглянемо сучасне тлумачення механізмів утворення токсичних сполук. Основним з нормованих в даний час компонентів ВГ двигунів з іскровим запалюванням є *оксид вуглецю* – CO (*чадний газ*). Утворення його в циліндрі звичайно пов'язують зі згорянням бідних сумішей, пояснюючи причину недоліком окислювача для повного завершення реакцій і недосконалістю сумішоутворення, що обмежує доступ кисню до молекул вуглеводнів. Квазіглобальна схема хімічних перетворень в цьому випадку має вигляд: $C_nH_m + 0,5 \cdot n \cdot O_2 \rightarrow n \cdot CO + 0,5 \cdot m \cdot H_2O$. Насправді реакція ланцюгова з набором елементарних актів, умовно представлених таким чином: $RH \rightarrow R \rightarrow RO_2 \rightarrow RCHO \rightarrow RCO \rightarrow CO$, де R – радикал, тобто група атомів, перехідна в реакціях без змін з одного з'єднання в інше. Навіть для найпростішого з вуглеводнів метану CH_4 по схемі академіка Н.Н. Семенова вона є слабо розгалуженим ланцюгом, що складається з 11 реакцій з участю активних радикалів CH_3 , HO_2 , OH , HCO , а також менш активних, але, хімічно нестійких проміжних продуктів $HCHO$ (формальдегід) і H_2O_2 (перекис водню). Оксид вуглецю, що утворився, доокислюється, до кінцевого продукту в ході також ланцюгової реакції: $CO + OH \rightarrow CO_2 + H$; $H + O_2 \rightarrow OH + O$; $CO + O \rightarrow CO_2$, відбувається тільки у присутності водяної пари або водню. Окислення важких вуглеводнів здійснюється по значно складніших схемах.

Як доповнення до перерахованих перетворень має місце дисоціація діоксиду вуглецю, яка описується формулою $2CO_2 \rightarrow 2CO + O_2$. В дизелях, завжди працюючих при сумарному по камері згоряння коефіцієнті надлишку повітря $\alpha > 1$, вірогідність даних перетворень у фронті гарячого полум'я мала, проте в їх циліндрах знаходяться додаткові джерела утворення CO. До них відносяться: низькотемпературні холодні ділянки полум'я на стадії запалювання палива; його краплі, що поступають при впорскуванні в об'єм з частково використаним на окислення вуглеводнів киснем і згоряють дифузійно; частинки сажі, що утворилася в період розповсюдження турбулентного полум'я по гетерогенному заряду, в якому при загальному надлишку O_2 ($\alpha \sim 1,3$) можуть створюватися зони з його дефіцитом і протікати реакції вигляду $C + 0,5 \cdot O_2 \rightarrow 2CO$.

У результаті в циліндрі двигунів з іскровим запалюванням на початку і в кінці такту розширення зберігаються приблизно постійними об'ємні концентрації оксиду вуглецю: при стехіометричному складі суміші – 5 %, при роботі на збіднених сумішах – 1 %. У дизелів на початку такту розширення вони одного порядку з вказаними, але потім швидко знижуються і до моменту відкриття випускних клапанів вже складають тільки десяті частки відсотка. Резюмуючи ви-

словлене, можна сказати, що визначальним чинником присутності оксиду вуглецю у ВГ двигунів з іскровим запалюванням є склад суміші, а температура процесу грання відіграє другорядну роль, у дизелів – навпаки. Обидва параметри, у свою чергу, взаємозв'язані, оскільки перехід на багаті суміші (великі навантаження) завжди викликає підвищення температури процесу.

Другий, також нормований компонент ВГ – група вуглеводнів, що налічує багато десятків індивідуальних з'єднань, які умовно позначаються одним символом C_mH_n (або C_nH_m , чи CH_x). Додатково виникає їх емісія у складі паливних випаровувань. При аналізі закономірностей утворення вуглеводнів в циліндрі також використовується описана вище квазіглобальна модель, яку розглядають одночасно з моделлю утворення оксиду вуглецю. Аналіз приводить до висновку, що у разі добре організованого згоряння палива і конструктивно відпрацьованих з теплової точки зору камер згоряння виділення вуглеводнів може бути достатньо незначним. Реальна, підвищена їх емісія, яка спостерігається як в двигунах з іскровим запалюванням, так і в дизелях, пов'язана, в основному, з придушенням холодними стінками камери згоряння реакцій окислення в приграничному шарі завтовшки 0,05...0,40 мм. «Заморожуються» вуглеводні також в зазорах між поршнем і стінками циліндра під першим поршневым кільцем, навколо клапанів, між поверхнею поршня і кришкою циліндра.

Третю групу складають кисневмісні вуглеводні – альдегіди, які узагальнено позначаються символом $RCHO$. У ВГ, в основному, виявляються *формальдегід* і *акролеїн*. Перший з них замикає гомологічний ряд насичених альдегідів, другий – ненасичених. Викид альдегідів поки нормується тільки для дизелів і лише при їх експлуатації в погано вентильованих об'ємах (підземне виробництво, тунелі, кар'єри і т. д.). В двигунах, що працюють по циклу Отто, вони утворюються в пристінкових шарах і зазорах при придушенні кінетичних ланцюгів окислення вуглеводнів. Володіючи великою реакційною здатністю, незалежно від режиму роботи двигуна, вони практично повністю вигоряють в циліндрах. Хоча, при детонаційно-подібному горінні емісія альдегідів згідно розрахункам повинна зростати, проте експериментального підтвердження їх результатів поки нема. У ВГ дизелів присутність аналізованих кисневмісних вуглеводнів в значних кількостях спостерігається при роботі на малих навантаженнях двигунів і при їх пуску, особливо холодному. Це пов'язано з фактом утворення більшості альдегідів в процесі низькотемпературного багатостадійного запалювання робочого заряду. Зокрема, світіння холодного полум'я пояснюють наявністю в ньому оптично збуджених молекул формальдегіду. При великих навантаженнях двигуна альдегіди встигають згоріти в циліндрі на такті розширення, при малих і

при пуску холодного дизеля вони присутні у ВГ. Четвертим компонентом продуктів неповного згоряння палива є сажа, частинки якої складаються, в основному, з твердого вуглецю з включенням 1...3 % хімічно і фізично зв'язаного водню, а також сорбуємих їх розвинутою поверхнею (1 г сажі має поверхню порядку 75 м^2) шкідливих речовин, стимулюючих ракові захворювання в результаті наявності канцерогенних поліциклічних ароматичних вуглеводнів (ПАУ). Сажа, як і будь-який пил, подразнює дихальні шляхи, викликаючи хронічні захворювання, але головна її небезпека полягає в тому, що тверді частинки забезпечують тривалий контакт і засвоєння канцерогенів живими тканинами. Потрапивши в організм, ПАУ акумулюються ним, поступово нагромаджуючись до критичних концентрацій, коли поява злоякісних пухлин стає фатальною неминучістю.

Присутність сажі у ВГ обумовлює їх *оптичну непрозорість (димність)*, що небажано в аспекті безпеки руху і з погляду суб'єктивно-моральної оцінки небезпеки двигунів в екологічному плані. Аналіз механізму утворення сажі і наявності її у ВГ дозволяє відповісти на питання: чому, будучи продуктом неповного згоряння палива, вона виявляється перш за все у викидах дизелів, процес згоряння в яких відбувається при загальному надлишку кисню і лише в незначних кількостях – в двигунах, що працюють по циклу Отто, де майже завжди має місце недолік окислювача?

Розрізняють чотири фази формування конгломератів сажі, що знаходяться у ВГ двигунів: *утворення зародків*; *їх зростання до первинних частинок*, що є скупченням кристалітів, які, в свою чергу, складаються з трьох-п'яти пластинок графітних шестикутників; *коагуляція* до розвинутих конгломератів; *вигоряння* складних утворень. Початкові два акти цього ланцюга хіміко-фізичних перетворень, що приводять до появи первинних частинок, є сумарним підсумком наступних процесів: піроліз (крекінг) – термічне розкладання (розщеплювання) молекул вуглеводнів; гідрогенізація – високотемпературні реакції приєднання водню до різних з'єднань і зворотний йому процес – дегідрогенізація; полімеризація – реакції з'єднання однакових молекул ненасичених з'єднань-мономерів в одну укрупнену – полімер; конденсація – реакція приєднання двох і більше молекул до первинної з утворенням дуже великих елементарних частинок іншого вигляду. Передбачити визначаючий з них для всіх умов утворення сажі неможливо. При відносно низьких температурах (менше 1500 K) реакції полімеризації і конденсації переважають над реакціями дегідрогенізації, і зародками можуть бути, перш за все, ароматичні вуглеводні; високим температурам відповідають піроліз і гідрогенізація, а димами є практично будь-які вуглеводні. Концентраційний інтервал початку утворення сажі складає по коефіцієнту надлишку повітря

$\alpha = 0,33...0,70$. За наявності в двигунах з іскровим запалюванням практично гомогенного робочого заряду вірогідність появи таких збагачених зон в камері згоряння невелика. Немає умов також для зростання і коагуляції первинних частинок, зате висока температура робочого тіла після проходження гарячого полум'я сприяє інтенсивному вигорянню малих за розмірами утворень сажі. Цими чинниками пояснюється незначний викид сажі двигунами, що працюють по циклу Отто. У дизелів більш можливо утворення Perezбагачених локальних об'ємів, в яких забезпечується протікання перерахованих вище реакцій, що приводять до формування первинних утворень сажі і їх укрупнення. Цієї думки дотримуються всі теоретики і експериментатори, проте відносять момент з'явлення сажі в циліндрах до різних періодів робочого процесу. Представник однієї з шкіл, З. Мойрер, вважає, що первинні частинки з'являються на стадії запалювання, коли при прогресуючому зростанні температури середовища експоненціально зростає швидкість реакції за перекисним механізмом і надходження кисню в зону реакції відстає від потреби в ньому. У дизелів дим утворюється в результаті диспропорції між швидкостями крекінгу і подачі кисню, а вуглець, що утворився, може окислюватися до діоксиду тільки в реакції з парами води, вірогідність присутності яких поблизу крекінгуючих молекул занадто мала. З другого боку, на думку А.З. Соколіка, джерело димлення слід шукати в процесі розповсюдження турбулентного гарячого полум'я по камері згоряння. Обидві концепції, мабуть, сумісні, але сажа, що утворилася за період запалювання встигає згоріти в циліндрі, а та, що з'явилася при горінні виявляється у ВГ. До токсичних кінцевих продуктів реакцій згоряння відносяться *оксиди азоту* і *сірки*. Азот присутній в повітрі і паливі, в основному, в піридині C_5H_5N і його похідних, сірка – тільки в рідкому паливі. В нафтопродуктах міститься до 5 % азотних з'єднань, що за масою чистого азоту становить 0,3...0,6 %, вміст за масою сірки до останнього часу обмежувався 0,12 % для бензинів (бензин А-72) і 0,2 % для автомобільних дизельних палив, що виготовляються з малосіркових видів нафти (0,5 % – у одержуваних з сірчистих). У зв'язку з виснаженням ресурсів нафти намітився перехід до енергоносіїв з великим вмістом сірки.

Азот дає п'ять оксидів: монооксид, або просто оксид – NO, діоксид – NO₂, його полімери – тетраоксид, триоксид, пентаоксид, що позначаються сумарно символом NO_x.

На рис. 1 наведені моделі молекул і властивості різноманітних оксидів азоту. У ВГ двигунів виявляється, головним чином, оксид, який згодом доокислюється потім до діоксиду. За механізмом утворення при горінні розрізняють оксиди трьох видів: *термічні*, тобто що виходять при високотемпературному окисленні азоту повітря;

паливні, які виникають в результаті низькотемпературного окислення азотовмісних з'єднань енергоносія; *швидкі*, що утворюються внаслідок зіткнення вуглеводневих радикалів з молекулами азоту в зоні реакцій згоряння. Основна частка припадає на термічні оксиди азоту.

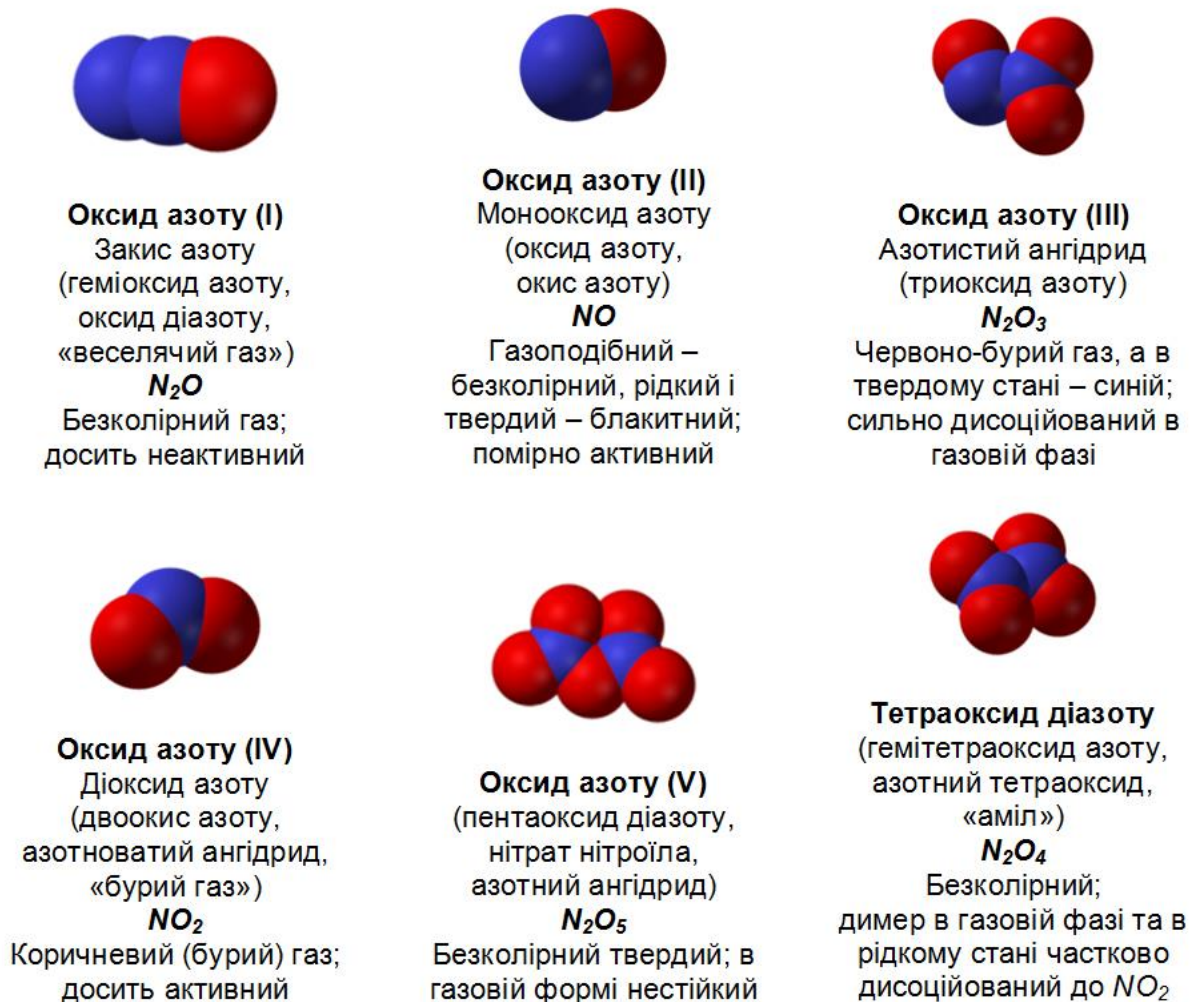
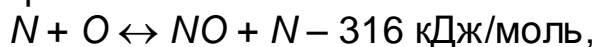


Рис. 1. Моделі молекул і властивості оксидів азоту.

Згідно загальноприйнятої теорії окислення азоту повітря, запропонованої Я. Б. Зельдовічем, П. Я. Садовніковим і Д. А. Франк-Каменецьким, швидкість реакцій не пов'язана з хімічною природою палива, визначається тільки термічним чинником, незалежно від того, яким способом здійснюється нагрів локального об'єму суміші. Окислюється азот по фронту полум'я в зоні продуктів згоряння. Реакції відбуваються по ланцюговому механізму, що включає наступні елементарні акти:



а також $OH + N \leftrightarrow NO + N$ та $NH + O_2 \leftrightarrow NO + OH$.

Концентрації оксидів в процесі згоряння не перевищують рівноважні при максимальних температурах. Швидкопротікаючі процеси нагрівання, а потім охолодження суміші газів можуть приводити до істотно нерівномірних концентрацій, що пов'язане з тим, що швидкість реакцій експоненціально збільшується залежно від температури і зменшується – від величини енергії активації. Оксид азоту, який утворився в цьому випадку може існувати невизначено довгий час; це явище носить назву гартування. При горінні бідних сумішей істотний вплив на вихід оксиду азоту з реакцій надають нерівномірність температурного поля в зоні продуктів згоряння (так званий *Махе-ефект*) і присутність пари води. Вода в ланцюговій реакції окислення азоту служить *інгібітором* (речовиною, що уповільнює швидкість перебігу реакцій, свого роду «*антикаталізатором*»).

Механізми утворення паливного і швидкого оксидів азоту тільки почали вивчатися. Можна поки тільки констатувати факт, що азот палива легше вступає в реакції окислення, ніж азот повітря.

Хімічне, пов'язане з органічними речовинами рідких нафтових палив органічне середовище (в твердих енергоносіях присутні також колчеданна і сульфатна сірка) при горінні дає оксиди сірки, що позначаються умовно символом SO_x присутні, в основному, у вигляді ді- та триоксиду. Спочатку утворюється діоксид. При високих температурах і тиску у присутності каталізаторів він легко переходить в триоксид. В ДВЗ каталізаторами є: присутній в паливі пентаоксид ванадію, оксиди заліза, що містяться в шарі нагару на днищі поршня і стінках камери згоряння. З цієї причини співвідношення вмісту у ВГ між ді- і триоксидом змінюється залежно від теплового стану двигуна, його режиму роботи. Наприклад, на середніх навантаженнях дизеля триоксиду в його сумі з діоксидом складає 30 %, збільшуючись до 70 % при переході до роботи на номінальному режимі.

Присутність перерахованих забруднюючих атмосферу речовин у ВГ двигунів і їх викиди автомобілями нормуються [3]. При цьому лімітуючим фактором є шкідлива дія індивідуального хімічної сполуки на організм людини, яка обмежується значенням середньодобової гранично допустимої його концентрації в повітрі населених пунктів (ГДК). За пропозицією академічних і відомчих інститутів Російської Федерації, рекомендується приймати наступні значення коефіцієнта агресивності: оксид вуглецю – 1; оксид азоту в перерахунку на діоксид – 41,1; оксиди сірки в перерахунку на діоксид – 16,5; вуглеводні в перерахунку на вуглець – 1,26 для районів на північ від 45° п.ш. і 2,16 для більш південних районів; сажа – 200 для районів з кількістю опадів не менше 400 мм в рік і 240 для інших.

Варто відмітити, що ці значення постійно корегуються у міру накопичення статистичних даних, розробляються значення коефіці-

ентів для інших речовин. В умовах виснаження світових ресурсів нафти та газу актуальним стає пошук альтернативних джерел енергії. Ще більш актуальним є це питання для України, яка імпортує більшу частину традиційних видів палива. Внаслідок ряду причин (сприятливі кліматичні умови, чорноземи та ін.) для нашої країни великий інтерес являють види палива рослинного походження, такі як етиловий спирт, рослинні оливи та їх ефіри. При аналізі загальної ефективності використання того чи іншого альтернативного палива в ДВЗ більшу роль відіграють питання екології.

Екологічні показники дизелів можна покращити шляхом застосування палив біологічного походження (відновлюваних енергоносіїв), наприклад ріпакової олії (РО). Це дозволить зберегти баланс вуглекислого газу в атмосфері, що знижує ймовірність виникнення парникового ефекту, оскільки при спалюванні палива з біомаси викиди діоксану вуглецю спів ставні з його кількістю, яка поглинається в процесі фотосинтезу при вирощуванні цієї сировини. Внаслідок низького вмісту в РО сірки з ВГ дизелів в атмосферу викидається незначна кількість її оксидів, які є причиною випадання кислотних дощів. Однак застосування РО у високооберткових дизелях з нерозділеною камерою згоряння та безпосереднім впорскуванням палива обмежене внаслідок збільшення на 90...140 % емісії CO , C_nH_m , NO_x і викидів твердих частинок, а також зниження ефективного ККД. Це пов'язано зі збільшенням періоду затримки запалювання РО, яка має більш низьке цетанове число в порівнянні зі стандартним дизельним паливом, та зміною умов розпилювання палива і сумішоутворення внаслідок більш високої в'язкості РО. Уникнути цих значних недоліків можна шляхом застосування системи живлення з двофазною паливоподачею. Проте така система вимагає кардинальної зміни штатної паливної апаратури.

Ефективний метод зниження токсичності ВГ, зокрема за викидами оксидів азоту та сажі – використання води при формуванні паливоповітряної суміші. Застосовувана вода може подаватись в ДВЗ (в рідкому стані) окремо від палива або разом з ним (у вигляді водопаливної емульсії), а також у вигляді водоповітряної аерозолі чи пари. При подачі води безпосередньо в циліндри ДВЗ емульсія утворюється на виході лінії високого тиску. При наявності у водопаливній емульсії від 20 до 30 % води (в залежності від режимів роботи) у дизелів можливо зменшити димність і на 20 % – викиди оксидів азоту. В інших випадках застосовують спеціально приготовану поза межами циліндрів ДВЗ водопаливну емульсію. Її стійке згоряння забезпечується при граничному вмісті у ній води до 65...67 %, а зниження концентрації частинок сажі – при 25...30 %. В цьому випадку до якості підготовки такої емульсії висуваються жорсткі вимоги, для вико-

нання яких необхідне спеціальне гідравлічне обладнання. Зокрема, впорскують в ємність з паливом воду під тиском 10...12 МПа. При цьому отриману водоналивну емульсію необхідно періодично інтенсивно перемішувати за допомогою відповідних пристроїв, оскільки емульсія характеризується низькою кінетичною стійкістю і у стані кінетичного спокою через деякий час розшаровується на вихідні компоненти. Крім того, необхідно забезпечити оптимальний розмір частинок води 1...5 мкм; при їх розмірі більше 10 мкм виникає корозія і підвищується інтенсивність зношування паливної апаратури. Таким чином, з точки зору застосування на автомобілях та самохідних лісо- і сільськогосподарських машинах, система зволоження повітря виходить відносно громіздкою та енергоємною.

Висновок. Всі провідні двигунобудівні компанії і виробники тракторів, автомобілів та інших мобільних машин поступово модернізують свою продукцію з метою дотримання вимог екологічних стандартів Euro, EPA emission standards, Stage та Tier. Основні сучасні технології, системи і агрегати для зниження викидів шкідливих речовин з ВГ ДВЗ наступні: EGR (Exhaust Gas Recirculation) – рециркуляція (перепуск) ВГ; SCR (Selective Catalyst Reduction) – селективна (вибіркова) каталітична нейтралізація ВГ (відновлення із застосуванням реагенту – сечовини); DOC (Diesel Oxidation Catalyst) – каталітичний окислювальний нейтралізатор; DPF (Diesel Particulate Filter) – сажевий фільтр (сажовловлювач); VGT (Variable Geometry Turbine) – турбокомпресор зі змінною геометрією; HPCR (High-Pressure Common Rail) – акумуляторна система паливоподачі з підвищеним тиском впорскування палива (від 120 (перше покоління) до 220 (четверте покоління) МПа); ULSD (Ultra-Low Sulfur Diesel) – дизельне паливо з наднизьким вмістом сірки; застосування проміжного охолодження повітря за рахунок інтеркулера (радіатора типу «повітря-повітря»); вдосконалення процесу згоряння за рахунок розроблення ефективніших камер згоряння; деактивація циліндрів на режимах часткових навантажень і холостому ході; використання спеціальної моторної оливи; нові ущільнення клапанів та ін.

Список літератури

1. *Парсаданов И. В.* Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / *И. В. Парсаданов.* – Х.: Изд. центр НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
2. *Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ /* За ред. проф. *А. П. Марченка* та проф. *А. Ф. Шеховцова.* – Х.: Прапор, 2004. – 360 с.
3. *Бешун О. А.* Сучасні та перспективні екологічні стандарти для дизелів лісо- і сільськогосподарських мобільних машин та технології, які дозволяють їх виконати // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету.

Рассмотрены основные вредные компоненты отработавших газов двигателей современных сельско- и лесохозяйственных машин, проанализированы механизмы, причины и условия их образования, а также пути минимизации вредных выбросов и дымности.

Экология, двигатель, дизель, токсичность, дымность, отработавшие газы, выбросы, норма, стандарт, Stage, Euro, Tier.

The paper is devoted to the basic harmful components of modern agricultural and forest mobile machines engine emissions, analysed mechanisms, reasons and conditions of their formation and also way of minimization of the pollutants and exhaust smoke opacity.

Ecology, engine, diesel, emissions toxicity, exhaust smoke opacity, pollutants, norm, standard, Stage, Euro, Tier.