

5. Кондрашкин С.И., Константинов С.П., Семенов В.И. Принципы построения математических моделей динамики движения автомобиля // Автомобильная промышленность. 1979. №7 с. 24-27
6. Яуфман А.Ф. Снижение уровня крутильных колебаний в трансмиссии легкового автомобиля. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.05.03. – М.: МАДИ, 1983. – 20 с.
7. Шупляков В.С. Колебания и нагруженность трансмиссии автомобиля. – М.: Транспорт, 1974. – 328 с.
8. Автомобили КамАЗ. Практическое руководство / Под ред. Е.А. Машкова. – М.: Машиностроение, 1986. – 384 с.
9. Стефанович Ю.Г., Москалев В.Н., Лунев И.С. Определение крутильных колебаний в трансмиссии автомобиля ГАЗ-51 // Автомобильная промышленность. 1960. №10 с.10-12
10. Яценко Н.Н. Колебания, прочность и форсирование испытания грузовых автомобилей. М.: Машиностроение, 1972. – 368 с.
11. Яценко Н.Н., Шупляков В.С. Нагруженность трансмиссии автомобиля и ровность дороги. М.: Транспорт, 1967. – 164 с.
12. Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике. Издание третье. – М.: Наука, 1969. – 640 с.

**УДК 621.436:504**

*Каграманян А.О., к.т.н., доцент (УкрДАЗТ)  
Рукавішников П.В., інженер (УкрДАЗТ)*

### **ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИЗЕЛІВ ТЕПЛОВОЗІВ НА ВИКИДИ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН**

**Вступ.** Залізничний транспорт України є однією з ключових галузей її економіки. На його долю приходить 82,7 % вантажообороту та 42,5 % пасажирообороту. Значну частину перевізного процесу на залізничному транспорті України виконує його тепловозний парк. Тепловозною тягою виконується перевезення вантажів та пасажирів, маневрова та вивізна роботи на станціях та під'їзних коліях промислового транспорту. Щорічно тепловозний рухомий склад використовує до 330 тис.т дизельного палива і як наслідок викидає в атмосферу 24,75 тис.т оксидів азоту (NO<sub>x</sub>), 16,5 тис.т оксиду вуглецю (CO) та 6,27 тис.т вуглеводнів (C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>).

Тому задача поліпшення екологічних показників тепловозних дизелів, які знаходяться в експлуатації на підприємствах залізничного транспорту для України є актуальною.

**Постановка проблеми.** У цей час екологічні показники силових установок тепловозів вважаються однією з найважливіших характеристик їх технічного стану. Після вступу України до світової організації торгівлі, вимоги до екологічних показників тепловозів, які знаходяться в експлуатації на підприємствах Укрзалізниці, стали більш жорстокими.

З метою оцінки рівня викидів забруднюючих речовин (ЗР) та залежність їх від різних факторів необхідно систематизувати дані по викидам ЗР локомотивними енергетичними установками в умовах експлуатації та розглянути вплив різних факторів на утворення ЗР у циліндрах тепловозних дизелів.

**Основний матеріал дослідження.** З 1994 року згідно [1], який поширюється на тепловозні дизелі, які знаходяться в експлуатації, в Україні встановлені питомі норми викидів ЗР в атмосферу з відпрацьованими газами (ВГ), а саме оксидів азоту, оксиду вуглецю і вуглеводнів.

Згідно галузевого стандарту [1] величини середньоексплуатаційних питомих викидів ЗР з ВГ тепловозних дизелів не повинні перевищувати значень, вказаних у таблиці 1.

Таблиця 1 – Норми викидів забруднюючих речовин

Назва забруднюючої речовини	Норми викидів, г/кВт·год	
	дизель у експлуатації до 2-х років	дизель у експлуатації більш 2-х років
Оксиди азоту	18	18
Оксид вуглецю	10	12
Вуглеводні	4	4,5

Контроль за цими показниками проводиться у локомотивних депо на пункті реостатних випробувань, після проведення ПР-2, ПР-3 та у випадку необхідності після ПР-1 (заміна паливного насоса високого тиску, турбокомпресора), а також на тепловозоремонтних заводах, після КР-1, КР-2 [2].

На цей час на підприємствах локомотивного господарства Укрзалізниці екологічні пункти контролю викидів ЗР від тепловозних дизелів діють у локомотивних депо станції Волноваха та станції

Слов'янськ Донецької залізниці, станції Христинівка Одеської залізниці, станції Дніпропетровськ Придніпровської залізниці та станції Дарниця Південно-Західної залізниці.

Як відомо, токсичність викидів ЗР від тепловозних дизелів обумовлена перш за все якістю палива та процесом згоряння [3, 4].

На процеси сумішоутворення й згоряння паливоповітряної суміші в тепловозних дизелях, а отже, на утворення і викиди шкідливих речовин впливають конструктивна досконалість дизеля, досконалість ремонтних впливів, експлуатаційні фактори, зовнішні й внутрішні параметри дизеля.

До експлуатаційних факторів звичайно відносять режими роботи дизеля, склад і якість застосовуваного палива, якість застосовуваного масла і його витрата на угар, технічний стан дизеля й параметри навколишнього середовища. До зовнішніх параметрів дизеля, які регулюються, відносять частоту обертання колінчатого вала, температуру й тиск наддувочного повітря, кут випередження подачі палива, інтенсивність рециркуляції ВГ. До внутрішніх відносяться параметри, що не піддаються безпосередньому регулюванню, наприклад: якість розпилювання палива; нерівномірність розподілу палива за обсягом камери згоряння; розміри локальних зон, у яких відбувається samozапалювання палива; частка палива, що попадає на стінку камери згоряння; утворення угару й інші [5].

Суттєвий вплив на токсичність ВГ, виявляє швидкісний режим роботи дизеля, який характеризується частотою обертання колінчатого вала дизеля, причому його вплив є досить складним. Це обумовлене впливом різних факторів, що підсилюють або зменшують утворення токсичних компонентів у тому або іншому діапазоні частот обертання. Так, зі збільшенням частоти обертання зменшується час, що приділяється на процес згоряння. У результаті тепловіддача в стінки камери згоряння зменшується, що приводить до збільшення максимальних температур циклу й, як наслідок, до збільшення емісії оксидів азоту  $\text{NO}_x$ . З іншого боку, при збільшенні частоти обертання зростають турбулізація повітряного заряду й тиск упорскування палива, що призводить до поліпшення умов сумішоутворення - паливо більш рівномірно розподіляється по об'єму камери згоряння, зменшуються локальні зони з низькими коефіцієнтами надлишку повітря й високими температурами згоряння, у яких відбувається інтенсивне утворення оксидів азоту  $\text{NO}_x$ .

Аналіз випробувань дизелів тепловозів на пунктах екологічного контролю Слов'янськ, Дарниця, Христинівка показав, що зміна частоти обертання колінчатого вала дизеля впливає на зміст оксидів азоту  $\text{NO}_x$ . у

ВГ, і меншою мірою - на концентрацію оксиду вуглецю CO і сажі. У той же час при збільшенні частоти обертання колінчатого вала дизеля спостерігається значний ріст змісту в ВГ, дизелів бенз(а)пирена, через погіршення умов догорання проміжних продуктів реакції окислення вуглеводного палива. Залежність основних ЗР від числа оборотів колінчатого вала за тепловозною характеристикою для дизелів 2В-5Д49 та К6S310DR приведена на рисунках 1, 2.

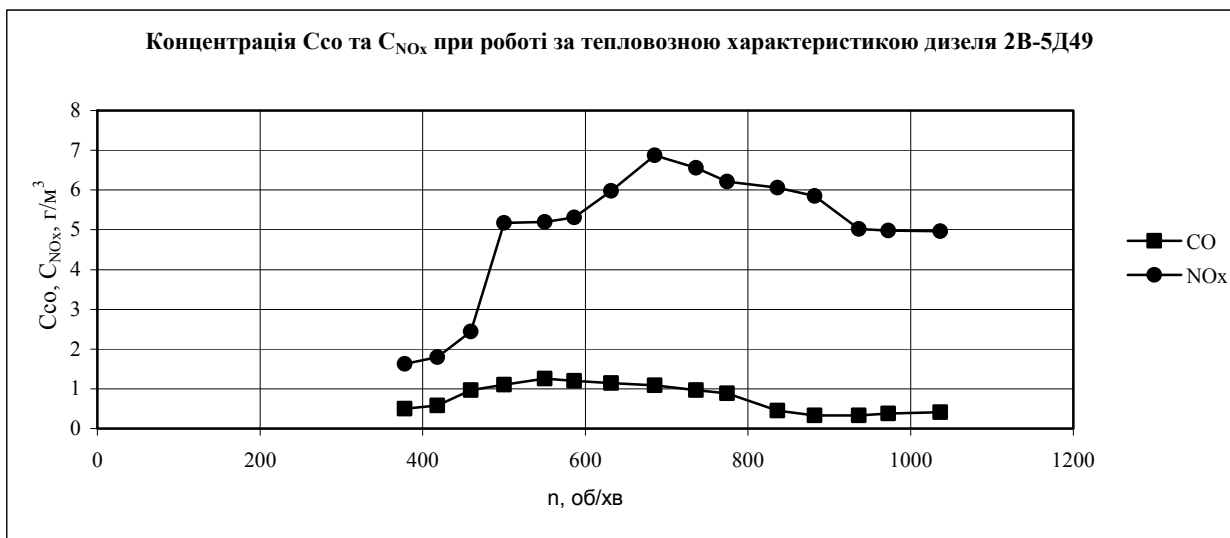


Рисунок 1 – Концентрація  $C_{CO}$  та  $C_{NOx}$  при роботі за тепловозною характеристикою дизеля 2В-5Д49

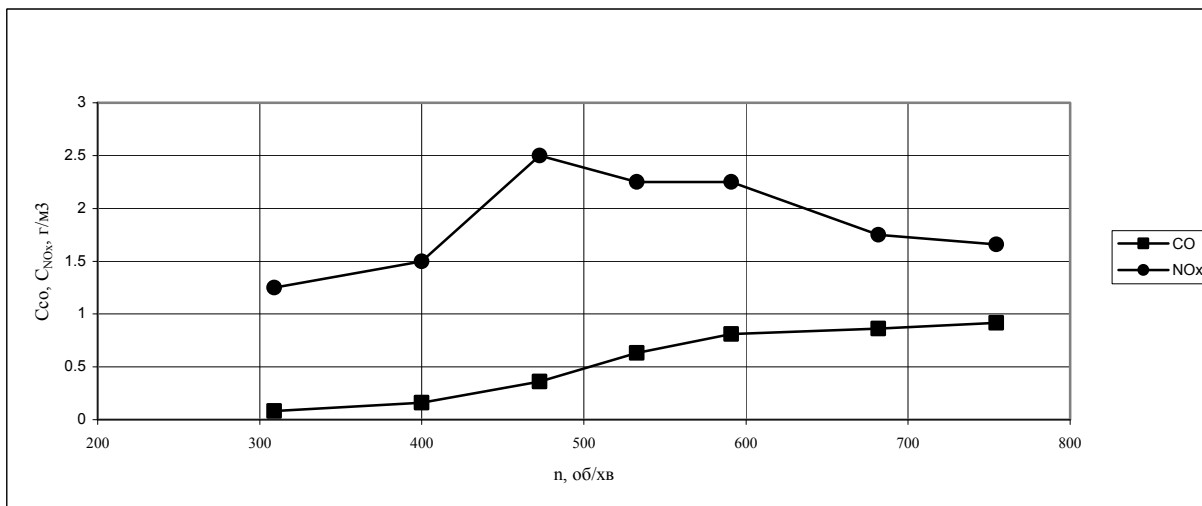


Рисунок 2 - Концентрація  $C_{CO}$  та  $C_{NOx}$  при роботі за тепловозною характеристикою дизеля К6S310DR

Значний вплив на токсичність ВГ, оказує навантаження на дизель. У міру збільшення навантаження збільшується кількість подаваного в циліндри дизеля палива, тобто зменшується коефіцієнт надлишку повітря й підвищується температура згоряння. У результаті збільшується димність ВГ, і емісія оксидів азоту й вуглецю.

За результатами досліджень на рисунках 3-6 наведені гістограми завантаження силових установок дизелів де надані відносні витрати палива ( $G_e$ , %) та час роботи ( $\tau$ , %) в експлуатації по позиціях контролера машиніста.

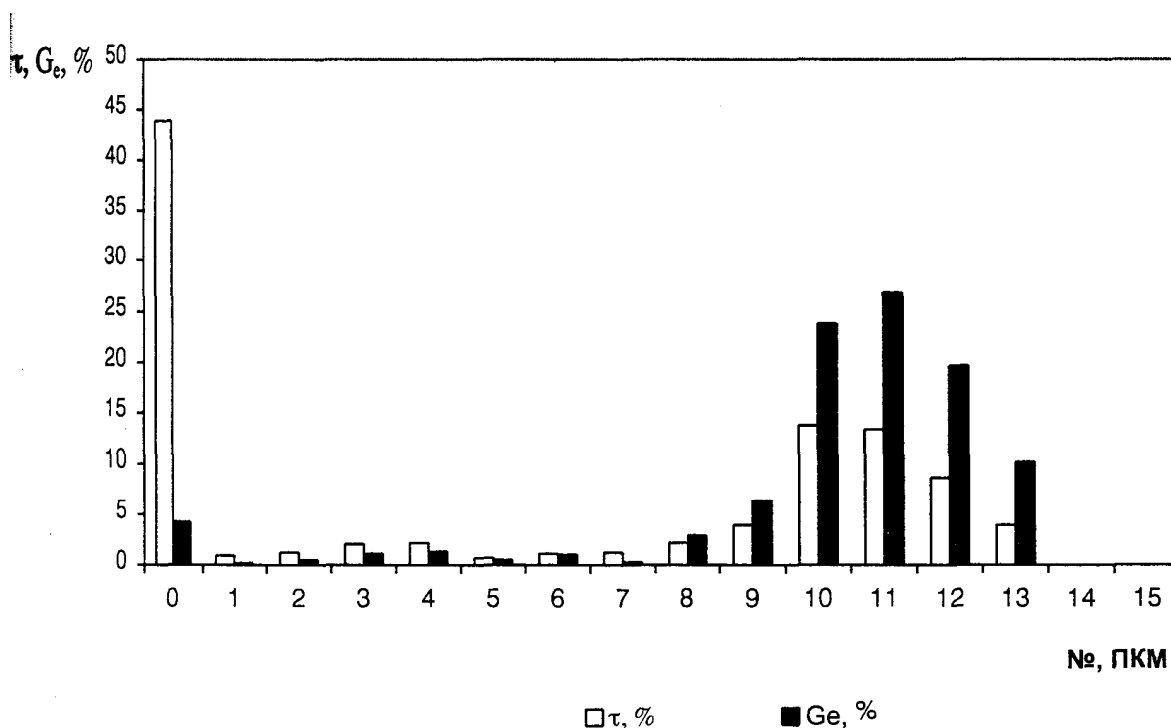


Рисунок 3 - Розподіл відносного часу роботи й витрати дизельного палива по позиціях контролера машиніста тепловоза 2ТЕ116 у вантажному русі (вага 5400 т.)

Розглянуті залежності токсичності ВГ, від швидкісного й навантажувального режимів роботи дизеля відповідають режимам роботи, що встановилися. У реальних умовах експлуатації тепловозні дизелі до 20 % часу працюють на несталих режимах. У зв'язку із цим доцільно розглянути особливості утворення токсичних компонентів на цих режимах.

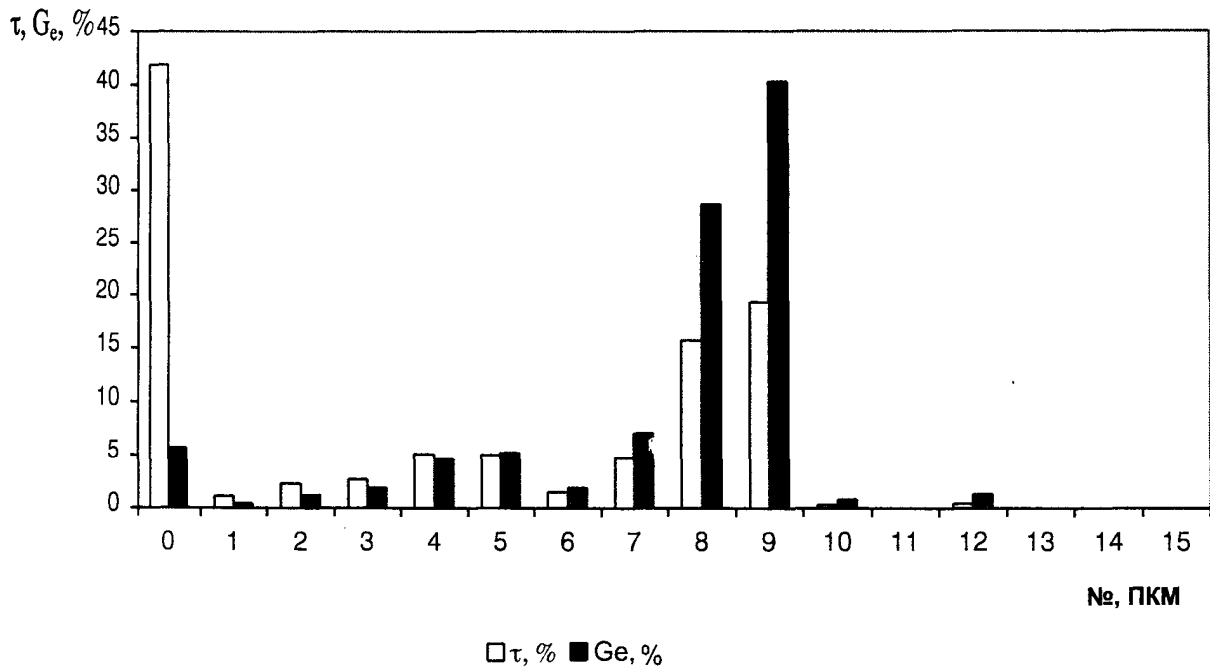


Рисунок 4 - Розподіл відносного часу роботи й витрати дизельного палива по позиціях контролера машиніста тепловоза 2ТЕ116 у вантажному русі (вага 1730 т)

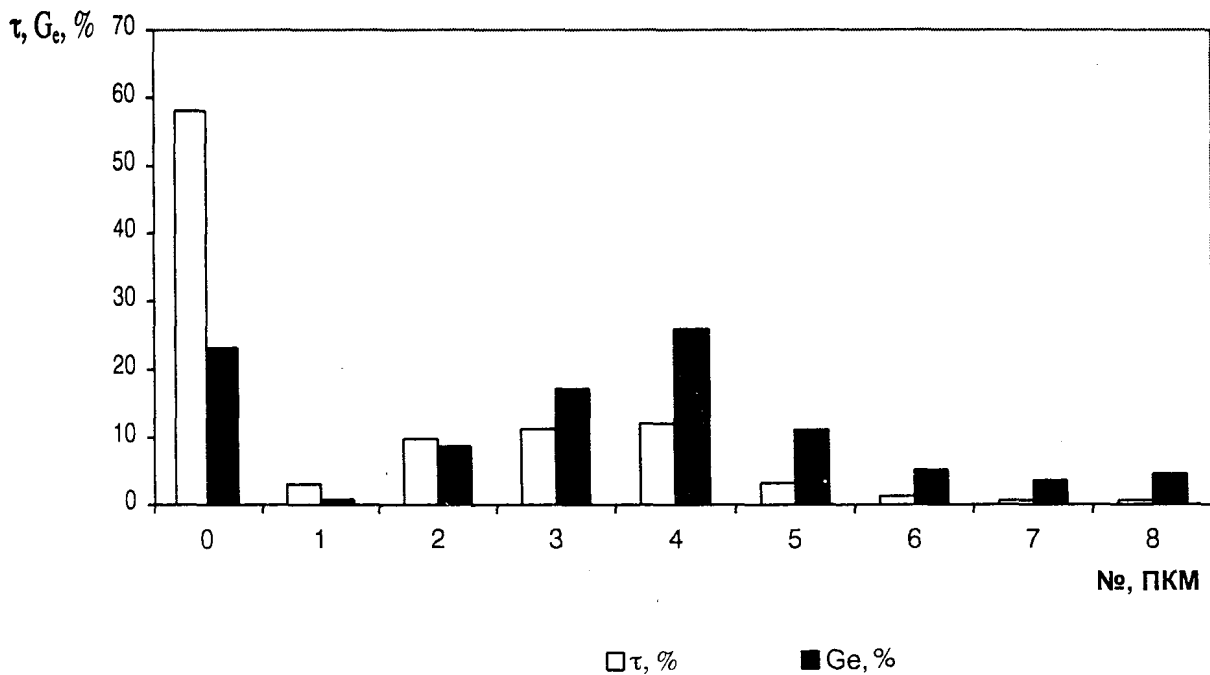


Рисунок 5 - Розподіл відносного часу роботи й витрати дизельного палива по позиціях контролера машиніста тепловоза ЧМЕЗ у вантажному русі (вивізний режим роботи)

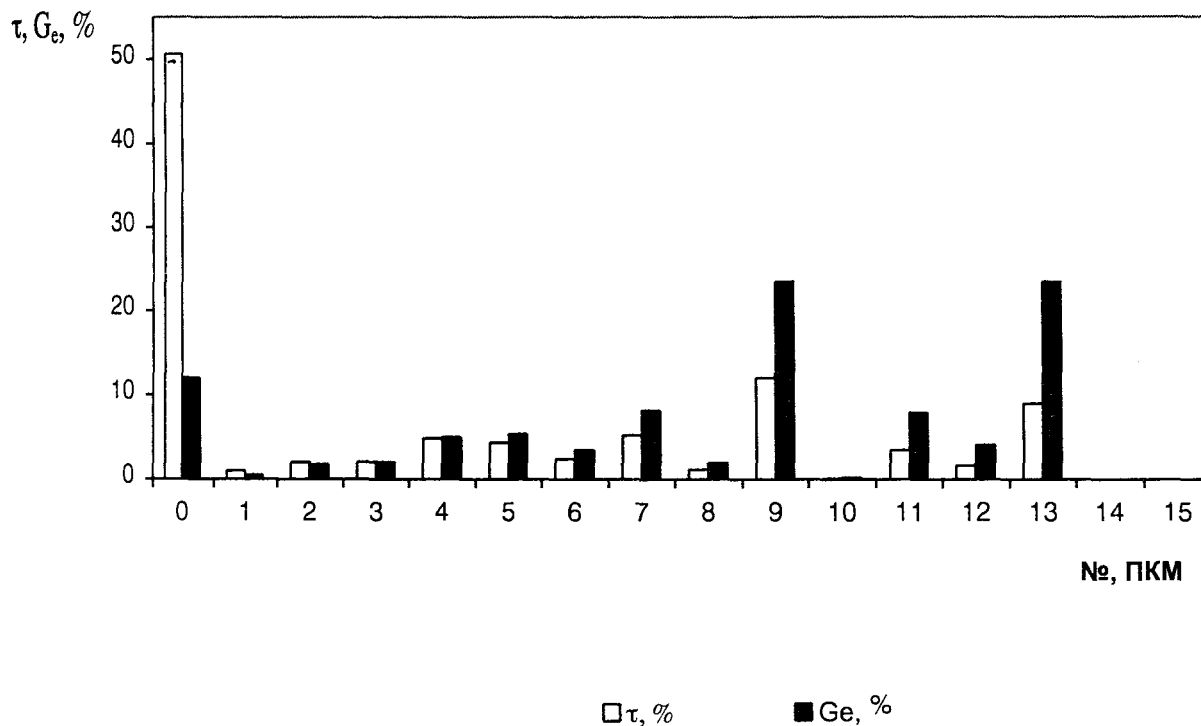


Рисунок 6 - Розподіл відносного часу роботи й витрати дизельного палива по позиціях контролера машиніста тепловоза М62 (вага 655 т.)

Найбільша різниця концентрацій оксидів азоту  $NO_x$  на несталих режимах і режимах роботи, що встановилися, спостерігається при розгоні дизеля з режиму мінімальної частоти обертання до номінального режиму. Емісія оксидів азоту  $NO_x$  виявляється нижче на несталих режимах, що обумовлене більш низькими температурами стінок камери згоряння при розгоні дизеля. Викиди вуглеводнів  $C_mH_n$ , навпаки, вище на несталих режимах, що обумовлене наявністю в камері згоряння холодних пристінних шарів, у яких відбувається інтенсивне утворення незгорілих вуглеводнів  $C_mH_n$ .

Різниця між концентраціями оксиду вуглецю  $CO$  на несталих режимах і режимах, що встановилися, менше, чим для концентрації вуглеводнів  $C_mH_n$ .

Так само як і у випадку з концентраціями оксиду вуглецю  $CO$ , найбільша димність ВГ, спостерігається на несталих режимах зі зниженою частотою обертання, що викликане інерційністю системи турбонадува.

На несталих режимах роботи спостерігається підвищений (в 2-3 рази) зміст у ВГ, продуктів неповного згоряння палива ( $C$ ,  $CO$ ,  $C_mH_n$ ).

Концентрація оксидів азоту  $\text{NO}_x$  виявляється на 10-15 % нижче (у порівнянні з подібними режимами, що встановилися)[6].

Значний вплив на викиди ЗР має процес наддування. Внаслідок цього відбувається підвищення максимальної температури процесу приблизно на 100 °С, до  $P_e = 0,5$  МПа коефіцієнт надлишку повітря трохи знижується, а при  $P_e > 0,5$  МПа - зростає. Зміст окислів азоту у всьому діапазоні навантажень збільшується, а продуктів неповного згоряння тільки на режимах малих навантажень. Частота обертання двигуна впливає на утворення окису вуглецю, тому що з її зменшенням знижується інтенсивність сумішоутворення. Те ж відбувається й з викидами сажі й вуглеводнів. Питома токсичність, зростає в 2 - 3 рази за рахунок росту концентрацій  $\text{NO}_x$  [7].

З точки зору впливу способу сумішоутворення, у двигунах, що працюють по М - процесу, при малих  $P_e$  сажа практично відсутня через рівний розподіл палива в камері згоряння. Зі збільшенням  $P_e$  ця рівномірність зменшується, більші краплі прохолоджують полум'я, знижується швидкість вигорання вуглецю. Димність зростає, але однаково нижче, ніж у ДВЗ із об'ємним сумішоутворенням. При плівковому сумішоутворенні знижується зміст СО, особливо при більших  $P_e$  – через відсутність крапель палива, зменшенні кількості палива, яке бере участь у запаленні заряду. При малих  $P_e$  кількість СО зростає інтенсивніше, ніж ДВЗ із об'ємним сумішоутворенням, через погіршення умов догорання СО. Внаслідок кращого доступу кисню до молекул, що окисляються, зміст вуглеводнів в ВГ знижується в 2-3 рази. Канцерогенні речовини у вихлопі не обмежуються. При зростанні частоти обертання викид сажі збільшується.

На спосіб заповнення циліндрів робочою сумішшю оказує вплив тактності. Процес згоряння у двотактних в порівнянні із чотиритактними двигунами характеризується більшим коефіцієнтом залишкових газів у камерах згоряння, особливо на більших навантаженнях, підвищеною температурою згоряння, меншим часом протікання процесу. При більших  $P_e$  концентрації СО, СН вище у двотактних дизелів. Зміст  $\text{NO}_x$  на всіх режимах нижче, не перевищує 2,6 г/м<sup>3</sup>. Це пояснюється тим, що визначальним фактором на вихід  $\text{NO}_x$  є не максимальна температура циклу, а локальні концентрації кисню, які менше через гірше очищення циліндра.

Наряду з тактністю двигуна важливий вплив на викиди ЗР оказує форма камери згоряння. Методом зниження токсичності є поділ камери згоряння, тому що обмежуються початкові швидкості тепловиділення,



знижуються максимальні температура й тиск циклу. У порівнянні з нерозділеною камерою у ДВЗ із розділеною розміри основної камери у вихорокамерному двигуні на 30-35 % менше, у передкамерного на 25-30 % менше, у форкамері у вихорового на 15-18 % і в передкамерного на 20 %. Таким чином для меншого викиду  $\text{NO}_x$  при найменшій температурі циклу переважніше ДВЗ із розділеними камерами, зокрема вихорокамерні.

В форкамері  $\alpha < 1$  і утворення  $\text{NO}_x$  гальмується недоліком кисню. В основній камері кисню досить, але процес іде при постійно зростаючому обсязі й характеризується зниженням температури. Гарне сумішоутворення, повнота згоряння палива спричиняються малі викиди  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{C}$ .

Аналіз впливу ступеня стиску показав, що надмірне збільшення ступеня стиску приводить до небажаного збільшення тиску наприкінці стиску, до більших навантажень на кривошипно-шатунний механізм і в підсумку до обваження двигуна й до зниження ефективного ККД. Для 4-х тактного вихорового дизеля концентрація  $\text{NO}_x$  при збільшенні ступеня стиску в 1,5 рази збільшується в 3,5 рази на холостому ходу, в 1,4 при 50 %  $P_e$  й в 1,5 рази на номінальному режимі. Велике збільшення  $\text{NO}_x$  на холостому ходу пояснюється більшою кількістю палива, що згоряє у вихровій камері й підвищенню температури циклу. Окис вуглецю при цьому знижується в 2 - 2,5 разів.

Один з головних впливів на викиди токсичних компонентів виявляють моторні якості палива - цетанове число і випаровуваність (фракційний склад), зміст у паливі ароматичних вуглеводнів (зокрема, ПАУ) і сірки, елементний склад палива (співвідношення змісту  $\text{H/C}$  и  $\text{O/C}$ ), наявність присадок у паливі [8].

Вплив цетанового числа палива обумовлена тим, що воно визначає тривалість періоду затримки запалення, увесь характер протікання процесу згоряння й впливає на емісію всіх нормативних токсичних компонентів ВГ.

Зі зменшенням цетанового числа зростає період затримки самозапалювання й кількість палива, підготовленого до одночасного самозапалювання. З'являються локальні зони з багатою паливоповітряною сумішшю з малими значеннями коефіцієнта надлишку повітря. Високі температури в зонах камери згоряння з низьким коефіцієнтом надлишку повітря при роботі на паливах зі зниженим цетановим числом визначають підвищену емісію оксидів азоту  $\text{NO}_x$ .

Зниження змісту сірки в паливі від 0,3 до 0,2 % супроводжується зменшенням емісії часток сажі приблизно на 10 %. Паливо з високим

цетановим числом і нульовим змістом сірки й ароматичних вуглеводнів дозволяє знизити емісію часток на 50 % у порівнянні з еталонним.

Обмеження викидів забруднюючих речовин здійснюється, як правило, оптимізацією зовнішніх параметрів керування сумішоутворенням. На рівень викидів ЗР впливає точність регулювання, яка при механічних системах паливоподачі має розкид до 30 %.

Рециркуляція ВГ у якості ефективного заходу для зниження викидів оксидів азоту  $\text{NO}_x$  також вимагає, по можливості, точності регулювання й зниження допусків для обмеження емісії вуглеводнів  $\text{C}_m\text{H}_n$  і часток сажі. Таким чином, оптимізацією параметрів регулювання можна суттєво обмежити викиди ЗР.

**Висновки.** В статті розглянуті основні фактори, які впливають на кількісний і якісний склад викидів ЗР від тепловозних дизелів.

Основними шляхами зменшення забруднення атмосферного повітря від впливу розглянутих факторів є:

- оптимізація робочого процесу;
- конструктивне вдосконалення ДВЗ;
- поліпшення якості палива та запровадження альтернативних палив;
- рециркуляція та нейтралізація ЗР;
- вдосконалення регулювання систем двигуна.

### Список літератури

1. ГСТУ 32.001 – 94 „Викиди забруднюючих речовин з відпрацьованими газами тепловозних дизелів. Норми та методи визначення”. Введений в дію Наказом Міністерства транспорту України від 06.10.1994р № 524.
2. ВНД 32.0.06.001 – 99 „Пункти екологічного контролю викидів забруднюючих речовин від тепловозних дизелів. Загальні технічні вимоги”. Введений в дію Наказом Міністерства транспорту України від 22.07.1999р № 381.
3. Смайлис В.И. Малотоксичные дизели. Л., Машиностроение. 1972г. 128с.
4. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания./М.: Машиностроение. – 1981. – 160с.
5. Носырев Д.Я., Скачкова Е.А., Росляков А.Д. Выбросы вредных веществ локомотивными энергетическими установками: монография. – М.: Маршрут, 2006. - 248с.
6. Звіт про НДР „Розробка теоретичних основ комплексної оцінки еколого-економічних показників тепловозних дизелів” УкрДАЗТ, 2005р.
7. Симсон А.Э., Хомич А.З., Жалкин С.Г. и др. Тепловозные двигатели внутреннего сгорания. – М.: Транспорт, 1987. – 535с.

8. Парсаданов І.В. Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: Монографія. – Харків: Видавничий центр НТУ „ХПІ”, 2003.-244 с.

УДК 504.06:629.424.1

*Паламарчук Н.В., д.т.н., професор (ДонИЖТ)*

*Черняк Ю.В., к.т.н., доцент (ДонИЖТ)*

*Гущин А.М., к.т.н., с.н.с., доцент (ДонИЖТ)*

*Бондарь Е.А., зав. лабораторией (ДонИЖТ)*

## **ПУТИ СНИЖЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЙ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ НА ПУНКТАХ РЕОСТАТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОВОЗОВ**

**Постановка вопроса.** Работающие тепловозы являются одним из крупных источников выброса в атмосферу вредных веществ в виде окиси углерода, сажи, окислов азота, углеводородов и других веществ. Концентрации этих вредных веществ в отработавших газах в тысячи раз выше допустимых. Эти выбросы загрязняют окружающую атмосферу в больших объемах и на больших площадях. Исследованиями установлено [1], что за счет этих выбросов концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы в районе пункта реостатных испытаний превышают допустимые пределы в десятки раз.

**Целью исследования** являлось показать, что в настоящее время из всех известных способов снижения концентрации вредных веществ в приземном слое атмосферы приемлемым по технологическим и экономическим параметрам является рассеивание отработавших газов в большом объеме атмосферного воздуха.

**Основная часть.** Возможны три пути снижения степени загрязнения атмосферного воздуха отработавшими газами тепловозов:

- уменьшение концентрации вредных веществ в процессе сгорания топлива в цилиндре двигателя;
- обезвреживание вредных веществ в отработавших газах;
- рассеивание газов в атмосферном воздухе.