

УДК 621.43.068.4

С. О. ВАМБОЛЬ, д-р техн. наук, доц., зав. кафедри прикладної механіки НУЦЗУ, Харків

О. П. СТРОКОВ, д-р техн. наук, проф., зав. відділу поршневих енергоустановок ІПМаш НАН України, Харків;

О. М. КОНДРАТЕНКО, пров. інж. відділу поршневих енергоустановок ІПМаш НАН України, Харків;

СТЕНДОВІ ВИПРОБУВАННЯ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ 2Ч10,5/12 ЗА СТАНДАРТИЗОВАНИМИ ЦИКЛАМИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ФТЧ

Проведено стендові випробування автотракторного дизеля 2Ч10,5/12, випускна система якого оснащена фільтром твердих частинок, розробленим у відділі ПЕУ ІПМаш НАНУ. Отримано характеристики токсичності відпрацьованих газів цього дизеля шляхом прямих вимірювань та із застосуванням відомої формули перерахунку. При аналізі результатів випробувань до них застосовано стандартизований підхід, що міститься у нормах токсичності автотранспортних засобів Європейської Співки, які чинні і на території України та Російської Федерації.

Ключові слова: екологічна безпека, полютанти, фільтр твердих частинок, енергетичні установки, двигуни внутрішнього згоряння, норми токсичності.

Вступ. Екологічні показники поршневих ДВЗ взагалі, і дизелів зокрема, чинять значний вплив на показники екологічної безпеки життєдіяльності людини у світу і нашій країні. Це підтверджується тим, що у переліку основних задач, які комплексно вирішують спеціалісти у двигунобудівній галузі – поліпшення паливної економічності, екологічності, технологічності та надійності ДВЗ, а також специфічні (форсування і дефорсування, конверсія, багатопаливність, застосування альтернативних видів палива та ін.) – лише показники екологічності законодавчо закріплено, а рівень інших показників ДВЗ формується лише конкурентною боротьбою їх виробників.

Аналіз літератури. У країнах Європейської Співки для дизелів наразі діють нор-ми Правил ЄЕК ООН № 49 (для легкових автотранспортних засобів (АТЗ)) і № 96 (для тракторів і спеціальної техніки) [1, 2] рівня EURO V. На території України діють такі самі норми рівня EURO III. У цих документах містяться не лише граничні значення середньоексплуатаційних викидів нормованих шкідливих речовин з відпрацьованими газами (ВГ) дизелів, але і методики проведення стендових випробувань й аналізу отриманих результатів, а також перелік режимів, на яких ці випробування мають проводи-тись (13 – для Правил № 49 і 8 – для Правил № 96), що разом утворюють випробуваль-ний цикл, який є моделлю експлуатації даного типу АТЗ. Такі цикли є стаціонарними, тобто вони не враховують роботу дизеля на перехідних режимах.

Мета дослідження. Метою дослідження є адаптація методики та експериментальне отримання показників токсичності, димності та масового викиду твердих частинок (ТЧ) автотракторного дизеля, а також показників роботи розробленого ФТЧ за стандартизованими циклами діючих норм токсичності ВГ. Задачі дослідження відповідають окремим пунктам мети.

Матеріал дослідження. У відділі поршневих енергоустановок (ПЕУ) Інституту проблем машинобудування ім. А.М.Підгорного НАН України (ІПМаш НАНУ) розроблено фільтруючий елемент (ФЕ) фільтра твердих частинок (ФТЧ) дизеля

модульної конструкції [3]. Лабораторія відділу містить моторний випробувальний стенд (МВС) [4] зі встановленим на нього автотракторним двоциліндровим чотиритактним двоклапанним дизелем повітряного охолодження 2Ч10,5/12 (Д21А1) з нерозділеною камерою згоряння у поршні та одноплунжерним ПНВТ розподільного типу та всережимним механічним регулятором, з робочим об'ємом 2,0 дм³ та номінальною потужністю 21,3 кВт, виробництва Володимирського тракторного заводу [5]. Випускную систему стенду обладнано конструктивними елементами для установки різних зразків ФТЧ (макетоутримуюча вставка (МВ)) та системою відбору проб ВГ на токсичність. При випробуваннях проводяться прямі та непрямі вимірювання режимних параметрів дизеля (частота обертання колінчастого валу (к.в.) $n_{кв}$, крутного моменту $M_{кр}$, масових витрат повітря $G_{нов}$, палива $G_{нал}$ і ВГ $G_{ВГ}$, температури моторного мастила t_m і ВГ на виході з випускного колектора), параметрів навколишнього середовища (температура t_0 і барометричний тиск B_0), термодинамічних параметрів ВГ (температура на вході та виході з МВ $t_{ФТЧ_{вх}}$ і $t_{ФТЧ_{вих}}$ та перепади статичного тиску на МВ і всій випускній системі стенду $\Delta P_{МВ}$ і $\Delta P_{вин}$) а також об'ємні концентрації нормованих шкідливих речовин у ВГ (монооксиду вуглецю C_{CO} , %, незгорілих вуглеводнів палива і мастила C_{CHx} , млн⁻¹, оксидів азоту C_{NOx} , млн⁻¹ – газоаналізатор п'ятикомпонентний АВТОТЕСТ02.03.П) і димності ВГ (коефіцієнт ослаблення світлового потоку N_D , % чи коефіцієнт поглинання світлового потоку K_D , м⁻¹ – димомір ІНФРАКАРД).

МВ з діючим макетним зразком розробленого ФТЧ розміщувалась на раціональній відстані від випускного колектора за довжиною випускного тракту МВС – 5 м, що досягнуто за допомогою подовження тракту набором гнучких жаростійких газопроводів. МВ розміщувалось у вертикальному положенні задля досягнення ущільнення насипки з природного цеоліту у сітчастих касетах фільтруючого елемента розробленого ФТЧ [3, 4]. Випускна система МВС містить систему відбору проб ВГ на токсичність і димність, схему якої наведено на рис. 1, а опис – у [3, 4].

Згаданими стандартами нормується середньоексплуатаційний масовий викид ТЧ з ВГ дизелів, що має визначатися за формулою (1) [1, 2], кг/(кВт·год):

$$\bar{g}_{ТЧ} = \bar{G}_{ТЧ} / \bar{N}_e, \quad (1)$$

де $\bar{G}_{ТЧ}$ – середній за цикл випробування масовий викид ТЧ, кг/год;

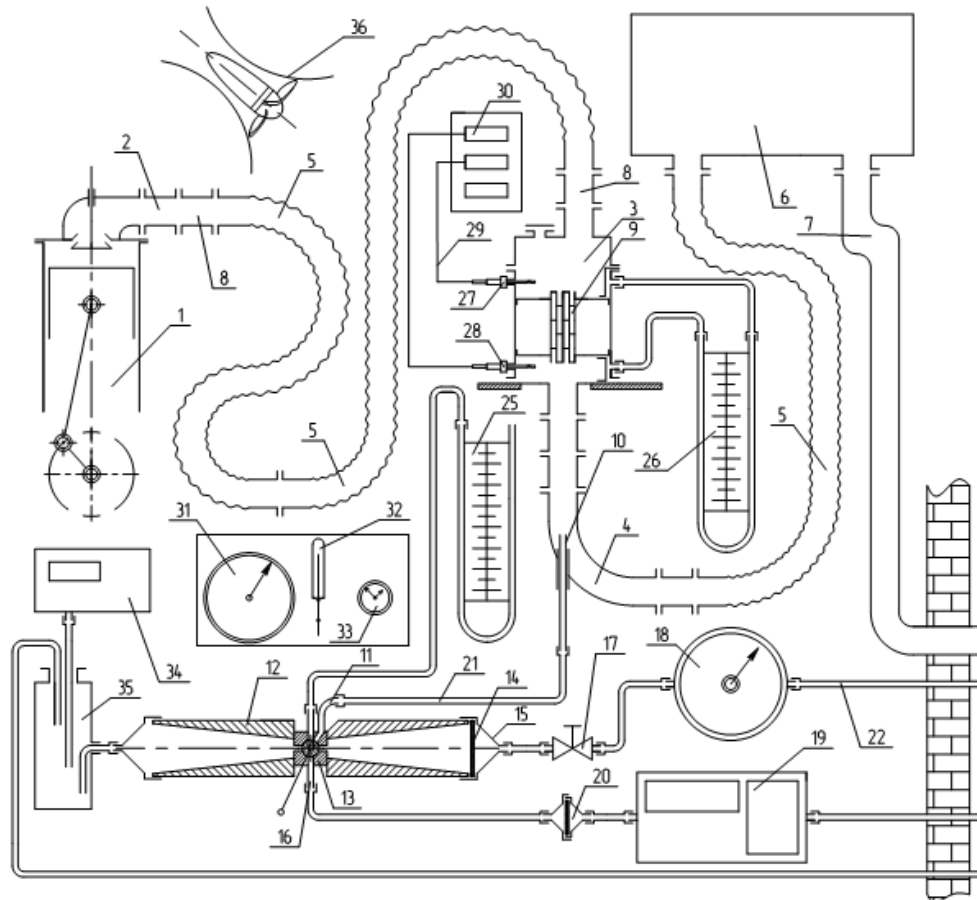
$\bar{N}_e$ – середня за цикл випробування ефективна потужність дизеля, кВт.

Величини $\bar{G}_{ТЧ}$ і $\bar{N}_e$ визначаються за наступними формулами:

$$\bar{G}_{ТЧ} = \sum_{i=1}^n \bar{G}_{ТЧ_i} = \sum_{i=1}^n W F_i \cdot G_{ТЧ_i}, \quad (2)$$

$$\bar{N}_e = \sum_{i=1}^n \bar{N}_{ei} = \sum_{i=1}^n W F_i \cdot N_{ei}, \quad (3)$$

де індексом i позначено величини, що визначені для певного режиму роботи дизеля, $i = 1 \dots n$, $n = 8$ чи 13; $W F_i$ – ваговий фактор; $G_{ТЧ_i}$ – масовий викид ТЧ з ВГ дизеля, кг/год; N_{ei} – ефективна потужність дизеля, кВт:



1, 2 – дизель 2Ч10,5/12 і його випускний колектор; 3, 9 – макетоутримуюча вставка і макет ФТЧ; 4, 5, 6, 7, 8 – кутовий і гнучкі газопроводи, глушник шуму, газовивідна труба і перехідники відповідно; 10, 21, 22, 23, 24 – пробовідбірний зонд і його з'єднувальний газопровід, вивідні газопроводи; 11, 12, 13, 14, 15, 16 – відповідно вхідний штуцер, конус, чотирьохходовий кран, змінний тefлоновий фільтр, ковпак та вихідний штуцер алонжа; 17 – регулюючий кран і вивідні трубопроводи; 18 – витратомір газу ГСБ-400; 19, 20 – п'ятикомпонентний газоаналізатор Автотест-02.03П і його захисний фільтр з тримачем; 25, 26 – дифманометри ДМ; 27, 28, 29 – датчики термометричні ТХА і їх дроти; 30 – прилади ОВЕН ТРМ 200; 31 – барометр-анероїд БАММ-1М; 32 – термометр ртутний ТЛ-4; 33 – секундомір СОСпр-26-2; 34 – димомір ІНФРАКАР-Д, 35 – вимірювальний ресивер (6,36 дм³); 36 – повітродувка

Рисунок 1 – Схема системи відбору проб ВГ на токсичність і димність МВС

Ефективна потужність дизеля, кВт:

$$N_{ei} = \frac{M_{кри} \cdot n_{кві}}{9550}, \quad (4)$$

де $M_{кр}$ – крутний момент дизеля, Н·м;
 $n_{кві}$ – частота обертання к.в. дизеля, хв⁻¹.

Величина $G_{тч}$, зазвичай має визначатися гравіметричним методом із застосуванням повно- чи частковопоточних тунелів, але зважаючи на обмежені можливості матеріальної бази лабораторії, визначається розрахунком за формулою, що розроблена для автотракторних дизелів проф. І.В. Парсадановим, та отримана на основі сертифікатційних випробувань дизеля СМД-31 на моторному стенді фірми Ricardo, що обладнаний повнопоточним тунелем [6]:

$$G_{TЧ} = (2,3 \cdot 10^{-3} \cdot N_D + 5 \cdot 10^{-5} \cdot N_D^2 + 0,145 \cdot \frac{C_{CH} \cdot 4,78 \cdot 10^{-7} \cdot (G_{нов} + G_{нал})}{0,7734 \cdot G_{нов} + 0,7239 \cdot G_{нал}} + 0,33 \cdot \left(\frac{C_{CH} \cdot 4,78 \cdot 10^{-7} \cdot (G_{нов} + G_{нал})}{0,7734 \cdot G_{нов} + 0,7239 \cdot G_{нал}} \right)^2) \cdot \frac{(0,7734 \cdot G_{нов} + 0,7239 \cdot G_{нал})}{1000}, \quad (5)$$

Як видно з аналізу формули (5), величина $G_{TЧ}$ у всьому полі робочих режимів дизеля залежить здебільшого від величини N_D , а вплив на неї величини C_{CH} стає помітним лише з величин, більших за 100 млн^{-1} , що спостерігається на режимах роботи дизеля з нульовою чи малою ефективною потужністю.

Ефективність очищення ВГ дизеля від ТЧ для масового викиду ТЧ і для окремих параметрів їх токсичності, що, як видно з формули (5), впливають на величину масового викиду ТЧ, визначається коефіцієнтами ефективності очищення за наступними формулою, %:

$$K_{EO}(X) = (X_{ДВЗ} - X_{ФТЧ}) \cdot 100 / X_{ДВЗ}, \quad (6)$$

де індекси $ДВЗ$ і $ФТЧ$ – відносяться до випадків відсутності та наявності ФТЧ у випускній системі МВС; X – показник токсичності ВГ – $G_{TЧ}$, C_{CH} чи N_D .

Також структура цієї формули має особливість, що зумовлена тим, що величина $G_{TЧ}$ містить залежність від величин C_{CH} і N_D як у першому, так і у другому ступені. Тому лише за нульового значення величини C_{CH} величина $K_{EO}(G_{TЧ})$ переважає величину $K_{EO}(N_D)$ у всьому діапазоні значень N_D . При значеннях $C_{CH} = 100 \text{ млн}^{-1}$ $K_{EO}(N_D)$ переважає $K_{EO}(G_{TЧ})$ у діапазоні зміни N_D до 22 %, при $C_{CH} = 500 \text{ млн}^{-1}$ – у діапазоні до 65 %, а при $C_{CH} = 100 \text{ млн}^{-1}$ – взагалі у всьому діапазоні значень N_D . Оскільки у формулу (6) входять різниці і відношення величин $G_{TЧ}$ і N_D й більшість методологічних та інструментальних похибок такого способу розрахункового визначення величини $G_{TЧ}$ взаємоскорочуються, тоді застосування формули (5) для визначення масового викиду ТЧ слід визнати якісним індикатором рівня викиду ТЧ і коефіцієнтів ефективності очищення ФТЧ, що не претендує на високу точність. Перелік режимів у випробувальних циклах та параметрів дизеля, що їм відповідають, подано у табл. 1.

Робота дизеля на МВС на деяких режимах (з нульовою чи близькою до неї ефективною потужністю – режими №№ 2 і 12 у 13-режимному циклі) взагалі, та на всіх інших з достатньою точністю додержання режимних параметрів неможлива через відсутність електронного керування дизелем і стендом. Також для цих режимів характерне потрапляння значень досліджуваних параметрів роботи дизеля і ФТЧ у зони нижніх меж діапазонів вимірювання засобів вимірювальної техніки МВС, через що можливим стає вихід похибки прямих вимірювань цих величин за нормативно встановлені межі [7, 8]. Тому випробування проводились шляхом зняття наступних характеристик:

- зовнішньої швидкісної (з максимальними навантаженням і паливоподачою у діапазоні $n_{кв} 900 - 1800 \text{ хв}^{-1}$),
- навантажувальної за $n_{кв}$ режиму максимального крутного моменту (для дизеля 2Ч10,5/12 це 1200 хв^{-1}),
- навантажувальної за $n_{кв}$ режиму номінальної потужності (для дизеля 2Ч10,5/12 це 1800 хв^{-1});

– характеристики холостого ходу (х.х.) (з нульовою ефективною потужністю у діапазоні $n_{кв}$ 800 – 1800 хв⁻¹).

Таблиця 1 – Параметри режимів випробувальних циклів та їх значення для дизеля 2Ч10,5/12 [1, 2]

№ реж.	$n_{кв}$, XB^{-1}		$M_{кр}$, Н·м		WF
	позн.	знач.	% M_n	знач.	
13-ти режимний цикл					
1	х.х. _{min}	800	0	0	0,25/3
2	$M_{крmax}$	1200	2	2,2	0,08
3	$M_{крmax}$	1200	25	27,5	0,08
4	$M_{крmax}$	1200	50	55	0,08
5	$M_{крmax}$	1200	75	82,5	0,08
6	$M_{крmax}$	1200	100	110	0,25
7	х.х. _{min}	800	0	0	0,25/3
8	ном.	1800	100	95	0,10
9	ном.	1800	75	71,3	0,02
10	ном.	1800	50	47,5	0,02

11	ном.	1800	25	23,8	0,02
12	ном.	1800	2	1,9	0,02
13	х.х. _{min}	800	0	0	0,25/3
8-ми режимний цикл					
1	ном.	1800	100	95	0,15
2	ном.	1800	75	71	0,15
3	ном.	1800	50	57,5	0,15
4	ном.	1800	10	9,5	0,10
5	пром.	1200	100	110	0,10
6	пром.	1200	75	82,5	0,10
7	пром.	1200	50	55	0,10
8	х.х. _{min}	800	–	0	0,15

Результати дослідження. Отримані значення параметрів за цими характеристиками описано поліномами 2–4 ступеня методом лінійної регресії [9]. Параметри режимів у табл. 1 отримано з аналізу поліномів.

Поліноми, що описують залежності величин $G_{Tч}$ і $K_{EO}(G_{Tч})$ від режимних параметрів дизеля 2Ч10,5/12 мають наступний вигляд.

– Для зовнішньої швидкісної характеристики:

$$G_{Tч_ДВС} = -5,25 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^2 + 1,424 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв} - 7,102 \cdot 10^{-2}, R^2 = 0,98833; \quad (7)$$

$$G_{Tч_ФТЧ} = 7,14 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 - 1,109 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,645 \cdot 10^{-2}, R^2 = 0,75957; \quad (8)$$

$$K_{EO}(G_{Tч}) = -1,36 \cdot 10^{-4} \cdot n_{кв}^2 + 0,356 \cdot n_{кв} - 156,1, R^2 = 0,97759. \quad (9)$$

– Для характеристики холостого ходу:

$$G_{Tч_ДВС} = 4,15 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 + 1,252 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,001 \cdot 10^{-2}, R^2 = 0,97919; \quad (10)$$

$$G_{Tч_ФТЧ} = 2,87 \cdot 10^{-9} \cdot n_{кв}^2 - 8,561 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв} + 6,852 \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,97328; \quad (11)$$

$$K_{EO}(G_{Tч}) = -1,196 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 + 1,411 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} - 44,3, R^2 = 0,39843. \quad (12)$$

– Для навантажувальної характеристики з $n_{кв} = 1200$ хв⁻¹ (у тому числі й режим максимального крутного моменту дизеля):

$$G_{Tч_ДВС} = 5,39 \cdot 10^{-10} \cdot n_{кв}^4 - 7,749 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^3 + 4,433 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 - 5,943 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,277 \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,99880; \quad (13)$$

$$G_{Tч_ФТЧ} = 3,10 \cdot 10^{-7} \cdot n_{кв}^2 + 9,906 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв} + 6,945 \cdot 10^{-4}, R^2 = 0,99735; \quad (14)$$

$$K_{EO}(G_{Tч}) = 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot n_{кв}^2 - 0,207 \cdot n_{кв} + 34,5, R^2 = 0,99429. \quad (15)$$

– Для навантажувальної характеристики з $n_{кв} = 1800$ хв⁻¹ (у тому числі й режим

номінальної потужності дизеля):

$$G_{TЧ_ДВС} = 4,72 \cdot 10^{-10} \cdot n_{кв}^4 - 5,253 \cdot 10^{-8} \cdot n_{кв}^3 + 2,575 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 - 2,43 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 1,024 \cdot 10^{-3}, R^2 = 0,99901; \quad (16)$$

$$G_{TЧ_ФТЧ} = 1,213 \cdot 10^{-6} \cdot n_{кв}^2 + 3,80 \cdot 10^{-5} \cdot n_{кв} + 8,187 \cdot 10^{-4}, R^2 = 0,99021; \quad (17)$$

$$K_{EO}(G_{TЧ}) = 2,591 \cdot 10^{-3} \cdot n_{кв}^2 - 9,197 \cdot 10^{-2} \cdot n_{кв} + 28,7, R^2 = 0,80335. \quad (18)$$

Традиційна форма представлення таких результатів – графіки розподілу величин масового викиду ТЧ та коефіцієнту ефективності очищення ВГ від ТЧ по режимах випробувальних циклів – подана на рис. 2.

Для зовнішньої швидкісної характеристики величини N_D і $G_{TЧ}$ у неочищеному потоці ВГ та у очищеному потоці (що пройшов крізь макетний зразок ФЕ) мають вид степеневі залежності від $n_{кв}$. Вони для неочищеного потоку ВГ досягають максимуму, рівного для N_D 70,2 % і 24,1 г/год для $G_{TЧ}$ на режимі максимального крутного моменту, та зменшується як з підвищенням (суттєво), так і зі зниженням (незначно) $n_{кв}$, досягаючи мінімуму, рівного 40,1 % і 15,3 г/год на номінальному режимі. Для очищеного потоку ВГ їх максимуми сягають 36,1 % і 7,0 г/год на режимі з мінімальною $n_{кв}$, а мінімуми – 25,2 % і 5,4 г/год на режимі максимального крутного моменту відповідно. Для величини C_{CH} ці залежності для очищеного і неочищеного потоків практично співпадають. Залежність коефіцієнта ефективності очищення ВГ від ТЧ для ФТЧ від $n_{кв}$ має вид, степеневі залежності із максимумом 77,4 % на режимі максимального крутного моменту і мінімумом 45,0 % на номінальному режимі, а на режимі з мінімальною $n_{кв}$ він приймає значення 52,6 %. Такий характер розподілу значень $K_{EO}(G_{TЧ})$ по режимах зовнішньої швидкісної характеристики зумовлено тим, що на режимах з малою $n_{кв}$ у структурі ТЧ переважають СН_x, на режимі максимального крутного моменту спостерігається максимум $G_{TЧ}$ та середнє значення G_{BG} , а на номінальному режимі $G_{TЧ}$ зменшується, але досягається максимум G_{BG} і збільшується швидкість проходження потоку ВГ крізь експериментальний зразок.

За навантажувальними характеристиками величина $G_{TЧ}$ для цього дизеля змінюється у функції крутного моменту дизеля $M_{кр}$ (тобто у функції середнього ефективного тиску P_e) нелінійно, монотонно зростаючи зі зростанням $M_{кр}$ для неочищеного потоку з 1,86 до 24,41 г/год на режимі з $n_{кв} = 1200 \text{ хв}^{-1}$ (глобальний максимум) і з 1,27 до 5,46 г/год для очищеного. При цьому $K_{EO}(G_{TЧ})$ нелінійно змінюється зі зростанням $M_{кр}$ з 31,6 до 77,4 %. Для навантажувальної характеристики з $n_{кв} = 1800 \text{ хв}^{-1}$ ці величини наступні: для очищеного потоку $G_{TЧ} = 1,5 - 15,38$ г/год, для очищеного $G_{TЧ} = 1,0 - 8,47$ г/год, $K_{EO}(G_{TЧ}) = 33,4 - 44,9$ % відповідно. Така форма залежностей зумовлена аналогічною формою залежності N_D від $M_{кр}$, що пояснюється зменшенням коефіцієнту надлишку повітря α зі зростанням крутного моменту. Величина C_{CH} при цьому змінюється у функції $M_{кр}$ також нелінійно, досягаючи мінімуму при середньому значенні аргументу та збільшуючись з його зменшенням (досягається максимум на режимі холостого ходу) і зростанням. Це пояснюється підвищеними витратами моторного мастила на угар та погіршенням умов згоряння паливо-повітряної суміші на цих режимах через погіршення температурного стану дизеля і зменшення α відповідно. На ділянці значень аргументу 0 – 30 Н·м $K_{EO}(G_{TЧ})$ поступається за величиною $K_{EO}(N_D)$.

Для характеристики холостого ходу дизеля 2Ч10,5/12 характер залежностей величин N_D , C_{CH} и $G_{TЧ}$ нелінійні та подібні до характеру таких залежностей для

зовнішньої швидкісної характеристики. Величина $G_{TЧ}$ для неочищених ВГ досягає мінімуму 0,64 г/год при $n_{кв} = 1600 \text{ мин}^{-1}$ та збільшується як зі збільшенням $n_{кв}$ до 0,96 г/год, так і зі зменшенням до 2,81 г/год. Для очищених ВГ ці величини становлять 0,53, 0,70 і 1,92

г/год відповідно. Величина $K_{ЭО}(G_{TЧ})$ при цьому практично лінійно змінюється у функції $n_{кв}$, зростаючи з її зменшенням з 27,4 до 31,7 %. Практично у всьому діапазоні зміни аргументу $K_{ЭО}(G_{TЧ})$ поступається за величиною $K_{ЭО}(N_D)$.

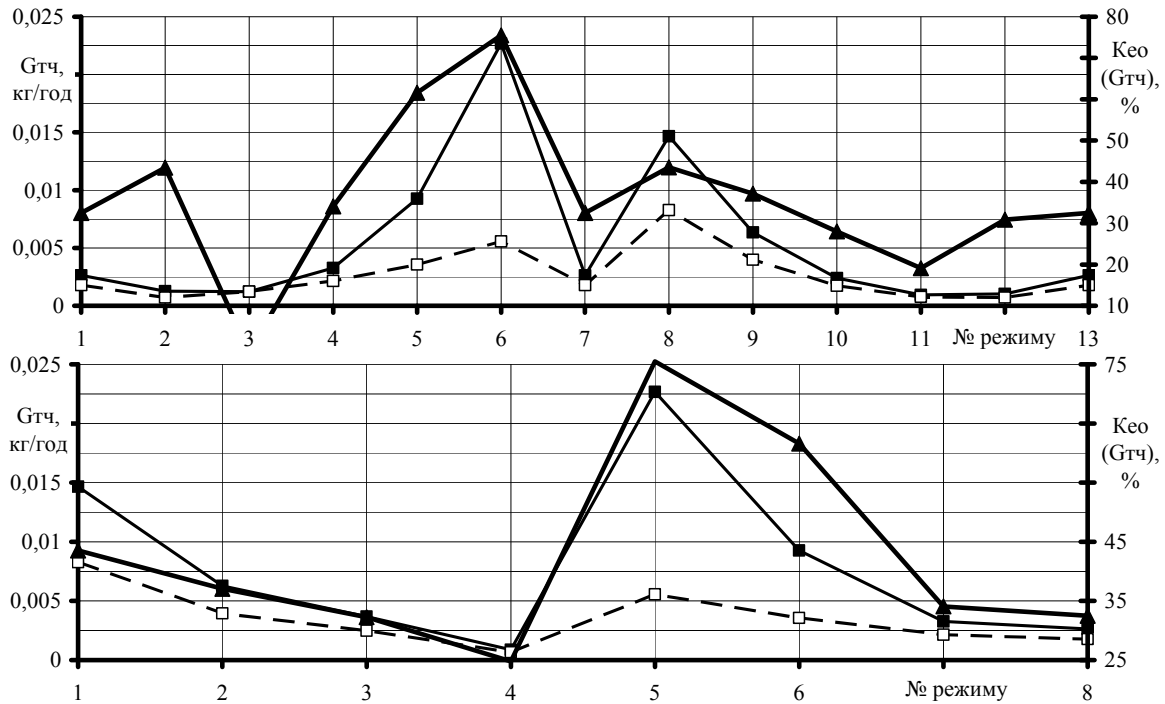


Рисунок 2 – Результати стендових випробувань дизеля 2Ч10,5/12 за 13-ти та 8-ми режимними циклами: ■ – $G_{TЧ}$ без ФТЧ; □ – $G_{TЧ}$ з ФТЧ; ▲ – $K_{ЭО}$

Висновки. Таким чином, дизель 2Ч10,5/12, встановлений на МВС відділу ПЕУ ІПМаш НАНУ, характеризується середньоексплуатаційним питомим викидом ТЧ, що визначений розрахунково для 13-режимного випробувального циклу, рівним 1,233 г/(кВт·год). Встановлення у його випускній системі діючого макетного зразка ФТЧ дозволило знизити цей показник до 0,457 г/(кВт·год), тобто на 62,9 %. Для 8-режимного циклу цей показник, визначений таким самим чином, знижується з 0,801 до 0,382 г/(кВт·год), тобто на 52,3 %.

Список літератури: 1. Regulation № 49. Revision 5. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positiveignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine. – United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. – E/ECE/ /TRANS/505. – 4 May 2011. – 194 p. 2. Regulation № 96. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with the regard to the emissions of pollutants by the engine. Geneva, 1995. – 109 p. 3. Кондратенко А.Н. Экспериментальное исследование действующего макета фильтрующего элемента фильтра твердых частиц

дизеля с насыпкой из природного цеолита. Часть 1 / *А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, Н.М. Карасиченко* // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2013. – № 1. – С. 88–92. 4. *Кондратенко А.Н.* Экспериментальное исследование действующего макета фильтрующего элемента фильтра твердых частиц дизеля с насыпкой из природного цеолита. Часть 2 / *А.Н. Кондратенко, А.П. Строков, С.П. Хожжаинов* // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2013. – № 2. – С. 92–97. 5. Дизели с воздушным охлаждением Владимирского тракторного завода / *В.В. Эфрос* [и др.]. – М.: Машиностроение, 1976. – 277 с. 6. *Парсаданов I.B.* Підвищення якості і конкурентоспроможності дизелів на основі комплексного паливно-екологічного критерію: Монографія. / *Парсаданов I.B.* – Харків: Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2003. – 244 с. 7. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М. Издательство стандартов, 1988. – 78 с. 8. ГОСТ 14846-87. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М. Издательство стандартов, 1987. – 42 с. 9. *Эберт К.* Компьютеры. Применение в химии: Пер. с нем. / *К. Эберт, Х. Эдерер*. – М.: Мир, 1988. – 416 с.

Bibliography (transliterated): 1. Regulation № 49. Revision 5. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) and natural gas (NG) engines as well as positive-ignition (P.I.) engines fuelled with liquefied petroleum gas (LPG) and vehicles equipped with C.I. and NG engines and P.I. engines fuelled with LPG, with regard to the emissions of pollutants by the engine. – United Nations Economic and Social Council Economics Commission for Europe Inland Transport Committee Working Party on the Construction of Vehicles. – E/ECE/TRANS/505. – 4 May 2011. – 194 p. 2. Regulation № 96. Uniform provision concerning the approval of compression ignition (C.I.) engines to be installed in agricultural and forestry tractors with the regard to the emissions of pollutants by the engine. Geneva, 1995. – 109 p. 3. *Kondratenko A.N.* Experimental study of the working layout of filter element of diesel particulate matter filter with bulk natural zeolite. Part 1 / *A.N. Kondratenko, A.P. Strokov, N.M. Karasichenko* // Internal combustion engines. – № 1. – 2013. – P. 88 – 92. 4. *Kondratenko A.N.* Experimental study of the working layout of filter element of diesel particulate matter filter with bulk natural zeolite. Part 2 / *A.N. Kondratenko, A.P. Strokov, S.P. Khozhainov* // Internal combustion engines. – № 2. – 2013. – P. 92 – 97. 5. Air-cooled diesel engines of Vladimir Tractor Plant / *V.V. Efros* [et al.] – M.: Mechanical Engineering, 1976. – 277 p. 6. *Parsadanov I.V.* Improving the quality and competitiveness of diesel engines through an integrated fuel and ecological criteria Monograph. / *I.V. Parsadanov*. – Kharkov: Publish. Center of NTU "KPI", 2003. – 244 p. 7. GOST 18509-88. Diesels of tractors and combines. Methods of bench tests. – M.: Publishing house of standards, 1988. – 78 p. 8. GOST 14846-87. Automotive engines. Methods of bench tests. – M.: Publishing house of standards, 1987. – 42 p. 9. *Ebert K.* Computers. Application in Chemistry: Tranl. from the Germ. / *K. Ebert, H. Ederer*. – M: Mir, 1988. – 416 p.

Надійшла (received) 29.03.2014