

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни
«Енергозбереження в двигунах внутрішнього згоряння»

Для студентів спеціальності 7(8).05050304
«Двигуни внутрішнього згоряння»

ЗАТВЕРДЖЕНО
редакційно-видавничою
радою університету,
протокол № 1 від 03.02.16 р

Харків
НТУ «ХП»
2016

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Енергозбереження в двигунах внутрішнього згоряння» для студентів спеціальності 7(8).05050304 – «Двигуни внутрішнього згоряння» / Склали І.В. Парсаданов, А.П. Полів'янчук, С.Ю. Білик.– Харків: НТУ «ХП», 2016.– 26 с.

Укладачі: І.В. Парсаданов, А.П. Полів'янчук, С.Ю. Білик

Рецензент: О.О. Осетров

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння

ВСТУП

У світовому двигунобудуванні на одному із перших міст постає проблема енергоефективності, що виникає при експлуатації ДВЗ. Відомо, що у промисловому енергетичному балансі розвинутих країн 70-90% виробленої енергії приходить на ДВЗ, які потребляють основну частину нафтового палива, викидають в атмосферу значну кількість невикористаної теплоти та забруднюють атмосферу токсичними речовинами відпрацьованих газів (ВГ). Тому любі заходи спрямовані на енергозбереження, поліпшення екологічних показників, підвищення технічного рівня двигунів і установок з двигунами мають виняткову актуальність. Значне місце проблемі енергоефективності у ДВЗ надається Законами України.

При розробці заходів, які спрямовані на енергозбереження в ДВЗ необхідно уміти дати оцінку рівню шкідливим викидам (ШР), які надходять в навколишнє середовище з ВГ, та знати принципи розрахунку питомих викидів за діючими нормативами для двигунів різного призначення.

Наукові основи забезпечення енергоефективності двигунами внутрішнього згоряння разом з курсом «Енергозбереження в ДВЗ» закладаються практично усіма фундаментальними, загально-інженерними та спеціальними курсами. Провідні позиції тут належать дисциплінам «Термодинаміка», «Теорія двигунів внутрішнього згоряння», «Конструкція та динаміка двигунів внутрішнього згоряння», «Газова динаміка та агрегати наддуву», «Системи двигунів внутрішнього згоряння», «Випробування ДВЗ». Разом з іншими, ці дисципліни дозволяють сформувати основи знань про загальні проблеми енергозбереження у двигунобудуванні, а також шляхи їх вирішення.

При виконанні практичних занять перед майбутніми спеціалістами і магістрами ставиться мета закріпити знання, які вони отримали при вивченні лекційного курсу «Енергозбереження в ДВЗ», і отримати навички у вирішенні таких задач:

– побудова зовнішньої швидкісної характеристики автотракторного дизеля та визначення режимів, за якими проводиться оцінка його роботи в експлуатації;

– оцінка димності ВГ автотракторних дизелів на стаціонарних режимах і при зміні навантаження згідно з нормативними документами, які діють в країнах Євросоюзу та в Україні;

– визначення питомих викидів ШР відпрацьованих газів автотракторних дизелів згідно з нормативними документами, які діють в країнах Євросоюзу та в Україні.

Для досягнення цієї мети студент повинен ознайомитися з цими методичними вказівками, мати чіткі уявлення про теоретичні основи курсу «Енергозбереження в ДВЗ», знати практичні шляхи і сучасні засоби вирішення проблем енергоефективності і зменшення викидів токсичних речовин з відпрацьованими газами ДВЗ, володіти методикою проведення досліджень з визначення екологічних показників, особисто виконувати розрахунки, проводити аналіз одержаних результатів та вміти зробити висновки.

Виконані практичні завдання оформлюються у відповідності з вимогами стандартів НТУ «ХП», результати розрахунків оформлюються у виді таблиць і графіків.

Практичне заняття № 1

Побудова зовнішньої швидкісної характеристики автотракторного дизеля

Ціль роботи: побудова зовнішній швидкісній характеристиці автотракторного дизеля з використанням вихідні даних: номінальна потужність, частота обертання колінчатого вала при номінальній потужності, коефіцієнт запасу крутного моменту.

Теоретичні основи. Зовнішня швидкісна характеристика ДВЗ являє собою залежність ефективної потужності і крутного моменту від частоти обертання колінчатого вала ($N_e, M_{кр} = f(n)$) за умови повної подачі палива. Крім того, на зовнішній швидкісній характеристиці можуть бути представлені і залежності показників паливної економічності, димності і токсичності ВГ двигуна. Формується зовнішня характеристика регулюванням паливної апаратури відповідно до вимог найбільш ефективної роботи установки, на якій застосовується дизель, та забезпечення безвідмовності його роботи в експлуатації.

Відповідно до особливостей регулювання циклової подачі палива на зовнішній швидкісній характеристиці виділяють дві зони: регуляторна та коректорна. У регуляторній зоні відзначається значне та лінійне зростання крутного моменту від нуля до номінального і невелика (близько 5... 10%) зміна частоти обертання колінчатого вала, яка характеризується ступенем нерівномірності регулятора. В коректорній зоні, зміна крутного моменту відносно невелика (не більше 20 ... 25%). Тому підвищення зовнішнього навантаження призводить до суттєвого зменшення частоти обертання (для автотракторних дизелів від 45 до 50% від номінальної частоті обертання колінчатого вала).

Коректорна зона в свою чергу складається із зони позитивного коректування, де йде зростання крутного моменту від номінального ($M_{кр.ном.}$) до максимального ($M_{кр.мах.}$), та із зони негативного коректування, в якій крутний момент від максимального зменшується. В сучасних автотракторних дизелях зменшення крутного моменту у зоні негативного коректування по зовнішній швидкісній характеристиці йде до рівня 0,9...1,0 від номінального крутного моменту.

Площина, що обмежена віссю абсцис, регуляторною і коректорною зоною та віссю ординат визначає область можливих режимів роботи дизеля в експлуатації.

Зовнішню швидкісну характеристику дизеля одержують при стендових випробуваннях, але при проектуванні та проведенні теоретичних досліджень зовнішня характеристика може бути отримана графічним шляхом або, якщо є вимоги до визначення особливостей її перебігу, модулюванням.

Для визначення навантажувальних і швидкісних режимів, за якими проводиться оцінка екологічних показників автотракторного дизеля, якщо відомі номінальні потужність і частота обертання колінчатого вала, коефіцієнт запасу крутного моменту та частота обертання колінчатого вала, при якому він забезпечується, пропустимо застосування графічного методу побудови зовнішньої швидкісної характеристики.

На рис. 1 у відносному виді наведена узагальнена зміна крутного моменту на зовнішній швидкісній характеристиці автотракторного дизеля. При побудові характеристики прийнято:

- значення частоти обертання колінчатого вала і крутного моменту при номінальній потужності ($n_{\text{НОМ}}$ і $M_{\text{кр.м.НОМ}}$) дорівнює 1, а запас крутного моменту ($K_{\text{з кр.м.}} = M_{\text{кр.м.макс}} / M_{\text{кр.м.НОМ}}$) складає 1,2, при частоті обертання колінчатого вала $0,7 n_{\text{НОМ}}$;
- мінімальна частота обертання колінчатого вала на зовнішній характеристиці $n_{\text{мін}}$ дорівнює $0,5$ від $n_{\text{НОМ}}$, а крутний момент при цьому такий же як і $M_{\text{кр.м.НОМ}}$;
- максимальна частота обертання колінчатого вала $n_{\text{макс}}$ на холостому ході ($M_{\text{кр}}=0$) складає $1,1 n_{\text{НОМ}}$;
- на швидкісному режимі $0,6 n_{\text{НОМ}}$ крутний момент складає $1,15 M_{\text{кр. ном}}$, на швидкісному режимі $0,8 n_{\text{НОМ}}$ крутний момент складає $1,18 M_{\text{кр. ном}}$ і на швидкісному режимі $0,9 n_{\text{НОМ}}$ крутний момент складає $1,1 M_{\text{кр. ном}}$.

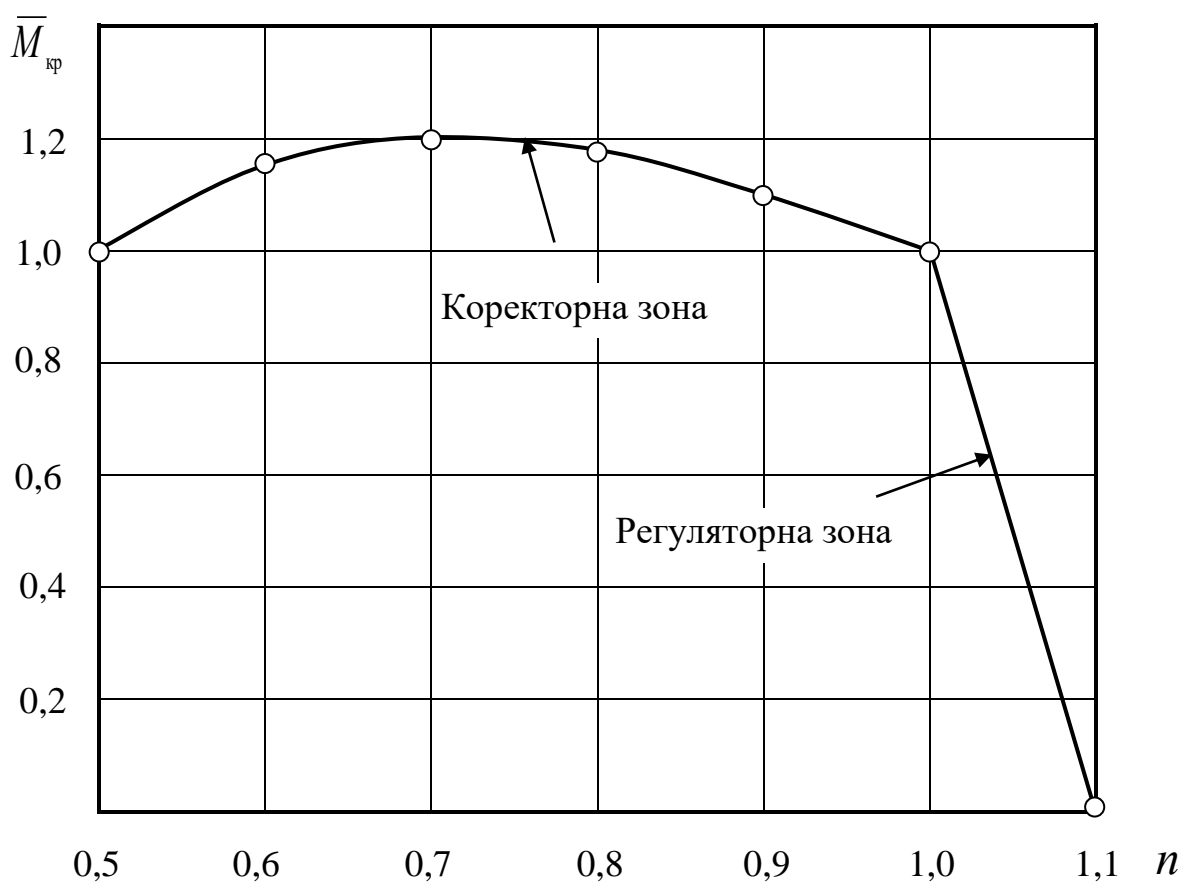


Рисунок 1 – Зміна крутного моменту на зовнішній швидкісній характеристиці автотракторного дизеля у відносному виді

Вихідні дані для побудови зовнішньої швидкісної характеристики автотракторного дизеля наведені в табл. 8.

Порядок виконання практичного заняття. Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики відповідно до вихідних даних наводимо в табличному і графічному виді. Крутний момент дизеля $M_{\text{кр ном}}$ в Н·м, якщо відомі $N_{\text{е ном}}$ в кВт та $n_{\text{НОМ}}$ в хв^{-1} , знаходимо по формулі

$$M_{\text{кр ном}} = \frac{9550 \cdot N_{\text{е ном}}}{n_{\text{ном}}} \quad (1)$$

Максимальний крутний момент дорівнює $M_{\text{кр м max}} = 1,2 M_{\text{кр ном}}$.

Для побудови зовнішньої швидкісної характеристики визначаємо, як і при побудові характеристики, приведеної на рис.1, $M_{\text{кр.м max}}$, $n_{\text{кр.м max}}$, $n_{\text{мін}}$, $M_{\text{кр}}$ при $n_{\text{мін}}$, n_{max} , $M_{\text{кр}}$ на швидкісних режимах $0,6 n_{\text{ном}}$, $0,8 n_{\text{ном}}$ і $0,9 n_{\text{ном}}$

Питання до практичного заняття 1:

1. Що являє собою зовнішня швидкісна характеристика ДВЗ?
2. Вимоги до формування зовнішньої швидкісної характеристики ДВЗ.
3. Зони, які виділяють на зовнішній швидкісній характеристиці відповідно до особливостей регулювання циклової подачі палива. Особливості зміни цих зон.
4. Особливості перебігу коректорної зони на зовнішній швидкісній характеристиці двигуна. До якого рівня зменшується крутний момент у зоні негативного коректування в сучасних автотракторних дизелях?
5. Як можна отримати зовнішню швидкісну характеристику ДВЗ?
6. Які вихідні дані необхідні для побудови зовнішньої швидкісної характеристики дизеля графічним методом?
7. Визначить область можливих режимів роботи дизеля в експлуатації.
8. Які дані повинні бути відомі для визначення крутного моменту?

Практичне заняття № 2

Оцінка димності відпрацьованих газів автомобільного дизеля по методиці Правил ЄЕК ООН № 24-03

Ціль роботи: ознайомитися з методикою Правил ЄЕК ООН № 24-03, яка призначена для оцінки димності відпрацьованих газів автомобільних дизелів

Теоретичні основи. Димність – це оптична непрозорість ВГ, яка викликана наявністю в них частинок сажі, незгорілих частинок палива і масла та інших речовин. Основним показником, що характеризує димність ВГ є натуральний показник ослаблення світлового потоку K_d , м^{-1} , рівний зворотній величині товщини шару ВГ, проходячи який, світловий потік від джерела світла послаблюється в e разів. Значення K_d визначається тільки оптичними властивостями потоку газу і не залежить від конструкції прибору, яким він вимірюється (димоміра).

Допоміжним нормованим показником, що характеризує димність ВГ є коефіцієнт ослаблення світлового потоку N_d , приведений до ефективної оптичної бази вимірювання димоміра $L = 0,43$ м (саме такі димоміри в основному випускаються промисловістю). Цей параметр визначає ступінь ослаблення світлового потоку при проходженні їм робочої труби димоміра унаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами. Взаємозв'язок K_d і N_d встановлюється за формулами

$$K_d = \frac{-\ln \cdot (1 - \frac{N_d}{100})}{L} \quad (2) \quad \text{і} \quad N_d = 100 (1 - e^{-KL}). \quad (3)$$

Згідно з правилами ЄЕК ООН № 24-03, димність ВГ автомобільного дизеля визначається на усталених режимах при повній подачі палива і в режимі вільного прискорення.

Випробування на усталених режимах при повній подачі палива проводиться за шістьма режимами зовнішньої швидкісної характеристики у діапазоні від номінальної до мінімальної розрахункової частот обертання колінчатого вала. Режими вибираються рівномірно з визначеного діапазону частот обертання. При цьому один із швидкісних режимів обов'язково відповідає номінальній потужності, а ще один – максимальному крутному моменту. Мінімум розрахункова частота обертання колінчатого вала визначається як більша з двох: 0,45 від $n_{\text{ном}}$ або 1000 хв⁻¹.

Для кожного з шести швидкісних режимів розраховують умовну витрату ВГ у дм³/с за формулою

$$Q_{\text{ВГ}} = \frac{z \cdot V_h \cdot n}{30 \cdot \tau}, \quad (4)$$

де z – число циліндрів, V_h – робочий об'єм циліндра, дм³, n – частота обертання колінчатого вала на відповідному швидкісному режимі, хв⁻¹, τ – тактність дизеля.

На рис. 2 наведена характерна відносна зміна коефіцієнту ослаблення світлового потоку N_d по зовнішній швидкісній характеристиці автотракторного дизеля для визначених відповідно до вимог правил ЄЕК ООН № 24-03 усталених шести режимів вимірювання димності ВГ.

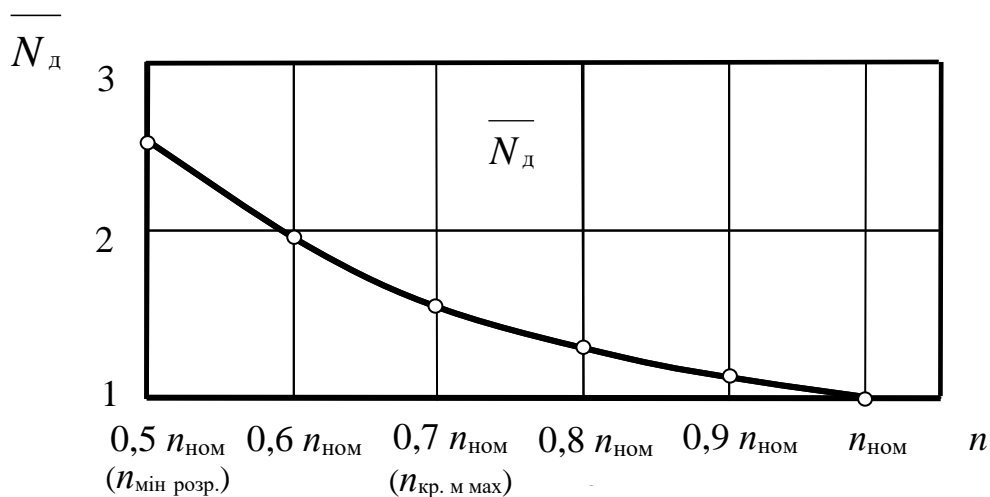


Рисунок 2 – Відносна зміна коефіцієнту ослаблення світлового потоку N_d по зовнішній характеристиці автотракторного дизеля при повній подачі палива

Вважається, що дизель відповідає Правилам ЄЕК ООН № 24-03, якщо виконуються нормативні вимоги на кожному з швидкісних режимів зовнішньої характеристики. Допустимий натуральний показник ослаблення світлового потоку K_d залежить від умовної витрати ВГ ($Q_{\text{ВГ}}$) і знаходиться у межах 1,065...2,26 м⁻¹, при ви-

траті ВГ понад 200 дм³/с та коли витрата становить менше або дорівнює 42 дм³/с, відповідно, (див. таблицю 1).

Випробування у режимі вільного прискорення проводяться без зовнішнього навантаження дизеля (на холостому ході) при зміні частоти обертання колінчатого вала від мінімальної до максимальної. Цей режим здійснюватися не менш ніж з шестиразовим повторенням. За основу приймається середнє значення натурального показника ослаблення світлового потоку за останні чотири процеси розгону, коли його значення стабілізувалися й відрізняються між собою не більш ніж на 0,25 м⁻¹.

Допустиме значення K_d для дизелів з газотурбінним наддувом у режимі вільного прискорення не повинно перевищувати більше як на 0,5 м⁻¹ значення максимального K_d , виміряного при випробуваннях на усталеному режимі.

Таблиця 1 – Норми димності відпрацьованих газів автомобільних дизелів відповідно до правил ЄЕК ООН № 24-03

Умовна витрата ВГ, (дм ³ /с)	Натуральний показник послаблення світлового потоку, K_d (м ⁻¹)	Умовна витрата ВГ, (дм ³ /с)	Натуральний показник послаблення світлового потоку, K_d (м ⁻¹)
До 42 включно	2,26	130	1,32
60	1,90	140	1,27
70	1,775	150	1,225
80	1,665	160	1,19
90	1,575	170	1,155
100	1,495	180	1,125
110	1,425	190	1,095
120	1,37	200 і більше	1,065

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 1, 8 і на рис. 2. Розрахунки виконуються для дизеля 6ЧН12/14 (кількість циліндрів – 6, діаметр циліндра – 120 мм, хід поршня – 140 мм).

Порядок проведення розрахунків:

1. Визначаємо шість швидкісних усталених режимів по зовнішній характеристиці, на яких будемо оцінювати димність ВГ дизеля відповідно правилам ЄЕК ООН № 24-03. Використовуючи формулу (4) і табл. 1 находимо граничні значення натурального показника ослаблення світлового потоку K_d , в м⁻¹ для умовних витрат ВГ на кожного швидкісного режиму. Розраховуємо коефіцієнт ослаблення світлового потоку N_d в % для кожного швидкісного режиму (формула 3).

2. Використовуючи значення коефіцієнту ослаблення світлового потоку N_d для режиму $M_{кр. ном}$ і відносну зміну коефіцієнту ослаблення світлового потоку N_d по зовнішній характеристиці даного дизеля при повній подачі палива (рис. 2) находимо значення N_d для кожного швидкісних режиму. Розраховуємо коефіцієнт ослаблення світлового потоку K_d в м⁻¹ для кожного швидкісного режиму (формула 2).

3. Порівнюємо граничні значення натурального показника ослаблення світлового потоку і визначені значення та робимо висновок про відповідальність автомобільного дизеля 6ЧН12/14 вимогам Правил ЄЕК ООН № 24-03. Результати проведених розрахункових досліджень оформлюємо в виді таблиць і графіків.

Питання до практичного заняття 2:

1. Дайте визначення димності ВГ.
2. Що є основним показником для характеристики димності ВГ?
3. Що є допоміжним показником для характеристики димності ВГ?
4. Як визначається взаємозв'язок між основним і допоміжним показниками, що характеризують димність ВГ?
5. На яких режимах вимірюється димність ВГ автомобільного дизеля згідно з правилами ЄЕК ООН № 24-03?
6. Як і для чого визначається умовна витрата відпрацьованих газів?
7. Особливості випробувань і вимірювань димності ВГ на режимі вільного прискорення. Як визначається допустимий рівень димності ВГ для дизелів з газотурбінним наддувом у режимі вільного прискорення?

Практичне заняття № 3

Оцінка димності відпрацьованих газів автомобільного дизеля по методиці Правил ЄЕК ООН ERL

Ціль роботи: ознайомитися з методикою Правил ЄЕК ООН ERL, яка призначена для оцінки димності відпрацьованих газів автомобільних дизелів.

Теоретичні основи. Останнім часом нормування і оцінка димності дизелів вантажних автомобілів проводяться за методикою Правил ЄЕК ООН ERL. Згідно до цієї методики дизелі випробуються за спеціальним циклом. Цикл ERL – Європейський навантажувальний цикл (European Load Response Test) – проводиться при динамічному навантаженні дизеля на трьох частотах обертання колінчатого вала. На кожному швидкісному режимі дизель навантажується від 10 % до повного навантаження. При цьому визначається максимальна димність на кожному режимі, а потім – середнє її значення для всіх швидкісних режимів, які і порівнюють із нормативом.

Таблиця 2 – Норми димності ВГ дизелів вантажних автомобілів при випробуваннях по методиці Правил ЄЕК ООН ERL

Стандарти	Димність, м^{-1} , $\text{К}_\text{д}$
Євро-1 (до 01.10.1995 р.)	–
Євро-2 (з 01.10.1995 р.)	–
Євро-3 (з 01.10.2000 р.)	0,8
Євро-4 (з 2005 р.)	0,5
Євро-5 (з 2008 р.)	0,5

Частоти обертання колінчатого вала дизеля, на яких визначається димність ВГ умовно об означаються n_A , n_B , n_C . Для визначення цих частот необхідно побудувати залежність ефективної потужності від частоти обертання колінчатого вала $N_e = f(n)$ за умови повної подачі палива.

На рис. 3 у відносному виді наведена узагальнена зміна ефективної потужності на зовнішній швидкісній характеристиці автомобільного дизеля при виконанні умов, прийнятих при побудові характеристики у практичному завданні № 1 (рис. 1).

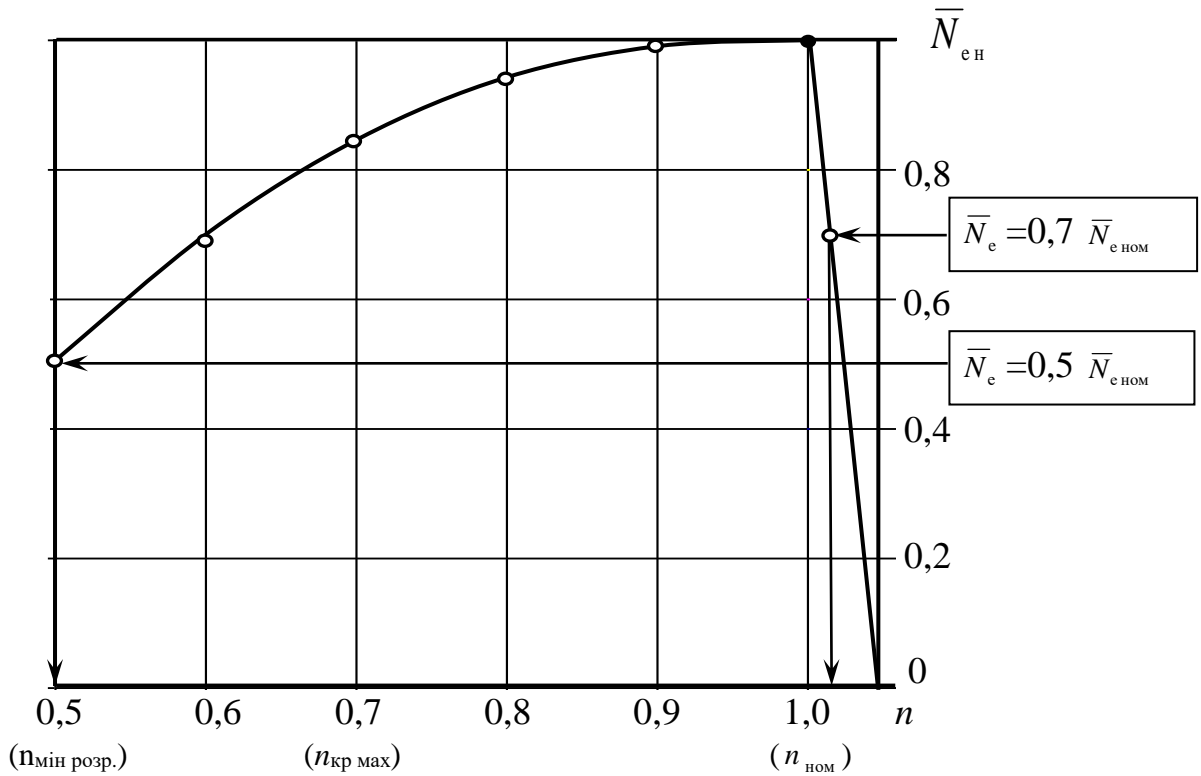


Рисунок 3 – Зміна ефективної потужності по зовнішній швидкісній характеристиці автомобільного дизеля у відносному виді

Значення частот обертання колінчатого вала дизеля n_A , n_B , n_C , на яких визначається димність ВГ згідно методики Правил ЄЕК ООН ERL, знаходяться так:

1. Із зовнішньої характеристики дизеля визначається більша за значенням частота обертання n_h , яка відповідає потужності $0,7 N_{e \text{ ном}}$. На зовнішній швидкісній характеристиці (рис. 3) n_h дорівнює приблизно $1,02 n_{\text{ном}}$.

2. Із зовнішньої характеристики дизеля визначається менша за значенням частота обертання n_i , яка відповідає потужності $0,5 N_{e \text{ ном}}$. На зовнішній характеристиці (рис.3) n_i дорівнює приблизно $0,5 n_{\text{ном}}$.

3. Розраховуються значення частот обертання колінчатого вала дизеля n_A , n_B , n_C за формулами:

$$n_A = n_i + 0,25 (n_h - n_i) \quad (5)$$

$$n_B = n_i + 0,50 (n_h - n_i) \quad (6)$$

$$n_C = n_i + 0,75 (n_h - n_i) \quad (7)$$

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблицях 2, 8, на рис.1, 2,3.

Порядок проведення розрахунків:

1. Використовуючи зовнішню швидкісну характеристику (рис.1), вихідні дані ($N_{e \text{ ном}}$ і $n_{\text{ном}}$) та формулу 8 визначаємо ефективну потужність дизеля по зовнішній швидкісній характеристиці при частотах обертання колінчатого вала $0,5 n_{\text{ном}}$, $0,6 n_{\text{ном}}$, $0,7 n_{\text{ном}}$, $0,8 n_{\text{ном}}$ і $0,9 n_{\text{ном}}$.

$$N_e = \frac{M_{\text{кр}} \cdot n}{9550}. \quad (8)$$

Будуємо в табличному і графічному виді швидкісну характеристику дизеля за умови повної подачі палива $N_e = f(n)$ при абсолютному значенні величин відповідно до вихідних даних. Визначаємо значення n_h і n_i .

2. Користуючись формулами 5, 6, 7 і рис. 3 визначаємо частоти обертання колінчатого вала дизеля n_A , n_B , n_C згідно циклу випробувань за методикою Правил ЄЕК ООН ERL.

3. Користуючись одержаній при виконанні практичного завдання № 2 залежністю зміни коефіцієнту ослаблення світлового потоку N_d по зовнішній характеристиці дизеля при повній подачі палива, находимо значення димності ВГ при повній подачі палива для швидкісних режимів n_A , n_B , n_C (рис. 2). При зміні навантаження від 10 % до максимального відповідно циклу ELR димність ВГ відносно максимального значення коефіцієнту ослаблення світлового потоку в % зростає в 1,3 рази для швидкісного режиму n_A , в 1,2 рази для швидкісного режиму n_B і в 1,1 рази для швидкісного режиму n_C .

4. Розраховуємо за допомогою формули (2) значення K_d і робимо висновок про відповідність дизеля вимогам Правил ЄЕК ООН ERL (табл. 2).

Питання до практичного заняття 3:

1. Особливості методики випробувань для визначення димності ВГ дизеля вантажного автомобіля за Правилами ЄЕК ООН ERL.

2. Рівень коефіцієнту ослаблення світлового потоку K_d в м^{-1} для норм ЄВРО.

3. Як розраховуються значення частот обертання колінчатого вала, на яких визначається димність ВГ згідно методики Правил ЄЕК ООН ERL.

4. Як розраховується значення димності ВГ згідно Правил ЄЕК ООН ERL для визначення відповідності автомобільного дизеля цьому нормативу?

Практичне заняття № 4

Розрахунок викидів твердих частинок за результатами вимірювань газоподібних вуглеводнів та димності відпрацьованих газів

Ціль роботи: одержання практичних навиків розрахунку викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизеля.

Теоретичні основи. Масовий викид твердих частинок (ТЧ) визначається, головним чином, наявністю у ВГ двигунів розчинних частинок вуглеводнів у рідкій і тве-

рдій фазах і нерозчинних частинок сажі. Для уникнення витратних і складних вимірів емісії ТЧ використовують метод, що полягає у розрахунку масового викиду ТЧ за результатами вимірювання концентрації газоподібних вуглеводнів (C_{nH_m}) у ВГ і димності (N_d) ВГ. При цьому приймають такі допущення:

– димність ВГ, що вимірюється оптичним методом, визначається емісією сажі й інших нерозчинних частинок (сульфідів, оксидів металів, пилу, золи);

– відносна частка газоподібних вуглеводнів, що вимірюються полум'яно-іонізаційним аналізатором при температурі $>190^\circ\text{C}$ та трансформується з газоподібного у рідкий і твердий стани при температурі 52°C (температура реєстрації їх на фільтрах), залишається постійною.

Залежності емісії ТЧ від димності ВГ і розчинних ТЧ від сумарних газоподібних вуглеводнів, які одержані обробкою результатів дослідження дизеля 6ЧН 12/14, наведені на рис. 4.

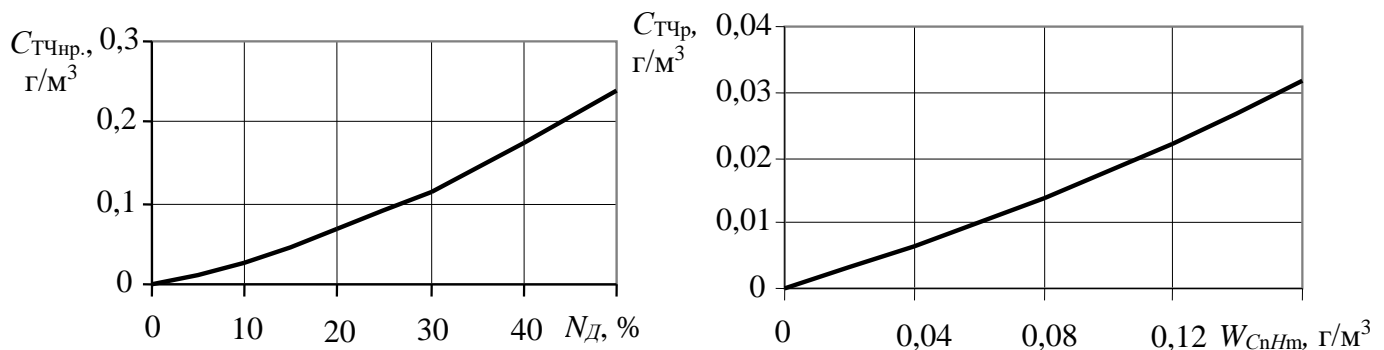


Рисунок 4 – Залежності викидів нерозчинних ТЧ від димності ВГ і розчинних ТЧ від концентрації сумарних газоподібних вуглеводнів у ВГ для дизеля 6ЧН12/14

Експериментальна залежність концентрації нерозчинних ТЧ від димності ВГ апроксимується поліномом другого ступеня:

$$C_{\text{ТЧ нр}} = (0,0023 N_d + 0,00005 N_d^2), \quad (9)$$

де $C_{\text{ТЧ нр}}$ – концентрація нерозчинних ТЧ у ВГ в $\text{г}/\text{м}^3$; N_d – димність ВГ у відсотках.

Залежність концентрації розчинних ТЧ від сумарних газоподібних сумарних вуглеводнів також апроксимується поліномом другого ступеня:

$$C_{\text{ТЧ р}} = (0,145 C_{\text{CnHm}} + 0,33 C_{\text{CnHm}}^2), \quad (10)$$

де $C_{\text{ТЧ р}}$ – концентрація розчинних твердих частинок у ВГ $\text{г}/\text{м}^3$; C_{CnHm} – концентрація газоподібних вуглеводнів у ВГ в $\text{г}/\text{м}^3$.

У підсумку, об'ємна концентрація ТЧ ($\text{г}/\text{м}^3$) у ВГ дизеля визначатиметься адитивною функцією двох поліномів другого ступеня (9 і 10):

$$C_{\text{ТЧ}} = (0,0023 N_d + 0,00005 N_d^2) + (0,145 C_{\text{CnHm}} + 0,33 C_{\text{CnHm}}^2). \quad (11)$$

Для того щоб одержати об'ємну концентрацію газоподібних вуглеводнів у відпрацьованих газах в $\text{г}/\text{м}^3$, якщо відома концентрація в млн^{-1} , необхідно спочатку розрахувати масовий викид газоподібних вуглеводнів ($\text{г}/\text{год}$):

$$G_{\text{CnHm}} = 0,000478 \cdot W_{\text{CnHm}} \cdot (G_{\text{п}} + G_{\text{пов}}), \quad (12)$$

де W_{CnHm} – концентрація газоподібних вуглеводнів в млн⁻¹; $G_{\text{п}}$ і $G_{\text{пов}}$ – витрата палива і витрата повітря двигуном на відповідному режимі роботи в кг/год.

Потім визначається об'ємна витрата двигуном сухих ВГ на відповідному режимі роботи (м³/год)

$$V_{\text{ВГ}} = 22,4 \cdot \left(0,03465 \cdot G_{\text{пов}} - \frac{0,03325}{G_{\text{п}}} \right), \quad (13)$$

і далі знаходимо об'ємну концентрацію газоподібних вуглеводнів у ВГ двигуна на відповідному режимі роботи (г/м³)

$$C_{\text{CnHm}} = \frac{G_{\text{CnHm}}}{V_{\text{ВГ}}}. \quad (14)$$

Якщо треба знайти масовий викид ТЧ (г/год), то використовують концентрацію ТЧ (г/м³), визначену за формулою (11), і значення об'ємної витрати ВГ, одержане за формулою (13),

$$G_{\text{ТЧ}} = C_{\text{ТЧ}} \cdot V_{\text{ВГ}}. \quad (15)$$

Вихідні дані для розрахунків наведені в табл. 8, на рис. 4 і в формулах (11-15).

Порядок проведення розрахунків

Розрахунок викидів ТЧ за результатами виміру газоподібних вуглеводнів та димності ВГ проводимо для режиму ($N_{\text{е ном}}$).

Визначаємо масовий викид газоподібних вуглеводнів (г/год) за формулою (12), відповідні значення W_{CnHm} , $G_{\text{п}}$ і $G_{\text{пов}}$ беремо з таблиці 8. Визначаємо об'ємну витрату відпрацьованих газів (м³/год) за формулою (13) і знаходимо об'ємну концентрацію газоподібних вуглеводнів у ВГ двигуна (г/м³) за формулою (14).

Визначаємо об'ємну концентрацію твердих частинок у ВГ дизеля на режимі номінальної ефективної потужності (г/м³), використовуючи значення димності ВГ із вихідних даних (таблиця 8) та формулу (11).

Питання до практичного заняття № 4

1. Як визначається масовий викид ТЧ у відпрацьованих газах дизелів?
2. Які речовини входять до складу нерозчинених твердих частинок?
3. Які речовини входять до складу розчинених твердих частинок?
4. Який вигляд має графіки залежності емісії нерозчинних ТЧ від димності ВГ та залежності емісії розчинних ТЧ від сумарних газоподібних вуглеводнів?
5. За якою формулою визначається концентрація ТЧ у ВГ дизелів?

Практичне заняття № 5

Оцінка викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами тракторного дизеля по методиці Правил ЄЕК ООН № 96

Ціль роботи: ознайомитися з методикою Правил ЄЕК ООН № 96, яка призначена для оцінки викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами сільськогосподарських машин та позашляховій техніці.

Теоретичні основи. Оцінку викидів шкідливих речовин (ШР) з ВГ сільськогосподарських машин (тракторів, зернозбиральних і кормозбиральних комбайнів, тощо) та позашляховій техніки проводять згідно методики Правил ЄЕК ООН № 96.

Відповідно до Правил ЄЕК ООН № 96 випробування проводяться на восьми ustalених режимах роботи дизеля, який встановлено на гальмівному стенді. Режими циклу випробувань наведені в табл. 3.

Випробування дизеля проводять на номінальному швидкісному режимі при навантаженнях дизеля 100, 75, 50 і 10 %, на проміжному швидкісному режимі, який відповідає швидкісному режиму максимального крутного моменту, при навантаженнях дизеля 100, 75, 50 % та на режимі мінімального холостого ходу – $n_{xx \min}$. Кожному з восьми режимів наданий коефіцієнт вагомості згідно можливого впливу цього режиму на навколишнє середовище за рахунок викидів шкідливих речовин з ВГ при роботі дизеля в експлуатації.

До нормованих ШР згідно Правил ЄЕК ООН № 96 віднесені оксиди азоту, оксид вуглецю, сумарні газоподібні вуглеводні і тверді частинки. Норми викидів шкідливих речовин встановлюються відносно одиниці виконаної дизелем роботи за усередненою за цикл величиною викиду в г/(кВт·год).

Таблиця 3 – Режими циклу випробувань згідно Правил ЄЕК ООН № 96

Номер режиму	Частота обертів	Навантаження, %	Вагомість режиму
1	номінальна	100	0,15
2	— " —	75	0,15
3	— " —	50	0,15
4	— " —	10	0,1
5	проміжна	100	0,1
6	— " —	75	0,1
7	— " —	50	0,1
8	$n_{xx \min}$	0	0,15

Результати випробувань є дійсними якщо проводяться за умовами навколишнього середовища, які не виходять за відповідні межі. Показник стану навколишнього середовища F_A повинен бути у діапазоні $0,98 \leq F_A \leq 1,02$. Якщо показник F_A виходить за цей діапазон випробування є недійсними.

Таблиця 4 – Європейські норми емісій позашляхових засобів з дизелями

Потужність дизеля, кВт	Дата введення у дію норм	Викиди, г/(кВт·год)			
		CO	C _n H _m	NO _x	ТЧ
Етап 1 (Stage I)					
130–560	01.1999	5,0	1,3	9,2	0,54
75–130	01.1999	5,0	1,3	9,2	0,70
37–75	04.1999	6,5	1,3	9,2	0,85
Етап 2 (Stage II)					
130–560	01.2002	3,5	1,0	6,0	0,2
75–130	01.2003	5,0	1,0	6,0	0,3
37–75	01.2004	5,0	1,3	7,0	0,4
18–37	01.2001	6,5	1,5	8,0	0,8
Етап 3А (Stage IIIA)					
		NO _x + C _n H _m		CO	ТЧ
130–560	01.2006	4,0		3,5	0,2
75–130	01.2007	4,0		5,0	0,3
37–75	01.2008	4,7		5,0	0,4
19–37	01.2007	7,5		5,5	0,6
Етап 3В (Stage IIIB)					
		C _n H _m	NO _x	CO	ТЧ
130–560	01.2011	0,19	2,0	3,5	0,025
75–130	01.2012	0,19	3,3	5,0	0,025
56–75	01.2012	0,19	3,3	5,0	0,025
37–56	01.2013	NO _x + C _n H _m = 4,7		5,0	0,025
Етап 4 (Stage IV)					
130–560	01.2014	0,19	0,4	3,5	0,025
56–130	10.2014	0,19	0,4	5,0	0,025

Показник навколишнього середовища визначаємо за формулою

$$F_A = \left(\frac{99}{B_1} \right) \cdot \left(\frac{T_o}{298} \right)^{1,5}, \quad (16)$$

де $B_1 = B_o - 0,01 \cdot \varphi_o \cdot P_s$. Тут B_o , T_o , φ_o – відповідно тиск в кПа, температура в К, вологість навколишнього повітря в %, а P_s – парціальний тиск насиченого водяного пару при даній T_o , кПа. При розрахунках приймаємо $P_s=3$ кПа.

Спочатку розраховуються масові викиди шкідливих речовин у г/год на кожному режимі випробувань:

$$G_{NO_{xi}} = 0,001587 \cdot W_{NO_{xi}} \cdot F_{NO_{xi}} \cdot (G_{пи} + G_{пови}); \quad (17)$$

$$G_{CO_i} = 0,000966 \cdot W_{CO_i} \cdot F_{CO_i} \cdot (G_{пи} + G_{пови}); \quad (18)$$

$$G_{C_nH_m i} = 0,000478 \cdot W_{CH_i} \cdot (G_{пи} + G_{пови}), \quad (19)$$

де $W_{NO_{xi}}$, W_{CO_i} , $W_{C_nH_m i}$ – визначені для відповідного режиму випробувань об'ємні концентрації оксидів азоту, оксиду вуглецю і сумарних вуглеводнів в ВГ в млн.⁻¹, $F_{NO_{xi}}$ і F_{CO_i} поправочні коефіцієнти на вологість для оксидів азоту і оксиду вуглецю, які розраховуються по формулам (20 і 21) для відповідного режиму випробувань, $G_{пи}$ –

витрата палива двигуном на відповідному режимі роботи в кг/год; $G_{\text{пов}}$ – витрата повітря двигуном на відповідному режимі роботи в кг/год.

Поправковий коефіцієнт на вологість для оксидів азоту

$$F_{\text{NOx}i} = \left[1 + \left(\frac{0,044G_{\text{пi}}}{G_{\text{повi}}} - 0,0038 \right) \cdot (7d - 75) + \left(0,0053 - \frac{0,116G_{\text{пi}}}{G_{\text{повi}}} \right) \cdot 1,8 \times (T_o - 302) \right]^{-1}, \quad (20)$$

де d – зміст водяних парів в повітрі на вході в пристрій для вимірювання витрати повітря, г/кг, знаходиться по формулі:

$$d = \frac{6,21 \cdot \varphi_o \cdot P_s}{B_o - 0,01 \cdot \varphi_o \cdot P_s}$$

Поправковий коефіцієнт на вологість для оксиду вуглецю

$$F_{\text{CO}i} = 1 - 1,85 \cdot \frac{G_{\text{пi}}}{G_{\text{повi}}}. \quad (21)$$

Питомі викиди шкідливих речовин ВГ дизеля у г/(кВт·год) знаходять по формулам:

$$\text{для оксидів азоту} \quad g_{\text{NOx}i} = \frac{\sum_1^8 (G_{\text{NOx}i} \cdot K_{\text{Bi}})}{\sum_1^8 (N_{ei} \cdot K_{\text{Bi}})}; \quad (22)$$

$$\text{для оксиду вуглецю} \quad g_{\text{CO}i} = \frac{\sum_1^8 (G_{\text{CO}i} \cdot K_{\text{Bi}})}{\sum_1^8 (N_{ei} \cdot K_{\text{Bi}})}; \quad (23)$$

$$\text{для сумарних вуглеводнів} \quad g_{\text{CnHmi}} = \frac{\sum_1^8 (G_{\text{CnHmi}} \cdot K_{\text{Bi}})}{\sum_1^8 (N_{ei} \cdot K_{\text{Bi}})}; \quad (24)$$

$$\text{для твердих частинок} \quad g_{\text{ТЧ}i} = \frac{\sum_1^8 (G_{\text{ТЧ}i} \cdot K_{\text{Bi}})}{\sum_1^8 (N_{ei} \cdot K_{\text{Bi}})}. \quad (25)$$

Визначення масового викиду твердих частинок на відповідному режимі випробувань проводиться згідно методики, яка викладена у практичному занятті № 4 за цими методичними вказівками.

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблицях 3, 4, 8 і на рис 1.

Порядок проведення розрахунків:

1. Визначаємо показник навколишнього середовища за формулою (16) і робимо висновок про дійсність проведених досліджень. Вихідні дані для розрахунку показника навколишнього середовища беремо з таблиці 8.

2. Визначаємо крутний момент при номінальній потужності дизеля $M_{кр\ ном}$ ($M_{кр\ ном} = \frac{9550 \cdot N_{е\ ном}}{n_{ном}}$) і $M_{кр\ max}$ ($M_{кр\ max} = 1,2 M_{кр\ ном}$). Частота обертання колінчатого валу для режиму максимального крутного моменту (проміжна) дорівнює $n_{M_{кр\ max}} = 0,7 n_{ном}$, мінімальна частота обертання на холостому ходу – $n_{xx\ min} = 0,35 n_{ном}$. За допомогою табл. 3 розраховуємо режими навантаження дизеля $M_{кр\ i}$ і за допомогою формули $N_{е\ i} = \frac{M_{кр\ i} \cdot n_i}{9550}$ ефективну потужність ($N_{е\ i}$) для кожного режиму.

3. З урахуванням відомих вихідних даних для режиму номінальної потужності, використовуючи графічні залежності наведені на рис. 5, 6, 7, 8, 9 і 10 для відповідного режиму навантаження находимо відносне і абсолютне значення годинної витрати палива у кг/год, годинної витрати повітря у кг/год, об'ємних концентрацій у відпрацьованих газах оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів у млн.⁻¹, димності відпрацьованих газів у %.

4. Для режиму мінімального холостого ходу годинна витрата палива береться як $0,06 G_{п\ (N_{е\ ном})}$ кг/год; година витрата повітря – $0,2 G_{пов\ (N_{е\ ном})}$; концентрація у ВГ оксидів азоту – $0,1 W_{NOx\ (N_{е\ ном})}$; оксиду вуглецю – $1,6 W_{CO\ (N_{е\ ном})}$; сумарних вуглеводнів – $3,0 W_{C_{nH_m}\ (N_{е\ ном})}$; димність ВГ – $0,2 N_{д\ (N_{е\ ном})}$;

5. Об'єм відпрацьованих газів знаходиться за формулою (13)

6. Визначаємо поправочні коефіцієнти на вологість для оксидів азоту і оксиду вуглецю для відповідного режиму випробувань за формулами (20 і 21).

7. Знаходимо для відповідного режиму навантажень масовий викид у г/год оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів використовуючи формули (17, 18, 19) і твердих частинок використовуючи формули (11, 12, 13, 14, 15).

8. Визначаємо питомі викиди шкідливих речовин ВГ за цикл випробувань і робимо висновок про відповідність автомобільного дизеля до вимог Правил ЄЕК ООН № 96.

Питання до практичного заняття 7:

1. Для яких за призначенням дизелів відноситься методика Правил ЄЕК ООН № 96?

2. Які режими входять до циклу випробувань згідно з Правилами ЄЕК ООН № 96, загальна кількість цих режимів ?

3. Який рівень коефіцієнтів вагомості режимів згідно з Правилами ЄЕК ООН № 96?

4. Які шкідливі речовини нормуються згідно Правил ЄЕК ООН № 96?

5. Як визначаються питомі викиди шкідливих речовин відпрацьованих газів дизеля?

Практичне заняття № 6

Оцінка викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільного дизеля по методиці Правил ЄЕК ООН № 49

Ціль роботи: Ознайомитися з методикою Правил ЄЕК ООН № 49, яка призначена для оцінки викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільного дизеля.

Теоретичні основи. Оцінку викидів ШР з відпрацьованими газами автомобільних дизелів проводять згідно методики Правил ЄЕК ООН № 49. Ця методика є нормативним документом для дизелів, які встановлюються на транспортні засоби категорій М2, М3, N3. Як і інші нормативні документи, що обумовлюють методи оцінки викидів ШР з відпрацьованими газами ДВЗ, вона визначає умови випробувань двигунів, перелік, методи вимірювань і розрахунків показників викиду ШР з ВГ та час дії нормативного документа.

Згідно з Правилами ЄЕК ООН № 49 випробування проводяться на одинадцяти усталених режимах дизеля, який встановлено на гальмівному стенді. Один з цих режимів – режим мінімального холостого ходу ($n_{xx \min}$) за цикл випробувань тричі повторюється, тому випробування за Правилами ЄЕК ООН № 49 носять назву тринадцятиступінчастого циклу. Режими циклу згідно з Правилами ЄЕК ООН № 49 наведені в таблиці 5.

Крім $n_{xx \min}$ випробування дизеля проводять на номінальному швидкісному режимі та на проміжному швидкісному режимі, який відповідає швидкісному режиму максимального крутного моменту, при навантаженнях дизеля 10, 25, 50, 75 і 100 % для кожного швидкісного режиму. Кожному з тринадцяти режимів наданий коефіцієнт вагомості згідно можливого впливу викидів ШР на навколишнє середовище при роботі дизеля на цьому режимі в експлуатації.

Таблиця 5 – Режими циклу випробувань згідно Правил ЄЕК ООН № 49

Номер режиму	Частота обертів	Навантаження, Н·м	Вагомість режиму
1	$n_{xx \min}$	0	0,25 / 3
2	проміжна	0,10 $M_{кр \max}$	0,08
3	— " —	0,25 $M_{кр \max}$	0,08
4	— " —	0,50 $M_{кр \max}$	0,08
5	— " —	0,75 $M_{кр \max}$	0,08
6	— " —	$M_{кр \max}$	0,25
7	$n_{xx \min}$	0	0,25 / 3
8	номінальна	$M_{кр \text{ ном}}$	0,10
9	— " —	0,75 $M_{кр \text{ ном}}$	0,02
10	— " —	0,50 $M_{кр \text{ ном}}$	0,02
11	— " —	0,25 $M_{кр \text{ ном}}$	0,02
12	— " —	0,10 $M_{кр \text{ ном}}$	0,02
13	$n_{xx \min}$	0	0,25 / 3

До нормованих ШР згідно Правил ЄЕК ООН № 49, як і у Правилах ЄЕК ООН № 96, віднесені оксиди азоту, оксид вуглецю, сумарні газоподібні вуглеводні і тверді частинки.

Норми викидів шкідливих речовин встановлюються відносно одиниці виконаної дизелем роботи за усередненою за цикл величиною викиду в г/(кВт·год).

Таблиця 6 – Норми викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільних дизелів згідно Правил ЄЕК ООН

Стандарти	Питомі викиди шкідливих речовин, (г/(кВт·год))				Димність, м ⁻¹
	NO _x	CO	C _n H _m	ТЧ	К _д
Євро-1 (до 01.10.1995 р.)	8,0	4,9	1,23	0,40	–
Євро-2 (з 01.10.1995 р.)	7,0	4,0	1,10	0,25	–
Євро-3 (з 01.10.2000 р.)	5,0	2,1	0,66	0,13	0,8
Євро-4 (з 2005 р.)	3,5	1,5	0,46	0,02	0,5
Євро-5 (з 2008 р.)	2,0	1,5	0,25	0,02	0,5
Євро-6 (з 2013 р., проект)	0,5	1,5	0,13	0,01	–

Результати випробувань є дійсними якщо проводяться за умовами навколишнього середовища, які не виходять за відповідні межі. Показник стану навколишнього середовища F_A повинен бути у діапазоні $0,98 \leq F_A \leq 1,02$.

Алгоритм розрахунків питомих викидів шкідливих речовин відпрацьованих газів за цикл випробувань такий же як і в практичному занятті № 5.

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблицях 5, 6, 8 і на рис 1.

Порядок проведення розрахунків:

1. Визнаємо показник навколишнього середовища за формулою (16) і робимо висновок про дійсність проведених досліджень.

2. За допомогою табл. 5 вибираємо режими навантажень. Режими $N_{e \text{ ном}}$, $M_{кр \text{ мах}}$, і $n_{xx \text{ min}}$ аналогічно до практичного завдання № 5. Розраховуємо $M_{кри}$ і N_{ei} при випробуваннях на номінальній та проміжній частотах колінчатого вала. Ефективну потужність, кВт для кожного режиму знаходимо за допомогою формули $N_{ei} = \frac{M_{кри} \cdot n_i}{9550}$.

3. З урахуванням відомих вихідних даних для режиму номінальної потужності, використовуючи графічні залежності наведені на рис. 5, 6, 7, 8, 9 і 10 для відповідного режиму навантаження находимо відносне і абсолютне значення годинної витрати палива у кг/год, годинної витрати повітря у кг/год, об'ємних концентрацій у відпрацьованих газах оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів у млн.⁻¹, димності відпрацьованих газів у %.

4. Для режиму $n_{xx \text{ min}}$ значення показників беремо аналогічно практичному завданню № 5.

5. Об'єм відпрацьованих газів знаходимо за формулою (13).

6. Визначаємо поправочні коефіцієнти на вологість для оксидів азоту і оксиду вуглецю для відповідного режиму випробувань за формулами (20 і 21).

7. Знаходимо для відповідного режиму навантажень масовий викид у г/год оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів використовуючи формули (17, 18, 19) і твердих частинок використовуючи формули (11, 12, 13, 14, 15).

8. Визначаємо питомі викиди ШР за цикл випробувань і робимо висновок про відповідність автомобільного дизеля вимогам Правил ЄЕК ООН № 49.

Питання до практичного заняття 6:

1. Для яких категорій транспортних засобів призначається методика Правил ЄЕК ООН № 49?

2. Які режими входять до циклу випробувань згідно з Правилами ЄЕК ООН № 49, загальна кількість цих режимів?

3. Що характеризує коефіцієнт вагомості режиму?

4. Які шкідливі речовини нормуються згідно Правил ЄЕК ООН № 49?

5. Для чого визначається показник навколишнього середовища?

6. Як визначаються питомі викиди шкідливих речовин ВГ дизеля?

Практичне заняття № 7

Оцінка викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами автомобільного дизеля за методиками Правил ЄЕК ООН ESC

Ціль роботи: Ознайомитися з методикою Правил ЄЕК ООН ESC, яка призначена для оцінки викидів ШР з відпрацьованими газами автомобільних дизелів.

Теоретичні основи. Останнім часом до процедури нормування показників дизелів вантажних автомобілів внесено деякі поправки. Згідно з цими поправками для визначення викидів ШР дизелів вантажних автомобілів випробування проводяться за циклом навантажень ESC. Цикл ESC – Європейський стаціонарний випробувальний цикл (European Steady State Cycle), дуже близький до наведеного в практичному занятті № 6 тринадцятиступінчатого циклу навантажень. В той же час Цикл ESC більшою мірою враховує реальні умови експлуатації дизелів вантажних автомобілів бо включає режими випробувань на трьох частотах обертання колінчастого валу, зміщених у бік низьких частот, при чотирьох рівнях крутного моменту. Всього цикл ESC включає також тринадцять режимів – дванадцять режимів роботи дизеля з навантаженням і режим холостого ходу при мінімальній частоті обертання колінчастого валу. Порівняно з циклом за Правилами ЄЕК ООН № 49 змінені і коефіцієнти вагомості режимів.

Разом з тим норми на викиди шкідливих речовин з ВГ автомобільних дизелів при випробуваннях по циклу ESC такі ж як при випробуваннях за циклом Правил ЄЕК ООН № 49 (див. табл. № 6).

Частоти обертання колінчастого валу дизеля n_A , n_B , n_C по методиці Правил ЄЕК ООН ESC визначаються із зовнішньої швидкісної характеристики як і по методиці

Правил ЄЕК ООН ERL (практичне заняття № 3). Алгоритм розрахунків питомих викидів шкідливих речовин ВГ за цикл випробувань так же як і в практичному занятті № 5.

Таблиця 7 – Режими випробувань циклу ESC

Номер режиму	Частота обертів	Навантаження, %	Вагомість режиму
1	$n_{xx \min}$	0	0,15
2	n_A	100	0,08
3	n_B	50	0,10
4	n_B	75	0,10
5	n_A	50	0,05
6	n_A	75	0,05
7	n_A	25	0,05
8	n_B	100	0,09
9	n_B	25	0,10
10	n_C	100	0,08
11	n_C	25	0,05
12	n_C	75	0,05
13	n_C	50	0,05

Вихідні дані для розрахунків наведені в таблицях 5, 7, 8, на рис. 3.

Порядок проведення розрахунків:

1. Користуючись формулами 5, 6, 7 і рис. 3 визначаємо частоти обертання колінчатого вала дизеля n_A , n_B , n_C згідно циклу випробувань за методикою Правил ЄЕК ООН ESC.

2. За допомогою таблиці 7 і рис. 3 вибираємо режими навантажень на зовнішній характеристиці і на часткових навантаженнях. Вибір режимів $N_{e \text{ ном}}$, $M_{кр \text{ max}}$, і $n_{xx \min}$ аналогічно практичному завданню № 5. Розраховуємо $M_{кри}$ і N_{ei} при випробуваннях на вибраних режимах навантажень.

3. З урахуванням відомих вихідних даних для режиму номінальної потужності, використовуючи графічні залежності наведені на рис. 5, 6, 7, 8, 9 і 10 для відповідного режиму навантаження находимо відносне і абсолютне значення годинної витрати палива у кг/год, годинної витрати повітря у кг/год, об'ємних концентрацій у відпрацьованих газах оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів у млн.^{-1} , димності відпрацьованих газів у %.

4. Для режиму мінімального холостого хода значення показників беремо аналогічно практичному завданню № 5.

5. Визначаємо поправочні коефіцієнти на вологість для оксидів азоту і оксиду вуглецю для відповідного режиму випробувань за формулами (20 і 21).

6. Об'єм відпрацьованих газів знаходиться за формулою (13)

7. Знаходимо для відповідного режиму навантажень масовий викид у г/год оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів використовуючи формули (17, 18, 19) і твердих частинок використовуючи формули (11, 12, 13, 14, 15).

8. Визначаємо питомі викиди ШР відпрацьованих газів за цикл випробувань і робимо висновок о відповідності дизеля вимогам Правил ЄЕК ООН ESC).

Питання до практичного заняття 7:

1. Чим відрізняються методики Правил ЄЕК ООН № 49 і ESC?
2. Як визначаються частоти обертання колінчатого вала дизеля n_A , n_B , n_C згідно методиці Правил ЄЕК ООН ESC?
3. Які режими за навантаженням входять до циклу випробувань згідно з Правилами ЄЕК ООН ESC, загальна кількість цих режимів ?
4. Який рівень коефіцієнтів вагомості режимів згідно з Правилами ЄЕК ООН ESC?

Таблиця 8 – Вихідні дані для розрахунків у практичних завданнях

варіант	B_o , кПа	T_o , К	φ_o , %	$n_{ном}$, хв ⁻¹	$Ne_{ном}$, кВт	G_p , кг/год	$G_{пов}$, кг/год	W_{NOx} , млн ⁻¹	W_{CO} , млн ⁻¹	W_{CH} , млн ⁻¹	N_d , %
1	101,3	298	60	2000	200	43,0	1180	630	290	150	11
2	101,1	297	64	2100	220	47,3	1340	540	350	120	12
3	99,9	295	68	2200	240	51,6	1410	710	400	170	10
4	99,9	294	72	2000	190	42,6	1270	770	370	145	5
5	101,1	292	76	2100	240	49,2	1390	700	280	130	14
6	101,3	292	80	2200	210	46,0	1300	450	290	110	9
7	101,5	292	84	2000	230	50,0	1400	500	340	165	7
8	101,7	294	86	2100	200	48,0	1280	480	390	120	9
9	101,5	296	84	2200	200	45,0	1360	575	330	160	11
10	101,3	300	80	2000	180	39,6	1090	525	320	130	6
11	101,1	302	75	2100	190	47,5	1320	650	250	130	10
12	100,9	302	70	2200	220	48,8	1360	415	200	100	9
13	100,7	301	65	2000	220	47,5	1300	550	390	140	8
14	100,6	300	55	2100	210	44,2	1370	450	350	125	10
15	100,4	298	60	2200	250	53,0	1450	750	410	155	12
16	100,2	296	70	2000	210	43,4	1250	600	470	125	8
17	100	294	71	2100	230	47,8	1430	730	400	135	13
18	99,8	296	78	2200	230	52,0	1440	560	300	115	12

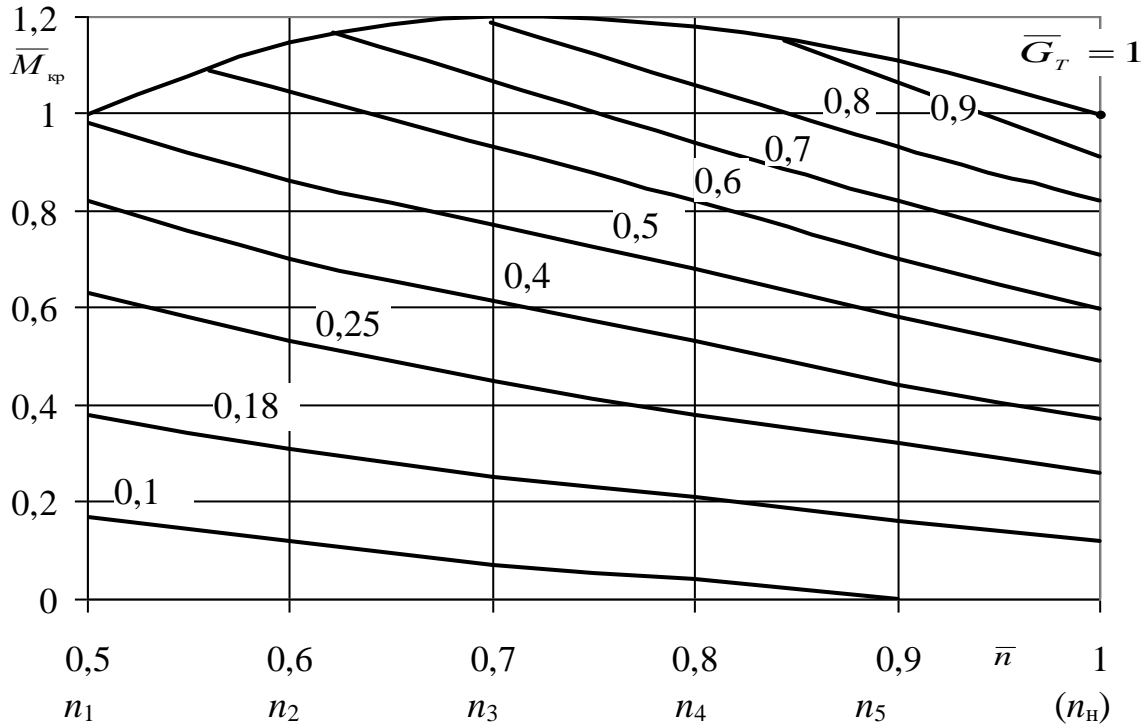


Рисунок 5 – Зміна годинної витрати палива автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

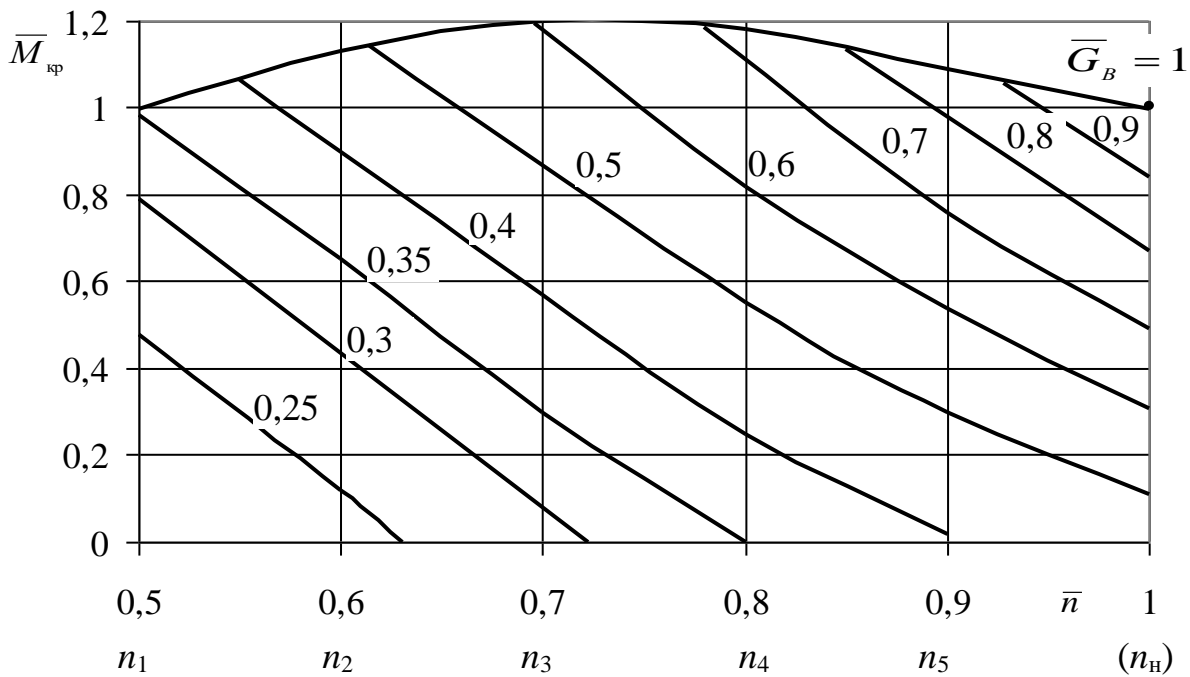


Рисунок 6 – Зміна годинної витрати повітря автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

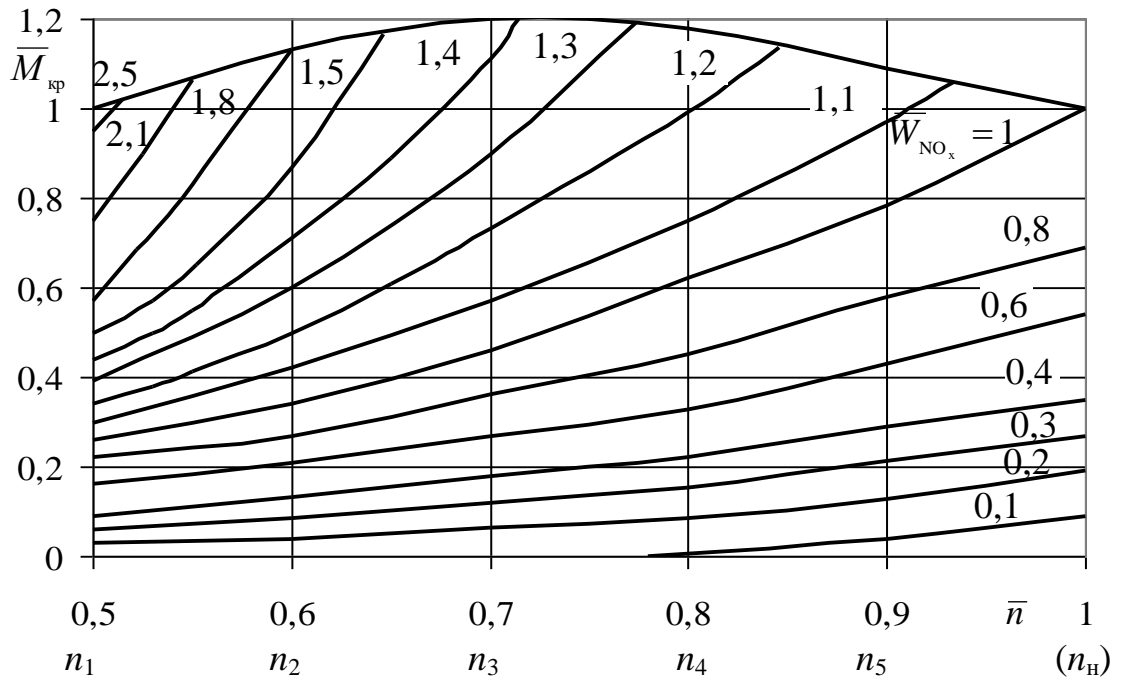


Рисунок 7 – Зміна об'ємної концентрації у відпрацьованих газах автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 оксидів азоту від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

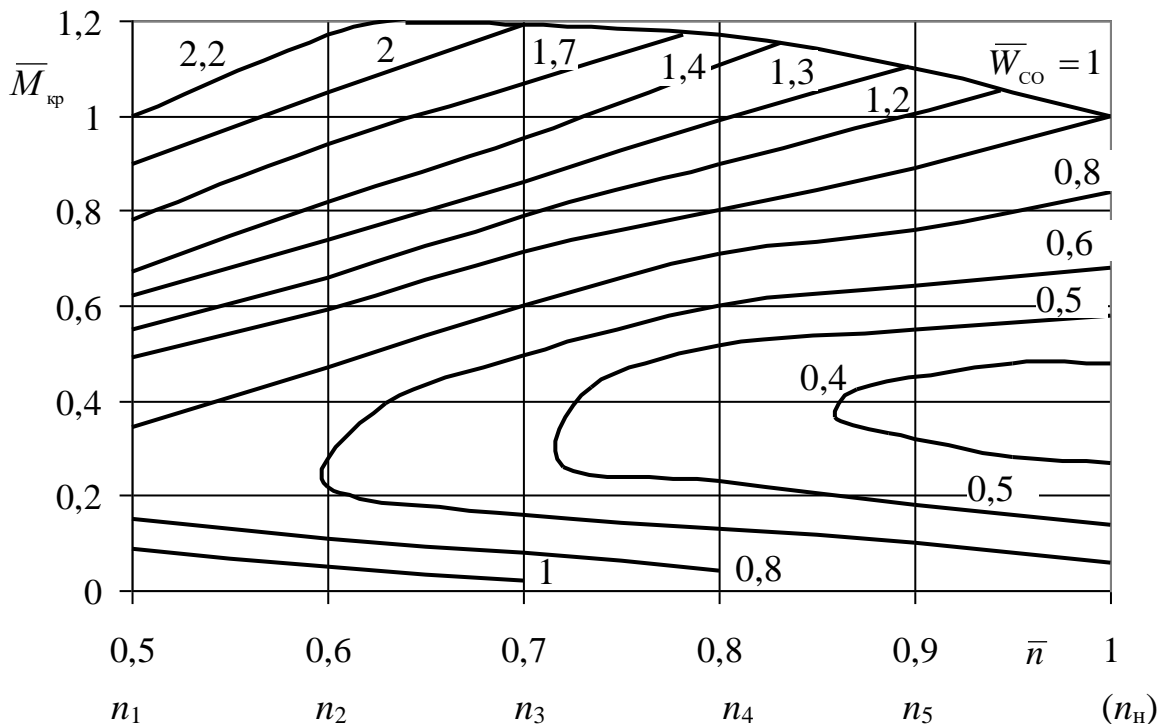


Рисунок 8 – Зміна об'ємної концентрації у відпрацьованих газах автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 оксиду вуглецю від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

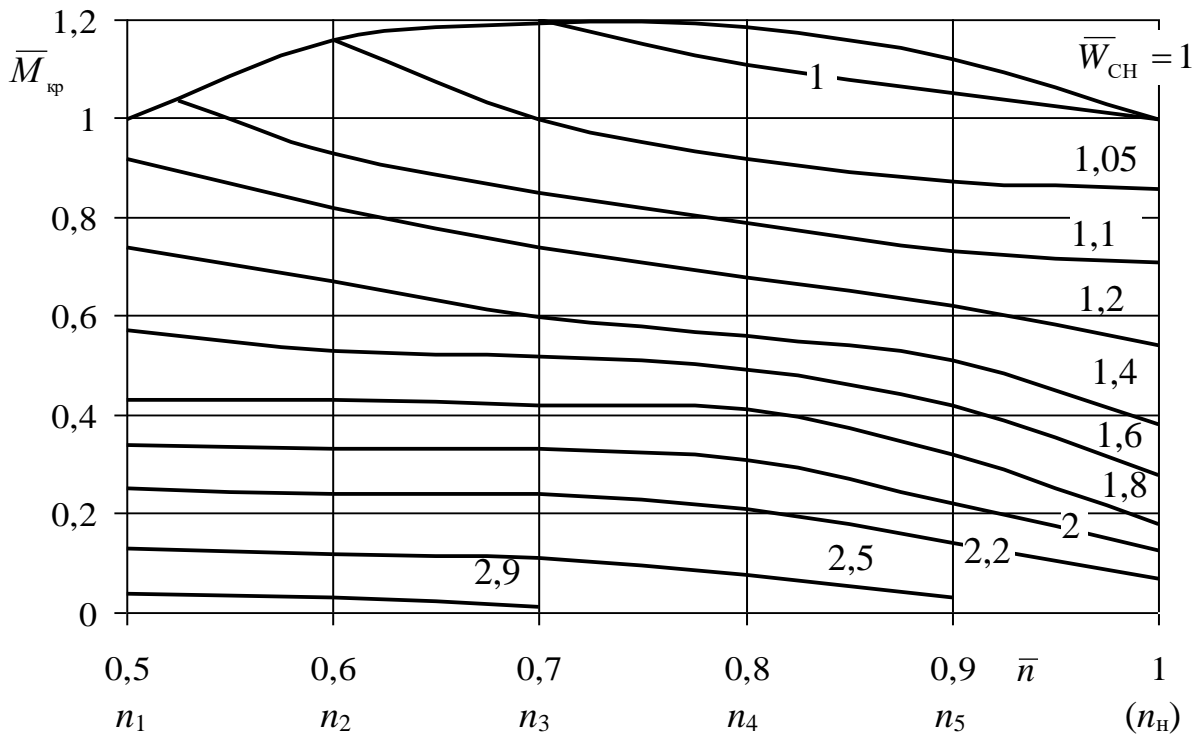


Рисунок 9 – Зміна об'ємної концентрації у відпрацьованих газах автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 сумарних вуглеводнів від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

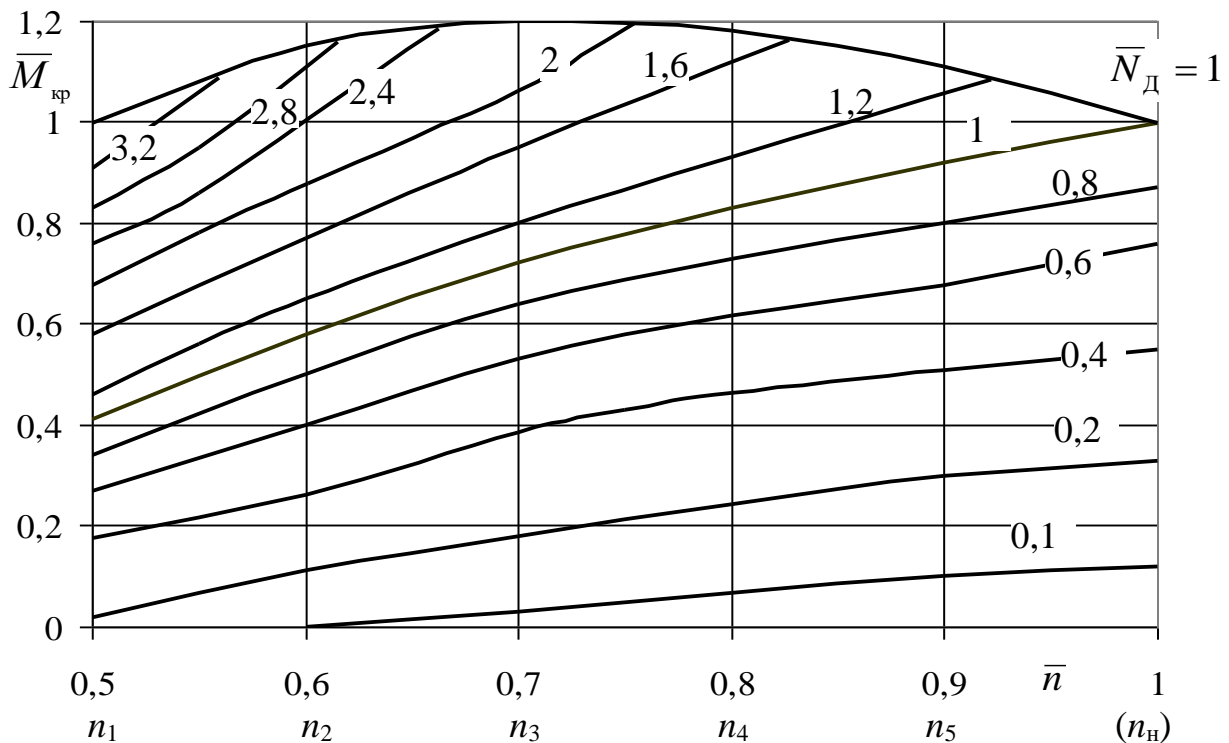


Рисунок 10 – Зміна значень димності відпрацьованих газів автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Двигуни внутрішнього згорання: серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ.– 2-е видання / За ред. А.П. Марченка / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А.Ф. ШЕХОВЦОВ. Видавничий центр НТУ «ХПІ», 2014. – 348 с.
2. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов.– М. : Машиностроение, 1981. – 160 с.
3. Парсаданов И.В. Повышение качества и конкурентоспособности дизелей на основе комплексного топливно-экологического критерия / И.В. Парсаданов. – Х. : НТУ «ХПІ», 2003. – 244 с.
4. Поливянчук А.П. Підвищення ефективності системи контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів: монографія.– Х.: ХНАДУ, 2015.– 220 с.