

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять з дисципліни**  
**«Енергозбереження в двигунах внутрішнього згорання»**  
для студентів спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування  
Кафедра «Двигуни внутрішнього згорання»

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

Харків  
НТУ «ХП»  
2017

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Енергозбереження в двигунах внутрішнього згоряння» для студентів спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування / Уклад. І.В. Парсаданов, А.П. Полів'янчук, С.Ю. Білик. – Харків: НТУ «ХП», 2017. – 29 с.

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

Рецензент О.О. Осетров

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння

## ВСТУП

У світовому двигунобудуванні одне з перших місць посідає проблема енергоефективності, що виникає при експлуатації двигунів внутрішнього згоряння. Відомо, що у промисловому енергетичному балансі розвинутих країн 70–90 % виробленої енергії приходить на ДВЗ, які використовують основну частину нафтового палива, викидають в атмосферу значну кількість невикористаної теплоти та забруднюють атмосферу токсичними речовинами відпрацьованих газів (ВГ). Тому будь-які заходи, які спрямовані на енергозбереження, поліпшення екологічних показників, підвищення технічного рівня двигунів і установок з двигунами, мають виняткову актуальність.

При розробці заходів, які спрямовані на енергозбереження у ДВЗ, необхідно вміти дати оцінку рівню шкідливих викидів (ШР), які надходять у 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 тим ці дисципліни дозволяють сформувати основи знань про загальні проблеми енергозбереження у двигунобудуванні, а також шляхи їх вирішення.

При виконанні практичних завдань перед майбутніми спеціалістами і магістрами ставиться мета закріпити знання, які вони отримали при вивченні лекційного курсу «Енергозбереження в ДВЗ», і отримати навички у розв'язанні 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 відповідно до вимог стандартів НТУ «ХП», результати розрахунків оформлюються у вигляді таблиць і графіків.

## Практичне заняття 1

### ПОБУДОВА ЗОВНІШНЬОЇ ШВИДКІСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ

*Мета роботи* – побудова зовнішньої швидкісної характеристики автотракторного дизеля з використанням вихідних даних: номінальна потужність, частота обертання колінчастого 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 колінчастого вала ( $N_e, M_{кр} = f(n)$ ) за умови повної подачі палива. Крім того, на зовнішній швидкісній характеристиці можуть бути подані 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 колінчастого вала, яка характеризується ступенем нерівномірності регулятора. У 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 частоти обертання колінчастого вала).

Коректорна зона, у 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. У сучасних автотракторних дизелях зменшення крутного моменту у зоні негативного коректування за зовнішньою швидкісною характеристикою 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, моделюванням.

Для визначення навантажувальних і швидкісних режимів, за якими проводиться оцінка екологічних показників автотракторного дизеля, якщо відомі номінальні потужність і частота обертання колінчастого вала, коефіцієнт запасу крутного моменту та частота обертання колінчастого вала, при якому він забезпечується, припу-

стимо застосування графічного методу побудови зовнішньої швидкісної характеристики.

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

- значення частоти обертання колінчастого вала і крутного моменту при номінальній потужності ( $n_{\text{НОМ}}$  і  $M_{\text{кр.м.НОМ}}$ ) дорівнює 1, а запас крутного моменту ( $K_{з\text{кр.м}} = M_{\text{кр.м.макс}} / M_{\text{кр.м.НОМ}}$ ) складає 1,2, при частоті обертання колінчастого вала  $0,7 n_{\text{НОМ}}$ ;

- мінімальна частота обертання колінчастого 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 колінчастого вала  $n_{\text{макс}}$  на холостому ходу ( $M_{\text{кр}} = 0$ ) складає  $1,1 n_{\text{НОМ}}$ ;

- на швидкісному режимі  $0,6 n_{\text{НОМ}}$  крутний момент становить  $1,15 M_{\text{кр.НОМ}}$ , на швидкісному режимі  $0,8 n_{\text{НОМ}}$  крутний момент буде  $1,18 M_{\text{кр.НОМ}}$ , і на швидкісному режимі  $0,9 n_{\text{НОМ}}$  крутний момент становить  $1,1 M_{\text{кр.НОМ}}$ .

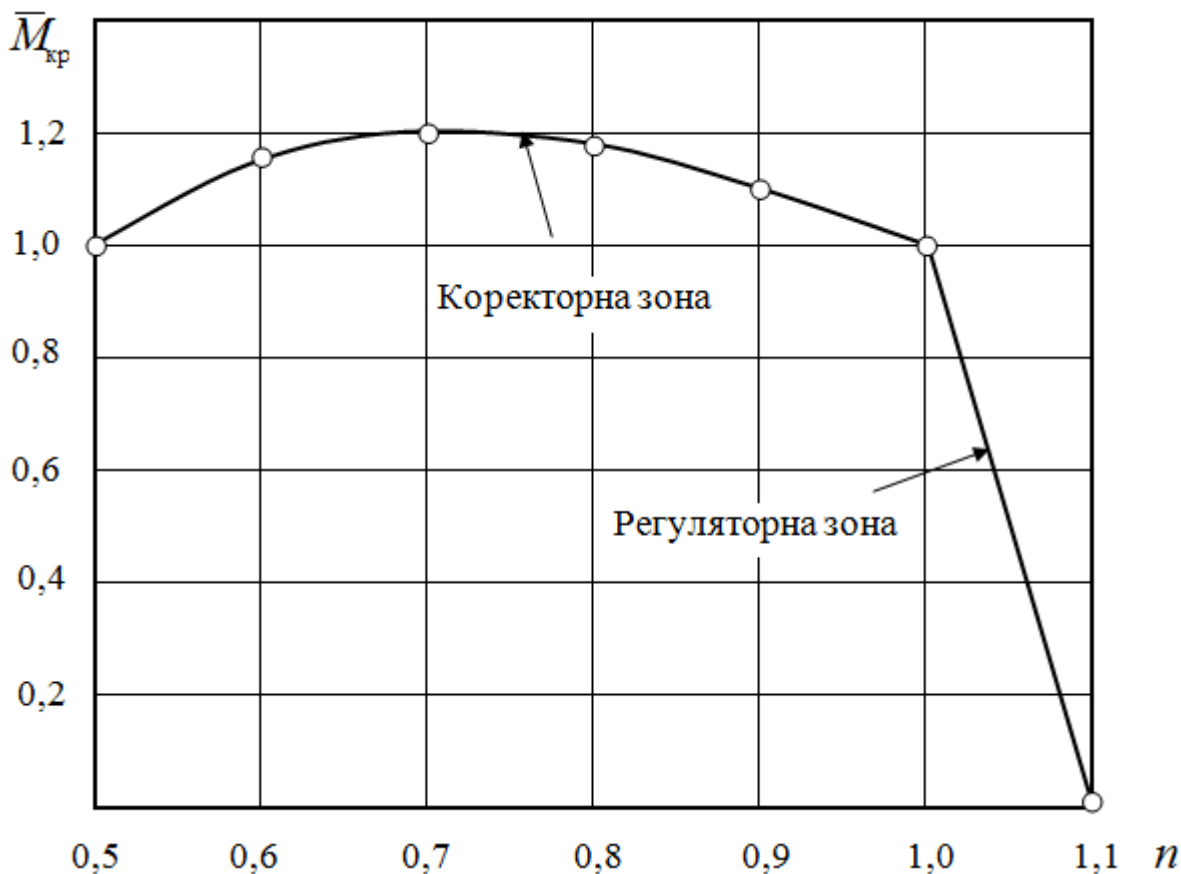


Рисунок 1 – Зміна крутного моменту на зовнішній швидкісній характеристиці автотракторного дизеля у відносному вигляді

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

Порядок виконання практичного заняття. Результати розрахунків зовнішньої швидкісної характеристики відповідно до вихідних даних наводимо у табличному і

графічному вигляді. Крутний момент дизеля  $M_{\text{кр ном}}$  у Н · м, якщо відомі  $N_{e \text{ ном}}$ , кВт, та  $n_{\text{ном}}$ ,  $\text{хв}^{-1}$ , знаходимо за формулою

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

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, наведеної на рис. 1,  $M_{\text{кр.м max}}$ ,  $n_{\text{кр.м max}}$ ,  $n_{\text{min}}$ ,  $M_{\text{кр}}$  при  $n_{\text{min}}$ ,  $n_{\text{max}}$ ,  $M_{\text{кр}}$  на швидкісних режимах  $0,6 n_{\text{ном}}$ ,  $0,8 n_{\text{ном}}$  і  $0,9 n_{\text{ном}}$ .

*Контрольні запитання:*

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 у 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. Визначити 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 ЗА МЕТОДИКОЮ ПРАВИЛ ЄЕК ООН № 24-03

*Мета 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  $K_d$ ,  $\text{м}^{-1}$ , що дорівнює 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 про-

ходженні їм робочої труби димоміра внаслідок поглинання і розсіювання світла відпрацьованими газами. Взаємозв'язок  $K_d$  і  $N_d$  встановлюється за формулами:

$$K_d = \frac{-\ln \cdot \left(1 - \frac{N_d}{100}\right)}{L}, \quad (2)$$

$$N_d = 100 (1 - e^{-KL}). \quad (3)$$

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

Випробування на ustalених режимах при повній подачі палива проводиться за шістьма режимами зовнішньої швидкісної характеристики у діапазоні від номінальної до мінімальної розрахункової частот обертання колінчастого 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 колінчастого вала визначається як більша з двох: 0,45 від  $n_{\text{НОМ}}$  або  $1000 \text{ хв}^{-1}$ .

Для кожного з шести швидкісних режимів розраховують умовну витрату ВГ, у  $\text{дм}^3/\text{с}$ , 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,  $\text{дм}^3$ ;  $n$  – частота обертання колінчастого вала на відповідному швидкісному режимі,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $\tau$  – тактність дизеля.

На рис. 2 наведена характерна відносна зміна коефіцієнта ослаблення світлового потоку  $N_d$  за зовнішньою швидкісною характеристикою автотракторного дизеля для визначених відповідно до вимог правил ЄЕК ООН № 24-03 ustalених шести режимів вимірювання димності ВГ.

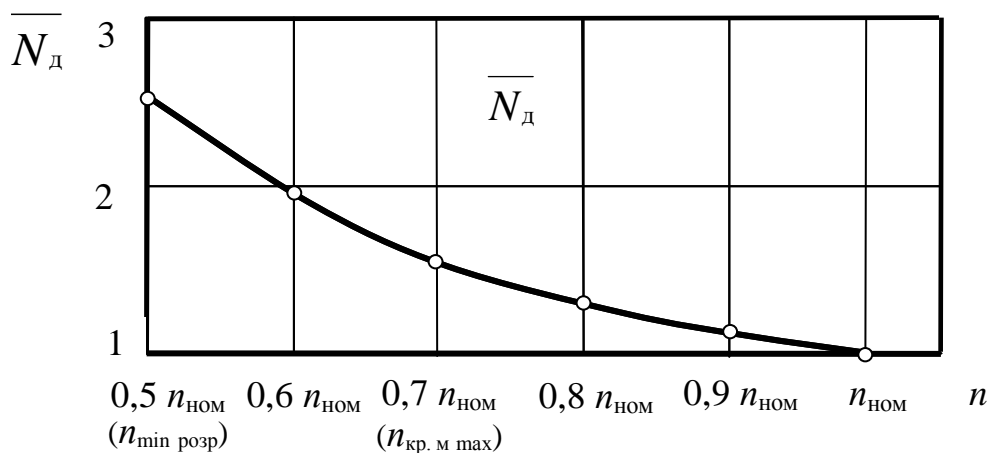


Рисунок 2 – Відносна зміна коефіцієнту ослаблення світлового потоку  $N_d$  за зовнішньою характеристикою автотракторного дизеля при повній подачі палива

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 ( $Q_{ВГ}$ ) і знаходиться у межах  $1,065 \dots 2,26 \text{ м}^{-1}$ , при витраті ВГ понад  $200 \text{ дм}^3/\text{с}$ , та коли витрата становить менше або дорівнює  $42 \text{ дм}^3/\text{с}$  відповідно (див. табл. 1).

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

Допустиме значення  $K_d$  для дизелів з газотурбінним наддувом у режимі вільного прискорення не повинно перевищувати більше ніж на  $0,5 \text{ м}^{-1}$  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, ( $\text{дм}^3/\text{с}$ )	Натуральний показник послаблення світлового потоку, $K_d$ ( $\text{м}^{-1}$ )	Умовна витрата ВГ, ( $\text{дм}^3/\text{с}$ )	Натуральний показник послаблення світлового потоку, $K_d$ ( $\text{м}^{-1}$ )
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 у 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 за зовнішньою характеристикою, на яких будемо оцінювати димність ВГ дизеля відповідно до правил ЄЕК ООН № 24-03. Використовуючи формулу (4) і табл. 1, знаходимо граничні значення натурального показника ослаблення світлового потоку  $K_d$ ,  $\text{м}^{-1}$ , для умовних витрат ВГ для кожного швидкісного режиму. Розраховуємо коефіцієнт ослаблення світлового потоку  $N_d$ , %, для кожного швидкісного режиму (формула (3)).

2. Використовуючи значення коефіцієнта ослаблення світлового потоку  $N_d$  для



режиму  $M_{кр. ном}$  і відносну зміну коефіцієнта ослаблення світлового потоку  $N_d$  за зовнішньою характеристикою цього дизеля при повній подачі палива (рис. 2), знаходимо значення  $N_d$  для кожного швидкісного режиму. Розраховуємо коефіцієнт ослаблення світлового потоку  $K_d, м^{-1}$ , для кожного швидкісного режиму (формула (2)).

3. Порівнюємо граничні значення натурального показника ослаблення світлового потоку і визначені значення та робимо висновок про відповідність автомобільного дизеля 6СН12/14 вимогам Правил ЄЕК ООН № 24-03. Результати проведених розрахункових досліджень оформлюємо у вигляді таблиць і графіків.

#### *Контрольні запитання*

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 ЗА МЕТОДИКОЮ ПРАВИЛ ЄЕК ООН ERL**

*Мета 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 ELR. Згідно з цією методикою дизелі випробуються за спеціальним циклом. Цикл ELR – Європейський навантажувальний цикл (European Load Response Test) – проводиться при динамічному навантаженні дизеля на трьох частотах обертання колінчастого 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.

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

Таблиця 2 – Норми димності ВГ дизелів вантажних автомобілів при випробуваннях за методикою Правил ЄЕК ООН ERL

Стандарти	Димність, $\text{м}^{-1}, K_d$
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

На рис. 3 у відносному вигляді наведена узагальнена зміна ефективної потужності на зовнішній швидкісній характеристиці автомобільного дизеля при виконанні умов, прийнятих при побудові характеристики у практичному завданні 1 (рис. 1).

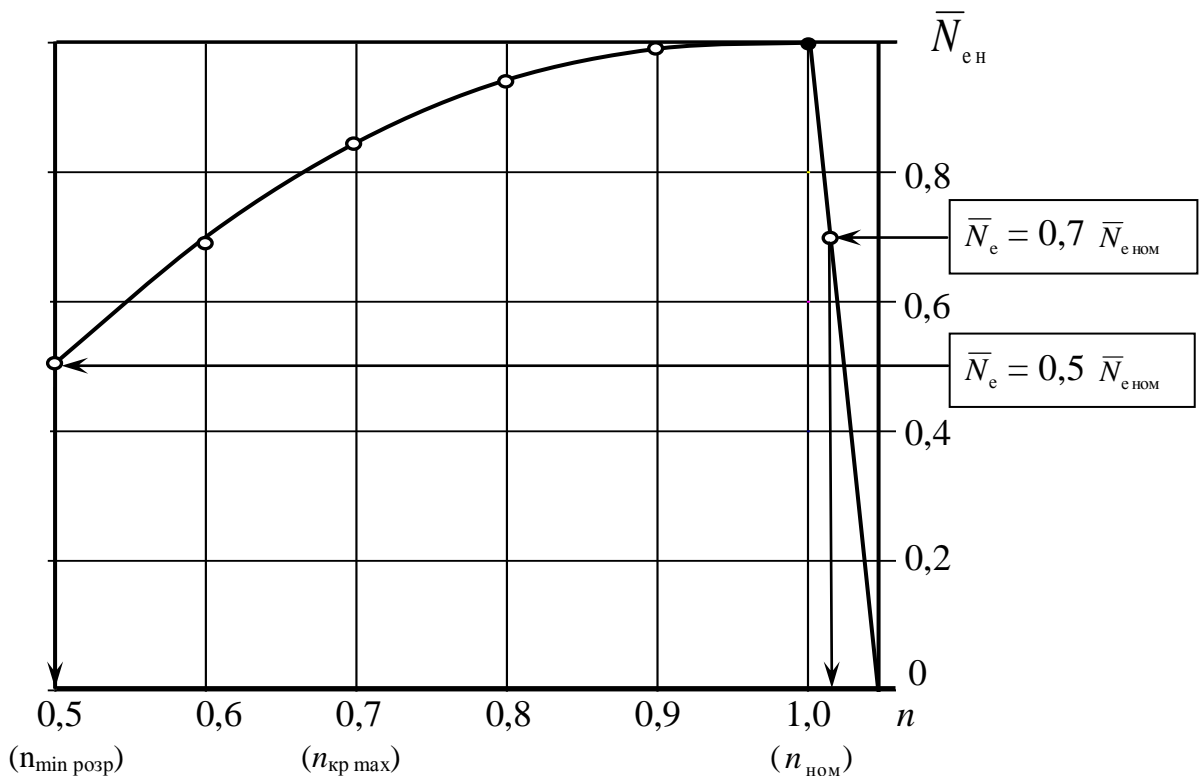


Рисунок 3 – Зміна ефективної потужності за зовнішньою швидкісною характеристикою автомобільного дизеля у відносному вигляді

Значення частот обертання колінчастого вала дизеля  $n_A, n_B, n_C$ , на яких визначається димність ВГ, згідно з методикою 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 колінчастого 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 у табл. 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 за зовнішньою швидкісною характеристикою при частотах обертання колінчастого 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 у табличному і графічному вигляді 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 колінчастого вала дизеля  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  згідно з циклом випробувань за методикою Правил ЄЕК ООН ERL.

3. Користуючись одержаною при виконанні практичного завдання 2 залежністю зміни коефіцієнта ослаблення світлового потоку  $N_d$  за зовнішньою характеристикою дизеля при повній подачі палива, знаходимо 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 до циклу ELR димність ВГ відносно максимального значення коефіцієнта ослаблення світлового потоку, %, зростає в 1,3 рази для швидкісного режиму  $n_A$ , у 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 ELR (табл. 2).

*Контрольні запитання*

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

2. Рівень коефіцієнта ослаблення світлового потоку  $K_d$ ,  $\text{м}^{-1}$ , за нормами ЄВРО.

3. Як розраховуються значення частот обертання колінчастого вала, на яких визначається димність ВГ згідно з методикою Правил ЄЕК ООН ERL.

4. Як розраховується значення димності ВГ згідно з Правилами ЄЕК ООН ELR для визначення відповідності автомобільного дизеля цьому нормативу?

## Практичне заняття 4

### РОЗРАХУНОК ВИКИДІВ ТВЕРДИХ ЧАСТИНОК ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИМІРЮВАНЬ ГАЗОПОДІБНИХ ВУГЛЕВОДНІВ ТА ДИМНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗІВ

*Мета 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 твердій фазах та 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 ( $C_n H_m$ ) 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  $> 190$  °С та трансформується з газоподібного у рідкий і твердий стани при температурі  $52$  °С (температура реєстрації їх на фільтрах) та 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.

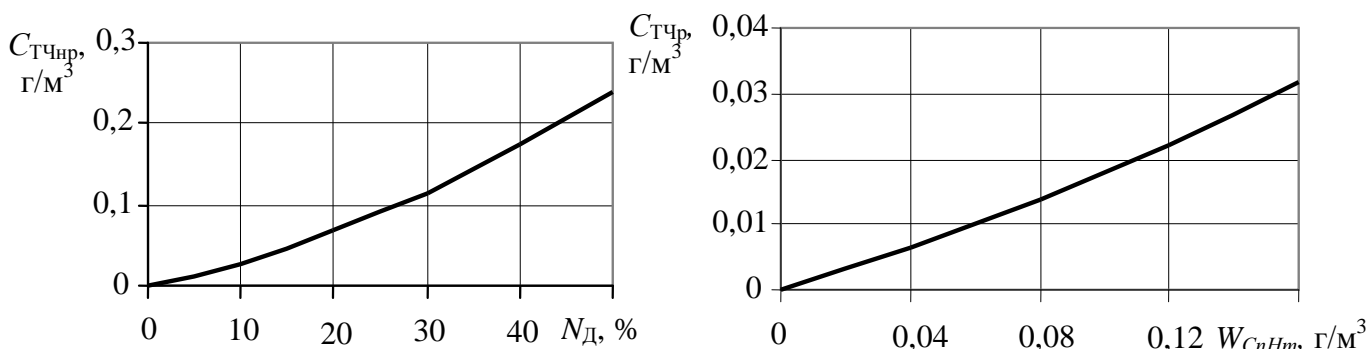


Рисунок 4 – Залежності викидів нерозчинних ТЧ від димності ВГ і розчинних ТЧ від концентрації сумарних газоподібних вуглеводнів у ВГ для дизеля 6ЧН12/14

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

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

де  $C_{ТЧ\text{нр}}$  – концентрація нерозчинних ТЧ у ВГ, г/м<sup>3</sup>;  $N_d$  – димність ВГ, %.

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

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

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

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

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

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

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

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

Потім визначається об'ємна витрата двигуном сухих ВГ на відповідному режимі роботи,  $\text{м}^3/\text{год}$ :

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

і далі знаходимо об'ємну концентрацію газоподібних вуглеводнів у ВГ двигуна на відповідному режимі роботи,  $\text{г/м}^3$ :

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

Якщо треба знайти масовий викид ТЧ,  $\text{г/год}$ , то використовують концентрацію ТЧ,  $\text{г/м}^3$ , 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 у 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 ( $N_{e \text{ ном}}$ ).

Визначаємо масовий викид газоподібних вуглеводнів,  $\text{г/год}$ , за формулою (12), відповідні значення  $W_{\text{CnHm}}$ ,  $G_{\text{п}}$  і  $G_{\text{пов}}$  беремо з табл. 8. Визначаємо об'ємну витрату

відпрацьованих газів, м<sup>3</sup>/год, за формулою (13) і знаходимо об'ємну концентрацію газоподібних вуглеводнів у ВГ двигуна (г/м<sup>3</sup>) за формулою (14).

Визначаємо об'ємну концентрацію твердих частинок у ВГ дизеля на режимі номінальної ефективної потужності (г/м<sup>3</sup>), використовуючи значення димності ВГ із вихідних даних (табл. 8) та формулу (11).

#### *Контрольні запитання*

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 мають 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 ЗА МЕТОДИКОЮ ПРАВИЛ ЄЕК ООН № 96**

*Мета 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 з методикою 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 у 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 з можливим впливом цього режиму на навколишнє середовище за рахунок викидів шкідливих речовин з ВГ при роботі дизеля в експлуатації.

До нормованих ШР згідно з Правилами ЄЕК ООН № 96 належать 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, г/(кВт · год).

Таблиця 3 – Режими циклу випробувань згідно з Правилами 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	$C_nH_m$	$NO_x$	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)					
		$NO_x + C_nH_m$		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)					
		$C_nH_m$	$NO_x$	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	$NO_x + C_nH_m = 4,7$		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

$$F_A = \left( \frac{99}{B_1} \right) \cdot \left( \frac{T_0}{298} \right)^{1,5}, \quad (16)$$

де  $B_1 = B_0 - 0,01 \cdot \varphi_0 \cdot P_s$ . Тут  $B_0$ ,  $T_0$ ,  $\varphi_0$  – відповідно тиск, кПа, температура, К, вологість навколишнього повітря, %, а  $P_s$  – парціальний тиск насиченого водяного пару при даній  $T_0$ , кПа. При розрахунках беремо  $P_s = 3$  кПа.

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

$$G_{NOxi} = 0,001587 \cdot W_{NOxi} \cdot F_{NOxi} \cdot G_{\text{пi}} + G_{\text{повi}}; \quad (17)$$

$$G_{COi} = 0,000966 \cdot W_{COi} \cdot F_{COi} \cdot G_{\text{пi}} + G_{\text{повi}}; \quad (18)$$

$$G_{CnHmi} = 0,000478 \cdot W_{CHi} \cdot G_{\text{пi}} + G_{\text{повi}}, \quad (19)$$

де  $W_{NOxi}$ ,  $W_{COi}$ ,  $W_{CnHmi}$  – визначені для відповідного режиму випробувань об'ємні концентрації оксидів азоту, оксиду вуглецю і сумарних вуглеводнів у ВГ,  $\text{млн}^{-1}$ ,  $F_{NOxi}$  і  $F_{COi}$  поправкові коефіцієнти на вологість для оксидів азоту і оксиду вуглецю, які розраховуються за формулами (20 і 21) для відповідного режиму випробувань;  $G_{\text{пi}}$  – витрата палива двигуном на відповідному режимі роботи, кг/год;  $G_{\text{повi}}$  – витрата повітря двигуном на відповідному режимі роботи, кг/год.

Поправковий коефіцієнт на вологість для оксидів азоту

$$F_{NOxi} = \left[ 1 + \left( \frac{0,044G_{\text{пi}}}{G_{\text{повi}}} - 0,0038 \right) \cdot 7d - 75 + \left( 0,0053 - \frac{0,116G_{\text{пi}}}{G_{\text{повi}}} \right) \cdot 1,8 \times T_0 - 302 \right]^{-1}, \quad (20)$$

де  $d$  – зміст водяних парів у повітрі на вході в пристрій для вимірювання витрати повітря, г/кг, знаходиться за формулою

$$d = \frac{6,21 \cdot \varphi_0 \cdot P_s}{B_0 - 0,01 \cdot \varphi_0 \cdot P_s}.$$

Поправковий коефіцієнт на вологість для оксиду вуглецю

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

Питомі викиди шкідливих речовин ВГ дизеля, г/(кВт · год) знаходять за формулами:

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



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

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

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

Визначення масового викиду твердих частинок на відповідному режимі випробувань проводиться згідно з методикою, яка викладена у практичному занятті 4 за цими методичними вказівками.

Вихідні дані для розрахунків наведені у табл. 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 табл. 8.

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

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

4. Для режиму мінімального холостого ходу годинна витрата палива береться як  $0,06 G_{п} (N_{e\ ном})$ , кг/год; година витрата повітря –  $0,2 G_{пов} (N_{e\ ном})$ ; концентрація у ВГ

оксидів азоту –  $0,1 W_{NOx} (N_{e \text{ ном}})$ ; оксиду вуглецю –  $1,6 W_{CO} (N_{e \text{ ном}})$ ; сумарних вуглеводнів –  $3,0 W_{CnHm} (N_{e \text{ ном}})$ ; димність ВГ –  $0,2 N_d (N_{e \text{ ном}})$ .

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

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

7. Знаходимо для відповідного режиму навантажень масовий викид, 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.

#### *Контрольні запитання*

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 з Правилами 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 ЗА МЕТОДИКОЮ ПРАВИЛ ЄЕК ООН № 49**

*Мета 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 з методикою 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 ustalених режимах дизеля, який встановлено на гальмівному стенді. Один з цих режимів – режим мінімального холостого ходу ( $n_{xx \text{ min}}$ ) за цикл випробувань тричі по-

вторюється, тому випробування за Правилами ЄЕК ООН № 49 носять назву тринадцятиступінчастого циклу. Режими циклу згідно з Правилами ЄЕК ООН № 49 наведені у табл. 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 з можливим впливом викидів ШР на навколишнє середовище при роботі дизеля на цьому режимі в експлуатації.

Таблиця 5 – Режими циклу випробувань згідно з Правилами 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 з Правилами ЄЕК ООН № 49, як і у Правилах ЄЕК ООН № 96, належать оксиди азоту, оксид вуглецю, сумарні газоподібні вуглеводні і тверді частинки.

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

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

Стандарти	Питомі викиди шкідливих речовин, (г/(кВт · год))				Димність, $M^{-1}$ $K_d$
	$NO_x$	$CO$	$C_nH_m$	ТЧ	
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 у практичному занятті 5.

*Вихідні дані для розрахунків* наведені у табл. 5, 6, 8 і на рис. 1.

#### *Порядок проведення розрахунків*

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

2. За допомогою табл. 5 вибираємо режими навантажень. Режими  $N_{e \text{ ном}}$ ,  $M_{\text{кр max}}$ , і  $n_{\text{xx min}}$  – аналогічно до практичного завдання 5. Розраховуємо  $M_{\text{кри}}$  і  $N_{e_i}$  при випробуваннях на номінальній та проміжній частотах колінчастого вала. Ефективну потужність, кВт, для кожного режиму знаходимо за допомогою формули

$$N_{e_i} = \frac{M_{\text{кри}} \cdot n_i}{9550}.$$

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 знаходимо відносне і абсолютне значення годинної витрати палива, кг/год, годинної витрати повітря, кг/год, об'ємних концентрацій у відпрацьованих газах оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів,  $\text{млн}^{-1}$ , щільності відпрацьованих газів, %.

4. Для режиму  $n_{\text{xx min}}$  значення показників беремо аналогічно практичному завданню 5.

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

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

7. Знаходимо для відповідного режиму навантажень масовий викид, 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.

#### *Контрольні запитання*

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 з Правилами 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

*Мета 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  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  за методикою Правил ЄЕК ООН ESC визначаються із зовнішньої швидкісної характеристики, як і за методикою Правил ЄЕК ООН ERL (практичне заняття 3). Алгоритм розрахунків питомих викидів шкідливих речовин ВГ за цикл випробувань такий 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 табл. 5, 7, 8, на рис. 3.

#### Порядок проведення розрахунків

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

2. За допомогою табл. 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  $n_{xx\text{ min}}$  аналогічно практичному завданню 5. Розраховуємо  $M_{крi}$  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, кг/год, годинної витрати повітря, кг/год, об'ємних концентрацій у відпрацьованих газах оксидів азоту, оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів,  $\text{млн}^{-1}$ , димності відпрацьованих газів, %.

4. Для режиму мінімального холостого ходу значення показників беремо аналогічно практичному завданню 5.

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

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

7. Знаходимо для відповідного режиму навантажень масовий викид, 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 про відповідність дизеля вимогам Правил ЄЕК ООН ESC).

#### Контрольні запитання

1. Чим відрізняються методики Правил ЄЕК ООН № 49 і ESC?

2. Як визначаються частоти обертання колінчастого вала дизеля  $n_A$ ,  $n_B$ ,  $n_C$  згідно з методикою 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	$\varphi_o$ , %	$n_{ном_1}$ хв. <sup>-1</sup>	$Ne_{ном}$ , кВт	$G_p$ , кг/год	$G_{пов}$ , кг/год	$W_{NOx_1}$ , млн <sup>-1</sup>	$W_{CO_2_1}$ , млн <sup>-1</sup>	$W_{CH_4_1}$ , млн <sup>-1</sup>	$N_d$ , %
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

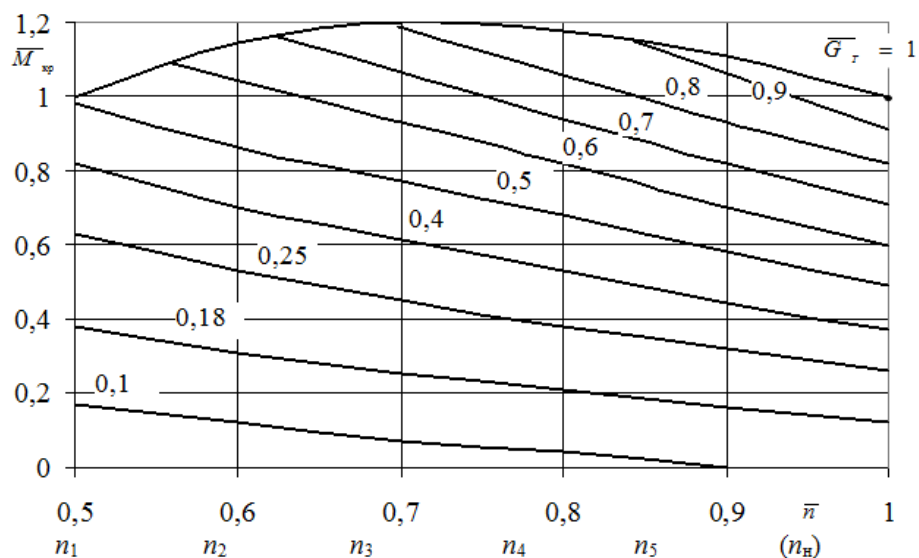


Рисунок 5 – Зміна годинної витрати палива автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

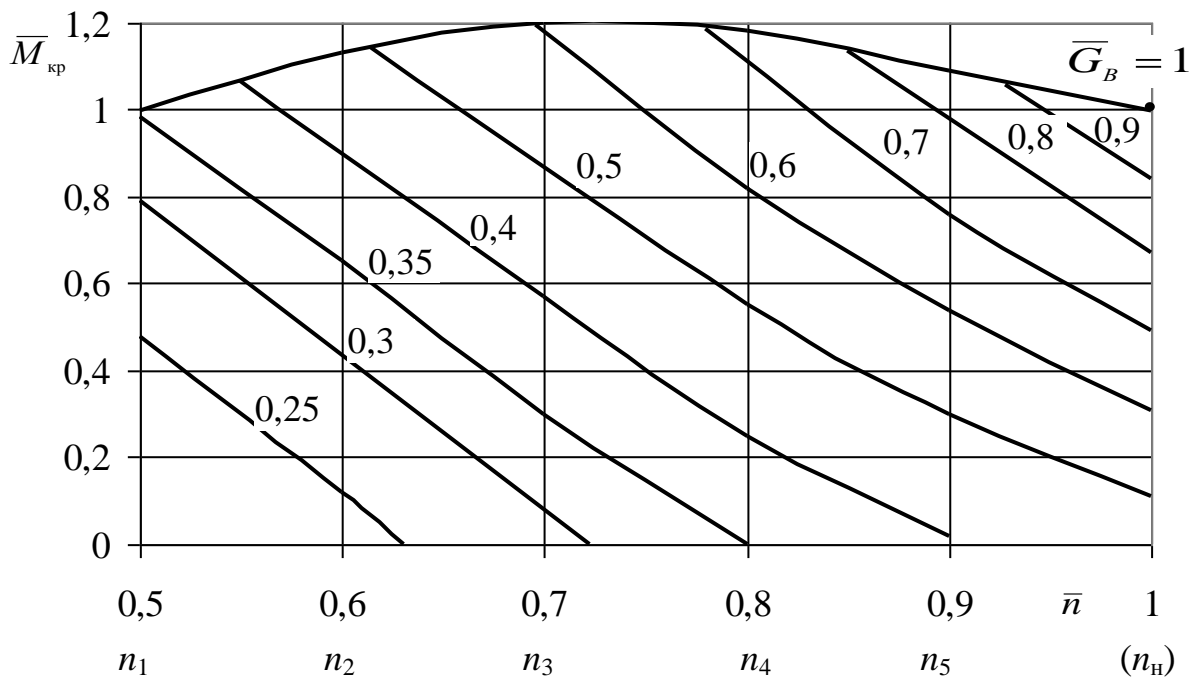


Рисунок 6 – Зміна годинної витрати повітря автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

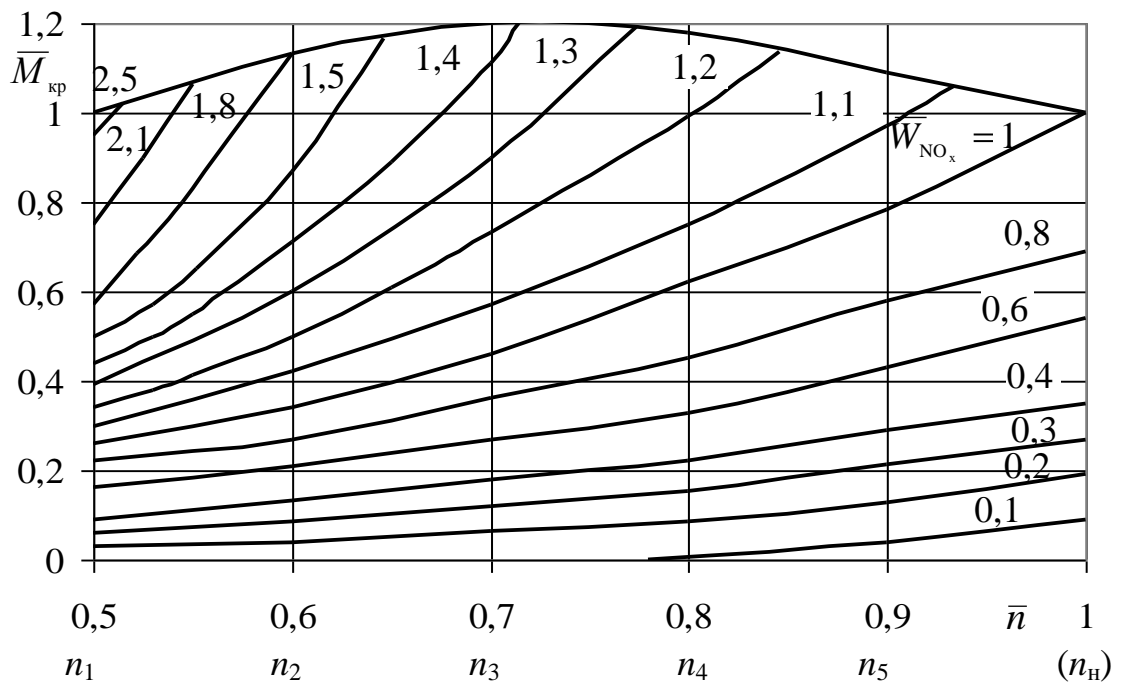


Рисунок 7 – Зміна об'ємної концентрації у відпрацьованих газах автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 оксидів азоту від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді



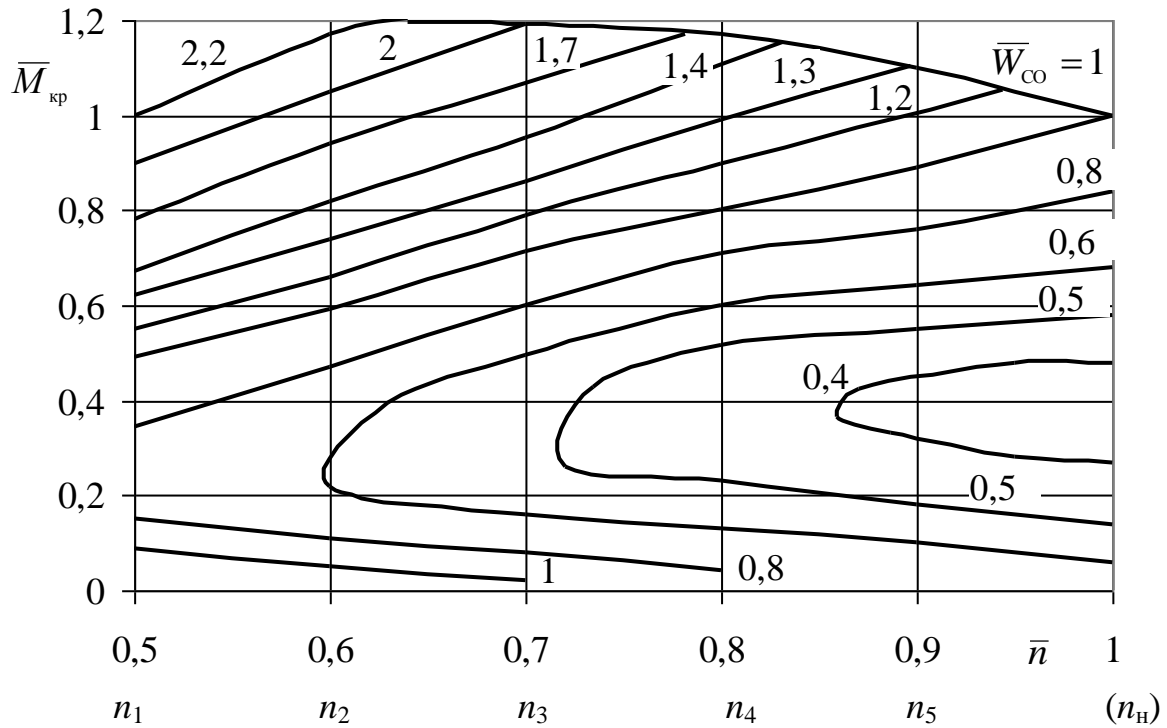


Рисунок 8 – Зміна об'ємної концентрації у відпрацьованих газах автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 оксиду вуглецю від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

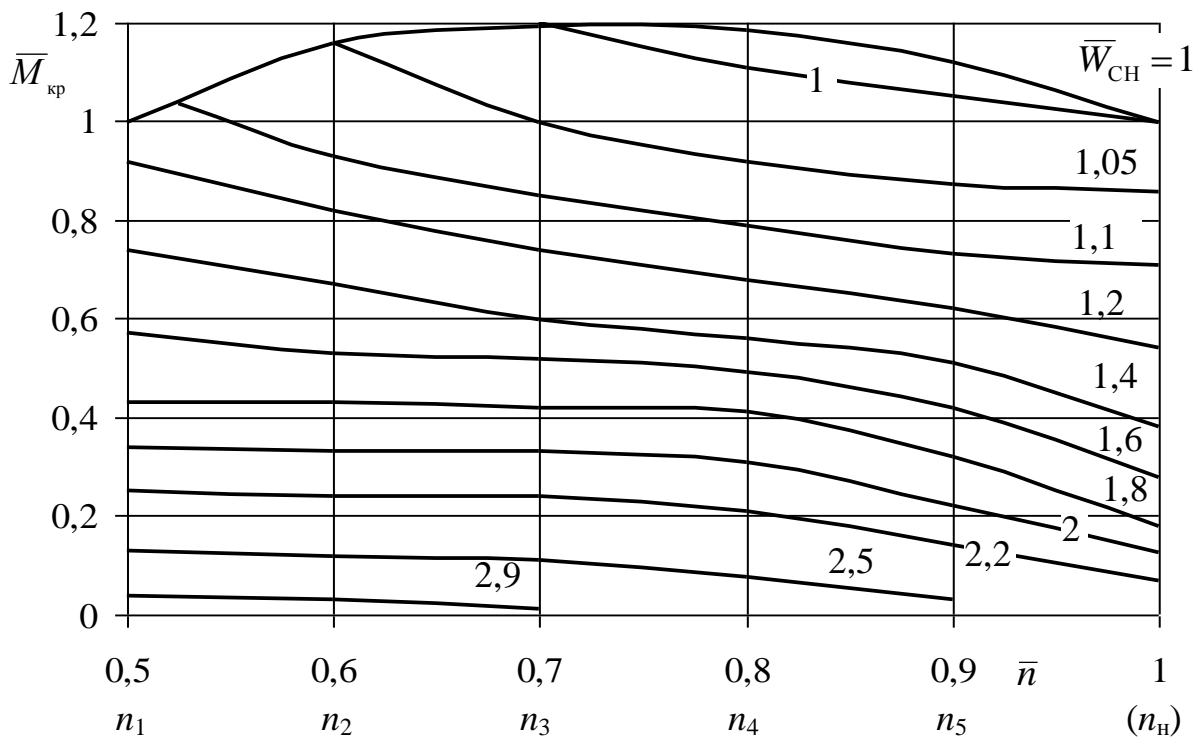


Рисунок 9 – Зміна об'ємної концентрації у відпрацьованих газах автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 сумарних вуглеводнів від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

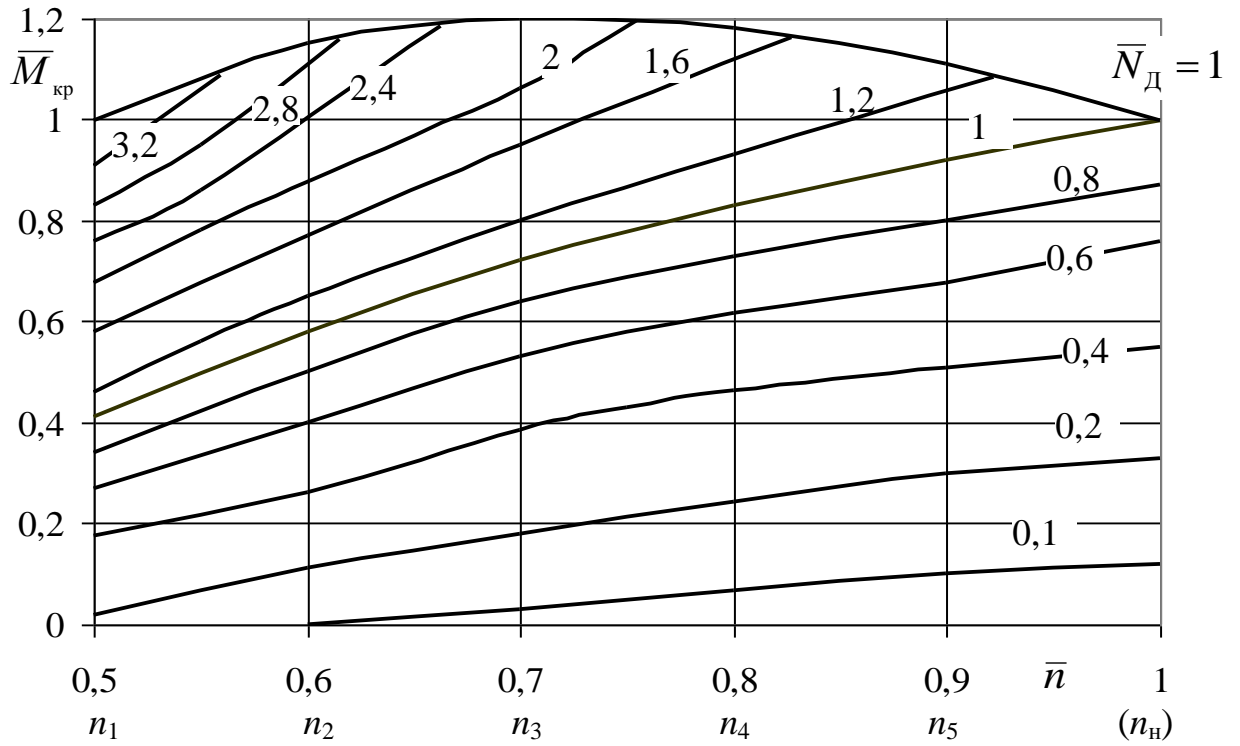


Рисунок 10 – Зміна значень димності відпрацьованих газів автотракторного дизеля 6ЧН 12/14 від навантаження і частоти обертання колінчастого вала у відносному вигляді

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Двигуни внутрішнього згоряння: серія підручників у 6 томах. Т. 5. Екологізація ДВЗ – 2-е видання / А.П. Марченко, І.В. Парсаданов, Л.Л. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ, А.Ф. ШЕХОВЦОВ, за ред. А.П. Марченка – Харків: 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. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2003. – 244 с.
4. Поливянчук А.П. Підвищення ефективності системи контролю викидів твердих частинок з відпрацьованими газами дизелів: монографія.– Харків: ХНАДУ, 2015.– 220 с.

Навчальне видання

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до практичних занять з дисципліни «Енергозбереження в двигунах внутрішнього згоряння» для студентів спеціальності 142 – Енергетичне машинобудування

Укладачі: І.В. ПАРСАДАНОВ,  
А.П. ПОЛІВ'ЯНЧУК  
С.Ю. БЛИК.

Відповідальний за випуск проф. В.О. Пильов

Роботу до видання рекомендував проф. В.Р. Мандрика

В авторській редакції

План 2016 р., поз. 149

Підписано до друку . Формат 60x84<sup>1/16</sup>. Папір офсетний.  
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 1,8.  
Наклад 50 прим. Зам. № . Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №3657 від 24.12.2009 р.  
61002, Харків, вул. Кирпичова, 2.

---

Друкарня НТУ «ХП». 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2