



## **ЕКОЛОГІЯ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ**

**Методичні вказівки до лабораторних занять для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти освітньої програми «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)» галузь знань 27 Транспорт та освітньої програми 274 «Автомобільний транспорт» денної і заочної форм навчання**

До друку \_\_\_\_\_ Голова Навчально-методичної ради Луцького НТУ  
(підпис)

Електронна копія друкованого видання передана для внесення в репозитарій  
Луцького НТУ \_\_\_\_\_ директор бібліотеки.  
(підпис)

Затверджено Навчально-методичною радою Луцького НТУ,  
протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року.

Рекомендовано до видання Навчально-методичною радою машинобудівного  
факультету Луцького НТУ, протокол №\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року.  
\_\_\_\_\_ Голова навчально-методичної ради машинобудівного  
факультету  
(підпис)

Розглянуто і схвалено на засіданні кафедри автомобілів і транспортних  
технологій Луцького НТУ, протокол №\_\_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 20\_\_ року.

Укладач: \_\_\_\_\_ В.В. Стельмащук, кандидат технічних наук, доцент Луцького  
НТУ  
(підпис)

\_\_\_\_\_ В. П. Онищук , кандидат технічних наук, доцент Луцького  
НТУ  
(підпис)

Рецензент: \_\_\_\_\_ В.В. Грабовець, кандидат технічних наук, доцент Луцького  
НТУ  
(підпис)

Відповідальний за випуск: \_\_\_\_\_ І. С. Мурований, кандидат технічних наук,  
доцент Луцького НТУ (підпис)

Екологія автомобільного транспорту [Текст]: Методичні вказівки до  
лабораторних занять для студентів спеціальностей 274 «Автомобільний транспорт»  
і 275 «Транспортні технології (автомобільний транспорт)» денної і заочної форм  
навчання / уклад. В.В. Стельмащук, В.П. Онищук,– Луцьк: Луцький НТУ, 2020. –  
39 с.

## ЗМІСТ

Вступ.....	4
1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ .....	5
2. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ДВИГУНА	5
3. ВИМІРЮВАНІ І ПОХІДНІ ВЕЛИЧИНИ .....	6
4. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ .....	12
5. АПАРАТУРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВЗ ТА ШУМОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ .....	12
6. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ	
Лабораторна робота №1. Токсична характеристика бензинового двигуна ....	19
Лабораторна робота №2. Токсична характеристика дизеля .....	20
Лабораторна робота №3. Визначення впливу швидкісного і навантажуваль- ного режимів роботи двигуна на шумове випромінювання .....	21
Лабораторна робота №4. Регулювання бензинового двигуна на мінімальну токсичність .....	24
Лабораторна робота №5. Контроль димності відпрацьованих газів дизелів ..	26
Лабораторна робота №6. Визначення масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ .....	29
Список літератури .....	32
Додаток А .....	33
Додаток Б .....	36

## ВСТУП

Автомобільний транспорт – одне з основних штучних джерел забруднення атмосферного повітря шкідливими речовинами (ШР). Найбільша кількість шкідливих речовин надходить у повітря з відпрацьованими газами автомобільних двигунів. Кількість шкідливих викидів двигуна залежить від багатьох факторів, основними з яких є режими його роботи та регульовальні параметри. Якщо ж говорити про оцінку автомобіля, з огляду токсичності, то тут ще додаються фактори, зумовлені умовами експлуатації.

Виконання лабораторних робіт та практичні заняття – важливий етап в закріпленні знань студентів з прикладної частини курсу "Екологія автомобільного транспорту".

Виконання лабораторних робіт полягає в набутті студентами навичок проведення дослідження автомобільних двигунів, зокрема практичних навичок роботи з газоаналізуючою апаратурою, в засвоєнні методики досліджень, обробці отриманих результатів, оформленні і аналізі результатів.

Стендові випробовування ДВЗ здійснюють згідно ГОСТ 14846-81 "Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний". З необхідною подальшою обробкою результатів і побудовою графічних залежностей зміни концентрації ШР у ВГ ДВЗ залежно від параметрів, що характеризують режими роботи двигуна.

Важливим у підготовці фахівців у сфері автомобільного транспорту є оволодіння методиками розрахунку масових викидів шкідливих речовин автомобільними двигунами, масових викидів забруднюючих речовин автомобільним транспортом в умовах експлуатації та визначення соціально-економічного збитку, що завдають довкіллю викиди забруднюючих речовин у атмосферне повітря автомобільним транспортом.

### **Мета лабораторних робіт:**

- оволодіти і засвоїти методику, техніку вимірювань концентрацій основних шкідливих компонентів відпрацьованих газів двигунів;
  - набути практичних навичок роботи з газоаналізуючою апаратурою;
  - за результатами самостійних вимірів оцінити двигун автомобіля як джерело шкідливих викидів та споживача повітря і палива;
  - вивчити законодавчі положення щодо обмеження шкідливих викидів автомобільними двигунами;
  - освоїти практичні прийоми перевірки і регулювань двигунів автомобілів на мінімальну токсичність відпрацьованих газів;
  - навчитися правильно оформляти і аналізувати результати експериментальних досліджень;
  - засвоїти методику розрахунку масових викидів шкідливих речовин з ВГ двигунів за виміряними концентраціями;
  - оволодіти методикою розрахунку масових викидів забруднюючих речовин автомобільним транспортом в умовах експлуатації;
- навчитися визначати збиток, завданий довкіллю викидами автомобільного транспорту забруднюючих речовин у атмосферне повітря.



## **1. ОРГАНІЗАЦІЯ ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ**

До кожного лабораторного заняття студент повинен вивчити методику проведення даної роботи, повторити відповідний розділ лекційного матеріалу і познайомитись з спеціальною літературою.

Перед початком випробувань двигуна викладач пояснює студентам мету і зміст роботи, знайомить з характеристикою об'єкта випробувань, обладнанням і приладами, пояснює методику і техніку виконання даної лабораторної роботи. Під час бесіди викладач, опитуванням деяких студентів, перевіряє готовність групи до виконання лабораторної роботи. Кожний студент за час лабораторних занять повинен засвоїти виконання операцій на усіх робочих місцях і тому, після проведення одного етапу роботи студенти-виконавці замінюють один одного на робочих місцях.

Всі студенти повинні ознайомитись з установкою і вимірювальними приладами, на практиці засвоїти прийоми користування ними, ознайомитись з технікою вимірювання, з правилами оформлення протоколу випробувань двигунів (додаток А), з методами обробки результатів випробувань.

Після визначення параметрів на бланку (додаток А) будують відповідну характеристику – графічну залежність зміни визначених параметрів від вибраного показника роботи двигуна. Ці графіки – основна технічна документація, яка відображає результати випробувань двигуна.

Матеріали закінчених випробувань кожний студент оформляє і представляє викладачу. У разі неправильного оформлення результатів випробувань, викладач не зараховує лабораторну роботу і студент виконує її повторно в позааудиторні години.

## **2. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ ДВИГУНА**

1. Під час проведення випробувань студенти зобов'язані чітко виконувати свої доручення на робочих місцях і усі розпорядження викладача і працівників лабораторії.

2. Заборонено знаходитись в площині обертання деталей двигуна і гальмового стенду.

3. Заборонено здійснювати регулювання двигуна (крім випадку, коли цього потребує виконання роботи і виконують його з пульту керування), від'єднувати трубопроводи, чистити і мастити під час роботи двигуна деталі, що обертаються.

4. Заборонено вмикати електричні мережі без дозволу. Запуск і зупинку двигуна виконувати тільки за вказівкою і під наглядом викладача або працівників лабораторії.

5. Заборонено під час виконання лабораторних робіт класти на пульт керування двигуном інше лабораторне обладнання і особисті речі.

6. Категорично заборонено користування відкритим вогнем.

### 3. ВИМІРЮВАНІ І ПОХІДНІ ВЕЛИЧИНИ

Випробування двигуна щодо визначення його екологічних показників полягають у прямому вимірюванні низки параметрів (крутного моменту, витрати палива та повітря, частоти обертання колінчастого валу, та концентрації у відпрацьованих газах шкідливих речовин) в різних режимах його роботи. На основі результатів вимірювань розраховують значення деяких похідних величин, які характеризують роботу двигуна (ефективну потужність, годинну витрату палива та повітря, питому витрату палива і інші).

Обчислення виконують за залежностями:

– **ефективна потужність двигуна, кВт:**

$$N_e = \frac{M_k \cdot n}{9550}, \quad (1)$$

де  $M_k$  – крутний момент, Н·м;

$n$  – частота обертання колінчастого валу, хв<sup>-1</sup>;

– **годинна витрата палива, кг/год:**

$$G_n = \frac{\Delta G_n}{\tau_n} \cdot 3,6, \quad (2)$$

де  $\Delta G_n$  – задана маса палива, витрачена за час вимірювання, г;

$\tau_n$  – час витрати заданої маси палива, с;

– **питома витрата палива, г/(кВт·год);**

$$g_e = \frac{G_n}{N_e} \cdot 10^3; \quad (3)$$

– **густина повітря, кг/м<sup>3</sup>:**

$$\rho_{нов} = \frac{P_{нов}}{R_{нов} \cdot T_{нов}}, \quad (4)$$

де  $P_{нов}$  – атмосферний тиск при випробуваннях, Па;

$R_{нов}$  – газова стала повітря;  $R_{нов} = 287$  Дж/(кг·К);

$T_{нов}$  – абсолютна температура повітря на впуску, К;

– **годинна витрата повітря, кг/год:**

$$G_{нов} = \frac{\Delta V_{нов} \cdot \rho_{нов}}{\tau_{нов}} \cdot 3600, \quad (5)$$

де  $\Delta V_{нов}$  – об'єм повітря, що надходить в двигун під час випробувань, м<sup>3</sup>;

$\tau_{нов}$  – час витрати цього об'єму повітря, с;

– **коефіцієнт надміру повітря:**

$$\alpha = \frac{G_{нов}}{G_n \cdot l_0}, \quad (6)$$

де  $l_0$  – кількість повітря, теоретично необхідного для спалювання 1 кг палива, кг повітря/кг палива (для бензинів  $l_0 = 14,94$ ; для дизельного палива  $l_0 = 14,45$ ).

Потрібно звернути увагу на одиниці вимірювань концентрації окремих речовин у відпрацьованих газах (ВГ). Великі концентрації шкідливих речовин прийнято оцінювати об'ємними процентами (%) у ВГ, а малі – в частинках на мільйон ( $\text{млн}^{-1}$ ). Так оксид вуглецю  $CO$  і двооксид вуглецю  $CO_2$  вимірюють в процентах від об'єму відпрацьованих газів, вміст вуглеводнів  $C_mH_n$  – в процентах від об'єму ВГ або в частинках на мільйон, вміст оксидів азоту  $NO_x$  – в частинках на мільйон. Часто необхідно робити перерахунки концентрацій з одних одиниць в інші. Співвідношення між цими величинами:  $1\% = 10000 \text{ млн}^{-1}$ , тобто  $C_i'', \% = C_i' \cdot 10^{-4}, \text{ млн}^{-1}$ , де  $C_i''$  – концентрація  $i$ -ї ШР у %,  $C_i'$  – концентрація  $i$ -ї ШР у  $\text{млн}^{-1}$ .

Концентрації шкідливих речовин, які містяться у ВГ у аерозольному, рідкому чи твердому стані (бенз( $\alpha$ )пірен, сажа, оксиди металів і ін.) визначають лише в  $\text{г/м}^3$  чи  $\text{кг/м}^3$ . Найбільш вживаною є концентрація  $C_i$  в  $\text{г/м}^3$ . В деяких приладах для вимірювання газоподібних ШР шкали градуйовані в  $\text{г/м}^3$ .

Щоб результати досліджень, зроблених в різний час, можна було порівнювати, величини виміряних концентрацій зводять до однакових нормальних умов оточуючого середовища і співвідношення між концентраціями ШР  $C_i, C_i'$  і  $C_i''$  визначають за залежностями:

– для нормальних фізичних умов, коли тиск оточуючого середовища  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  і температура  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 273\text{К}$ ),

$$C_i = \frac{\mu_i \cdot 10}{22,4} \cdot C_i''; \quad C_i = \frac{\mu_i \cdot 10}{22,4} \cdot C_i' \cdot 10^{-4}, \quad (7)$$

де  $\mu_i$  – молярна маса  $i$ -ї ШР,  $\text{кг/кмоль}$ ,

22,4 – об'єм 1 кмоль газоподібної речовини,  $\text{м}^3/\text{кмоль}$ .

– для нормальних технічних умов, коли тиск оточуючого середовища  $p_0 = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$  і температура  $t'_0 = 20^\circ\text{C}$

$$C_i = \frac{T_0}{T'_0} \cdot \frac{\mu_i}{2,24} \cdot C_i''; \quad C_i = \frac{T_0}{T'_0} \cdot \frac{\mu_i}{2,24} \cdot C_i' \cdot 10^{-4}, \quad (8)$$

Наприклад:

Концентрація оксиду азоту  $C_{NO_x} = 1480 \text{ млн}^{-1}$  відповідає  $C_{NO_x} = 1,98 \text{ г/м}^3$  при  $t_0 = 0^\circ\text{C}$  і  $C_{NO_x} = 1,85 \text{ г/м}^3$  при  $t'_0 = 20^\circ\text{C}$ .

При оцінюванні токсичності відпрацьованих газів дизелів зважають на димність ВГ, основними компонентами якої є зважені частинки, до складу яких входять органічно розчинні фракції палива, сажа і оксиди сірки.

Залежно від застосованих приладів димність вимірюють: нефелометрами за шкалою Бош ( $B$ ) градуйованою від 0 до 10 умовних одиниць димності або, в більшості випадків, димомірами, за шкалою Хартриджа ( $N$ ), градуйованою від 0 до 100% послаблення світлового потоку під час проходження крізь певний шар ВГ.

Проте нормованим показником димності відпрацьованих газів є натуральний показник послаблення світлового потоку ( $K$ ) шаром ВГ, проходячи крізь який, потік випромінювання, що утворює паралельний пучок, на відстані 1 м зменшується в  $e$  разів. Де  $e$  – основа натурального логарифму. Шкала градуйована в  $m^{-1}$ .

Для перерахунку димності за шкалою Хартриджа ( $N$ ) або димності за шкалою Бош ( $B$ ) та натурального показника послаблення світлового потоку ( $K$ ) в концентрації твердих частинок  $C_c$  в  $г/м^3$  використовують графічні залежності (рис. 1), які побудовані за даними джерел SAE (Society of automotive engineers).

Криві цих графіків апроксимовані і перерахунок показників димності в одиницях  $N$ ,  $B$  чи  $K$  в концентрації  $C_c$  в  $г/м^3$  можна здійснити за апроксимованими залежностями:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,00478 + 0,00136 \cdot N + 0,000047619 \cdot N^2; \\ C_c &= -0,0143 + 0,07649 \cdot B - 0,03049 \cdot B^2 + 0,00604 \cdot B^3; \\ C_c &= 0,121 \cdot K. \end{aligned}$$

Крім того, можна скористатися наближеною аналітичною залежністю:

$$C_c = 0,0001 \cdot N^2. \quad (9)$$

Співвідношення одиниць вимірювання димності коефіцієнта послаблення світлового потоку  $N$  і натурального показника послаблення світлового потоку  $K$  наведено в табл. 1.

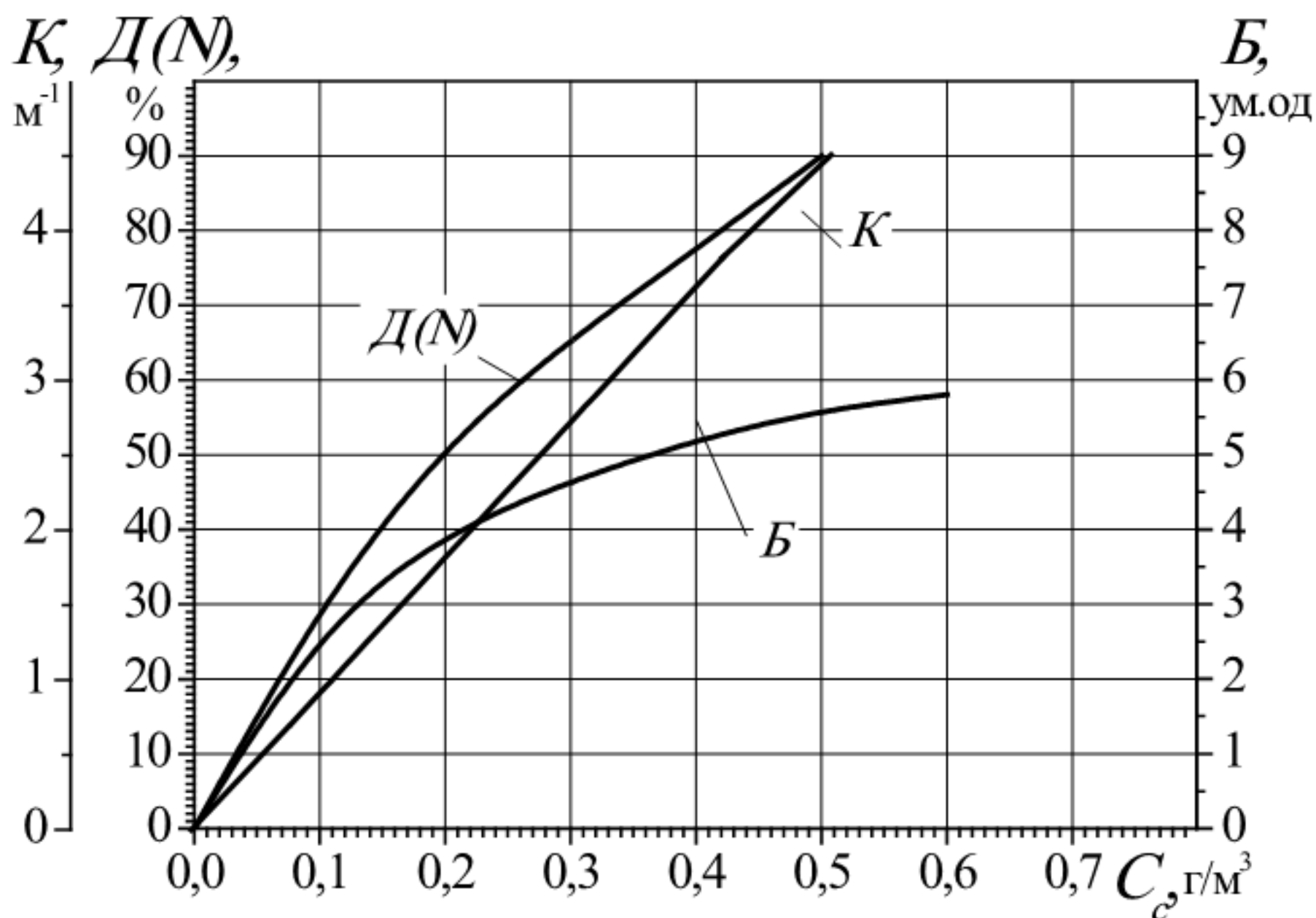


Рис. 1. Співвідношення показників димності і концентрації частинок у ВГ



Співвідношення одиниць вимірювання димності  $N$  і  $K$ 

$N, \%$	$K, \text{м}^{-1}$	$N, \%$	$K, \text{м}^{-1}$	$N, \%$	$K, \text{м}^{-1}$	$N, \%$	$K, \text{м}^{-1}$	$N, \%$	$K, \text{м}^{-1}$
1	0,02	21	0,54	41	1,21	61	2,17	81	3,82
2	0,05	22	0,57	42	1,25	62	2,23	82	3,94
3	0,07	23	0,60	43	1,29	63	2,29	83	4,08
4	0,09	24	0,63	44	1,33	64	2,35	84	4,21
5	0,12	25	0,66	45	1,38	65	2,41	85	4,36
6	0,14	26	0,69	46	1,42	66	2,48	86	4,52
7	0,17	27	0,72	47	1,46	67	2,55	87	4,69
8	0,19	28	0,76	48	1,50	68	2,62	88	4,88
9	0,22	29	0,79	49	1,55	69	2,69	89	5,08
10	0,24	30	0,82	50	1,59	70	2,77	90	5,30
11	0,27	31	0,85	51	1,64	71	2,85	91	5,54
12	0,29	32	0,89	52	1,69	72	2,93	92	5,81
13	0,32	33	0,92	53	1,74	73	3,01	93	6,12
14	0,35	34	0,96	54	1,79	74	3,10	94	6,47
15	0,37	35	0,99	55	1,84	75	3,19	95	6,89
16	0,40	36	1,03	56	1,89	76	3,28	96	7,40
17	0,43	37	1,06	57	1,94	77	3,38	97	8,07
18	0,46	38	1,10	58	2,00	78	3,48	98	9,00
19	0,48	39	1,14	59	2,05	79	3,59	99	10,59
20	0,51	40	1,17	60	2,11	80	3,70		

Шум – це одна з форм фізичного (хвильового) забруднення природного середовища. Транспортний шум – це перевищення природного рівня шуму, спричиненого роботою двигунів, колесами, гальмами і аеродинамічними особливостями транспортного засобу.

Абсолютно безшумний автомобіль на дорогах такий же неприйнятний, як і дуже шумний. У разі безшумного автомобіля водій втрачає зворотний зв'язок з автомобілем – він не відчуває швидкості та резервів потужності автомобіля. Окрім того, пішохід взагалі не відчуває наближення небезпеки, і це може призвести до небажаних наслідків для усіх учасників дорожнього руху.

Джерело звуку характеризує звукова потужність, частотний спектр випромінювання і характеристика направленості.

Перенесення енергії під час поширення звукової хвилі характеризує вектор миттєвої інтенсивності звуку, яку називають щільністю потоку звукової потужності,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

$$I = p \cdot v \quad \text{або} \quad I = \frac{p^2}{\rho \cdot v}, \quad (10)$$

де  $p$  – тиск звуку, Па – різниця між миттєвим значенням звукового тиску і барометричним тиском;

$\rho$  – густина середовища,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$v$  – швидкість поширення звуку,  $\text{м}/\text{с}$ ;

$$v = \lambda \cdot f, \quad (11)$$

де  $\lambda$  – довжина хвилі, м;  $f$  – частота коливань, Гц.

Звукова потужність ( $N$ , Вт), яку розвиває джерело шуму, – це звукова енергія, яку воно випромінює за одиницю часу. Визначають її потоком інтенсивності звуку крізь замкнуту поверхню площею  $S$ , що оточує джерело звуку.

$$N = \oint I_n dS, \quad (12)$$

де  $I_n$  – нормаль до вказаної поверхні.

На підставі психофізіологічного закону Вебера-Фехнера, що встановлює залежність подразнюючого впливу шуму на людину, відповідно якому із збільшенням інтенсивності звуку джерела шуму, його подразнюючий вплив сприймається людиною за логарифмічною залежністю.

Тому на практиці для вимірювання величини інтенсивності звуку, звукового тиску, звукової потужності застосовують їх логарифмічні залежності, що називають *рівнями звуку* і вимірюють в дБ. Одиницею вимірювання прийнято умовну величину, що називається бел (Б). Частіше використовують таку одиницю, як децибел – дБ, яка дорівнює 0,1·Б.

Рівень інтенсивності звуку, дБ:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_0}; \quad (13)$$

Рівень звукового тиску, дБ:

$$L_p = 10 \lg \frac{p_c^2}{p_{cn}^2}; \quad (14)$$

Рівень звукової потужності, дБ:

$$L_N = 10 \lg \frac{N}{N_0}; \quad (15)$$

де  $I_0$ ,  $p_{cn}$ ,  $N_0$  – порогові величини інтенсивності звуку, середньоквадратичного звукового тиску і звукової потужності:  $I_0 = 10^{-12}$  Вт/м<sup>2</sup>;  $p_{cn} = 2 \cdot 10^{-5}$  Па;  $N_0 = 10^{-12}$  Вт.

$I$ ,  $p_c$ ,  $N$  – інтенсивність звуку, середньоквадратичне значення звукового тиску, середня звукова потужність.

В техніці Міжнародною електротехнічною комісією визначено різні коригувальні частотні характеристики А, В, С і Д. Як стандартну частотну характеристику затверджено шкалу А, яка найбільш близьку до частотної характеристики чутливості сприймання слухового апарату людини. Для цієї характеристики опорною частотою прийнято частоту 1000 Гц і наведені значення поправок на усіх інших частотах (див. табл. 2).

Значення поправок за шкалою А

Середньгеометрична частота, $f_{сер}, \text{Гц}$	Значення поправок за частотною характеристикою шкали А, дБ
16	-56,7
31,5	-39,4
63	-24,2
125	-16,1
250	-8,6
500	-3,2
1000	0
2000	+ 1,2
4000	-1,0
8000	-1,1

Сукупність частот, які складають шум, називається спектром шуму.

Визначаючи основні рівні величин шуму, які є сукупністю звукових хвиль різної частоти, весь спектр чутного шуму поділяють на декілька ділянок, які називаються октавами. Октава – смуга частот, в якій кінцева частота у два рази більша за початкову, тобто  $f_{кін} = 2f_{поч}$ .

Величини  $L_b$ ,  $L_p$ ,  $L_N$  визначають в октавних смугах із середньоквадратичними значеннями частот (за табл. 2)  $f_{сер} = \sqrt{f_{кін} \cdot f_{поч}}$ .

Іноді, за технічними вимогами на показники шуму деяких машин, і особливо під час порівнянь машин різних конструкцій, оцінювання проводять за корегованим рівнем звукової потужності, який є сумарним рівнем звукової потужності з корекцією за шкалою А на частотах, які розглядають.

Корегований рівень звукової потужності визначають за рівнянням:

$$L_{N,A} = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_{N,A_i}}, \quad (16)$$

де  $L_{N,A_i}$  – рівні звукової потужності в октавних смугах частот з урахуванням поправки за шкалою А, дБ;

$n$  – число вимірювань.

Основним оцінювальним показником шуму в гігієні є еквівалент рівня шуму  $L_{екв}$ . Це рівень постійного шуму, за якого за певний період часу  $t$  передається така ж енергія, як і за неусталеного шуму за цей самий проміжок часу. Еквівалентний неперервний рівень звуку визначають за рівнянням:

$$L_{екв} = 10 \lg \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} 10^{0,1L_{A(t)}} dt \right), \quad (17)$$

де  $L_{A(t)}$  – значення рівня звуку;

$t_1, t_2$  – період часу.

#### 4. МЕТОДИКА І ТЕХНІКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ



Випробовування двигунів проводять на спеціальних установках. Установа для випробувань автомобільних і тракторних двигунів складається з гальмового стенда, який забезпечує поглинання виробленої двигуном механічної енергії, а також пристроїв і приладів для вимірювання величин різних параметрів, що характеризують режими роботи двигуна (крутного моменту, частоти обертання, витрат палива і повітря і інше).

Перед випробуваннями двигун прогрівають до нормального теплового стану: температура рідини в системі охолодження 80...90°C, оливи – 85...95°C.

Всі виміри виконують одночасно, за сигналом викладача чи працівників лабораторії.

Кожен студент на своєму робочому місці повинен виконувати доручену йому операцію старанно і точно. В іншому випадку при побудові характеристики неминуче "випадання" точок, що призводить до необхідності повторного виконання досліду. Випробування двигуна бригадою представляє собою колективну працю, успіх якої, в значній мірі, залежить від чіткої і злагодженої роботи всіх виконавців.

Результати вимірювань заносять в протокол (додаток А). Після виконання необхідних розрахунків сюди ж заносять значення розрахованих величин. За результатами випробувань (на бланку для графіків додатку А) будують графічні залежності зміни концентрацій шкідливих речовин у ВГ двигунів залежно від вибраного параметру.

Криві вимірюваних величин будують за дослідними точками, які наносять відповідними позначками (кружальця, трикутнички, хрестики і інше). На кривих розрахованих величин, отриманих в результаті обчислень, точки не проставляють.

## **5. АПАРАТУРА ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КОНЦЕНТРАЦІЙ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН У ВІДПРАЦЬОВАНИХ ГАЗАХ ДВЗ ТА ШУМОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

На сьогодні є газоаналізуюча апаратура та прилади, якими можна виміряти практично усі відомі компоненти відпрацьованих газів двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ). Проте, в першу чергу, вимірюють концентрації шкідливих речовин, яких під час роботи ДВЗ викидається найбільше, це – оксиди вуглецю  $C''_{CO}$  і  $C''_{CO_2}$ , вуглеводні  $C''_{C_mH_n}$ , оксиди азоту  $C''_{NO_x}$  і сажа  $C_c$ , концентрацію якої оцінюють за димністю відпрацьованих газів.

Для визначення концентрацій оксидів  $C''_{CO}$  і  $C''_{CO_2}$  та вуглеводнів  $C''_{C_mH_n}$ , (переважно за гексаном  $C''_{C_6H_{14}}$ ) у відпрацьованих газах ДВЗ застосовують спосіб вибіркового поглинання ними інфрачервоного випромінювання. Цей спосіб, ґрунтується на принципі селективного поглинання компонентами відпрацьованих газів інфрачервоного випромінювання: кожен газ поглинає інфрачервоне випромінювання лише певної довжини хвиль. Наприклад, спектр поглинання оксидом вуглецю інфрачервоних променів розміщений в зоні довжин хвиль близьких до 4,7... 5,0 мкм.



На рис. 2 показана принципова схема інфрачервоного газоаналізатора. Два однакових потоки E1 і E2 від джерел інфрачервоного випромінювання проходять крізь оптичні порівняльний і вимірюваний канали. Джерела мають спільний блок живлення U1 з високим рівнем стабілізації напруги, необхідної для забезпечення стабільності світлових потоків. Потоки променів одночасно перериває обтюратор O1, який приводить в рух синхронний електродвигун змінного струму M1.

Відпрацьовані гази проходять крізь вимірювальний канал. Симетрична камера порівняльного каналу заповнена газом, який не поглинає інфрачервоне випромінювання. На виході із каналів потоки випромінювання будуть відрізнятися на величину, пропорційну вмісту компоненту у відпрацьованих газах, який поглинув частину інфрачервоного випромінювання певної довжини хвилі.

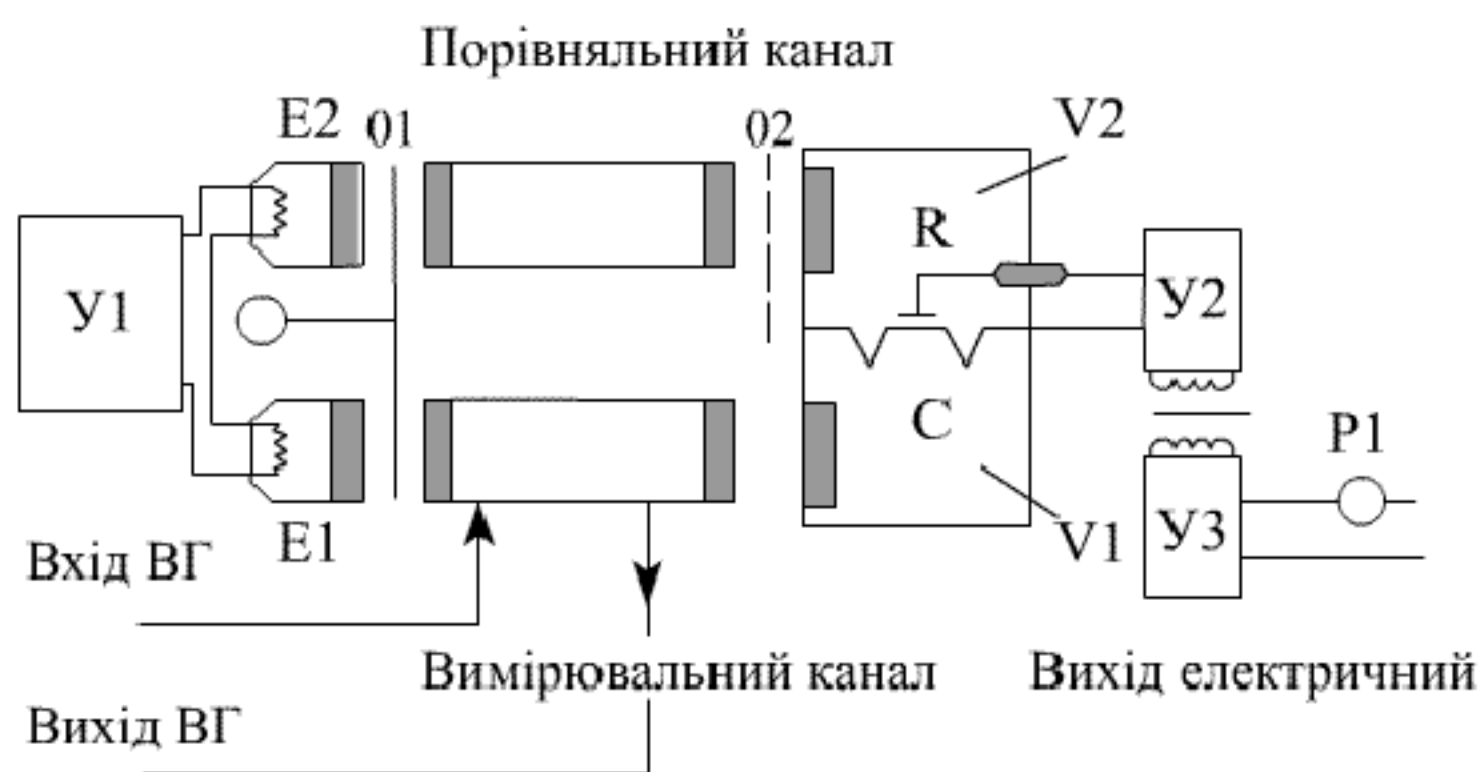


Рис. 2. Принципова схема бездисперсного інфрачервоного газоаналізатора

Після вимірювального та порівняльного каналів промені надходять в об'єми V1 і V2 мірної камери. Ці об'єми розділені мембраною конденсаторного мікрофону C і заповнені сумішшю інертного газу і компоненту, вміст якого вимірюється. Через те, що у вимірювальному каналі відбулося поглинання частини променевої енергії і перетворення її в теплову, температура і тиск суміші в об'ємі V1 будуть меншими ніж в об'ємі V2. Через те, що тиск в об'ємі V1 буде більшим – мембрана конденсаторного мікрофону C буде міняти своє положення відносно нерухомого електрода з частотою, пропорційною частоті обертання обтюратора і на величину, пропорційну різниці тисків. Ємність конденсатора C буде змінюватись. Через опір R конденсатор живиться постійним струмом. Коли ємність конденсатора змінюється на його обкладинках виникає перемінна напруга, частота якої пропорційна частоті обертання обтюратора, а амплітуда відповідає поглинанню потоку променів в камері вимірювального каналу.

Змінний електричний сигнал через підсилювач U2, перетворюється в уніфікований вихідний сигнал постійного струму перетворювачем U3. Вимірювальний прилад P1 надсилає сигнал на шкалу газоаналізатора. Балансування світлових потоків здійснюється заслінкою O2. Для підтримування постійного тиску ВГ на вході у вимірювальний канал застосовують регулятор абсолютного тиску (РАД). Підтримування однакового тиску в усьому вимірювальному каналі здійснює регулятор тиску (РГ), а витрату ВГ контролюють за витратоміром (РМ).

Вимірювання вуглеводнів здійснюють за однією сполукою (гексаном  $C_{6H_{14}}$ ) відслідковуючи, таким чином, лише характер зміни концентрації вуглеводнів залежно від режимів роботи двигуна. Найбільш інформативним для визначення вмісту вуглеводнів є спосіб вимірювання електропровідності водневого полум'я при іонізації вуглеводневими сполуками. Вимірювання у такий спосіб дає повну інформацію про сумарний вміст вуглеводневих сполук у ВГ.

Суть методу полягає у тому, що водневе полум'я, практично, є діелектриком (опір водневого полум'я становить  $10^{14}$  Ом), але якщо в полум'я надходять вуглеводневі сполуки, вони іонізуються і опір полум'я різко зменшується. При цьому падіння опору (збільшення струму іонізації) пропорційне концентрації вуглеводневих сполук в суміші.

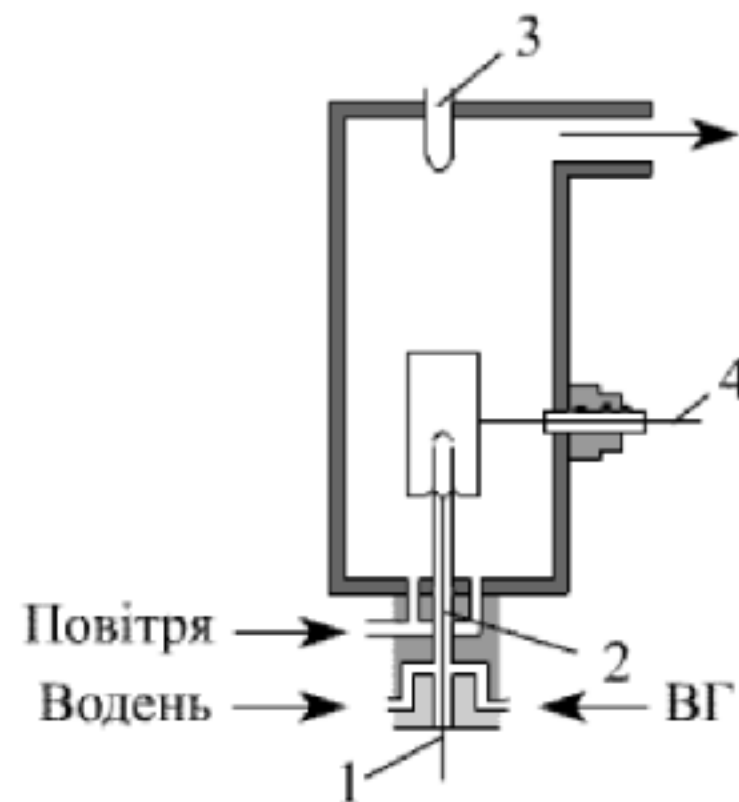
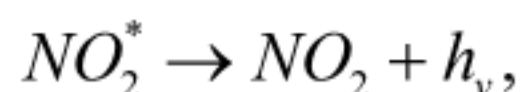
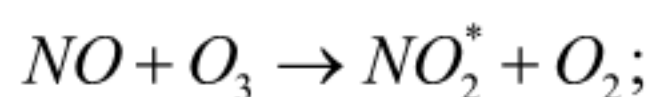


Рис. 3. Принципова схема вимірювальної частини полум'яно-ізаційного газоаналізатора

Принципова схема приладу для реалізації цього способу показана на рис. 3. Водень пальником 2 надходить в камеру, змішується з повітрям і згорає. Запалювання здійснюється від свічки 3. При цьому між електродами 1 і 4 сила струму, практично, дорівнює нулю. В разі надходження в камеру проби з вуглеводневими сполуками, опір між електродами зменшується і виникає іонний струм. Цей сигнал підсилюють і фіксують стрілковим чи цифровим приладом або самописцем. Часто, як паливо, використовують суміш водню і гелію. Експериментально встановлено, що покази вимірів сумарного вмісту вуглеводнів такими приладами відрізняються від заміряних приладами, що ґрунтуються на вибіркового поглинанні інфрачервоного випромінювання у 2,5 рази.

Для неперервного вимірювання концентрацій оксидів азоту у ВГ застосовують спосіб хімічної люмінесценції, що базується на миттєвій реакції  $NO$  і озону у вакуумі в результаті якої утворюється двооксид азоту  $NO_2^*$ , частина якого (близько 10%) активна і при переході в стабільний стан випромінює енергію, яка спричиняє люмінесцентне свічення. Механізм реакції такий:



де  $h_\nu$  – випромінювана енергія.

Структурна схема хімілюмінесцентного газоаналізатора показана на рис. 4. Прилад складається із двох блоків. Блок 1 призначений для відбору газів, очищення їх від механічних домішок і подачі під стабілізованим тиском у вимірювальний блок 2. Блок 1 складається із забірника проби 3, який підігрівають (180...200°C) з тим щоб уникнути конденсації водяної пари і розчинення у воді оксидів азоту та пристрою підготовки проби 4 де перед тим, як направити ВГ на аналіз двооксид азоту відновлюють до оксиду азоту. Вимірювальний блок 2 призначений для отримання електричного сигналу, пропорційного вмісту оксидів азоту у відпрацьованих газах. В цей блок входить камера 6, в яку подають ВГ із блока 1 і озон із генератора 5. Світлове випромінювання (хімілюмінесценсія), яке виникає в результаті реакції озону з оксидом азоту, що входить в склад відпрацьованих газів, сприймає фотоелектронний помножувач 7, сигнал від якого потрапляє на вхід підсилювача постійного струму 8. З підсилювача уніфікований сигнал струму (0...5 мкА) надходить на вимірювальний цифровий прилад 9 і на вихід газоаналізатора.

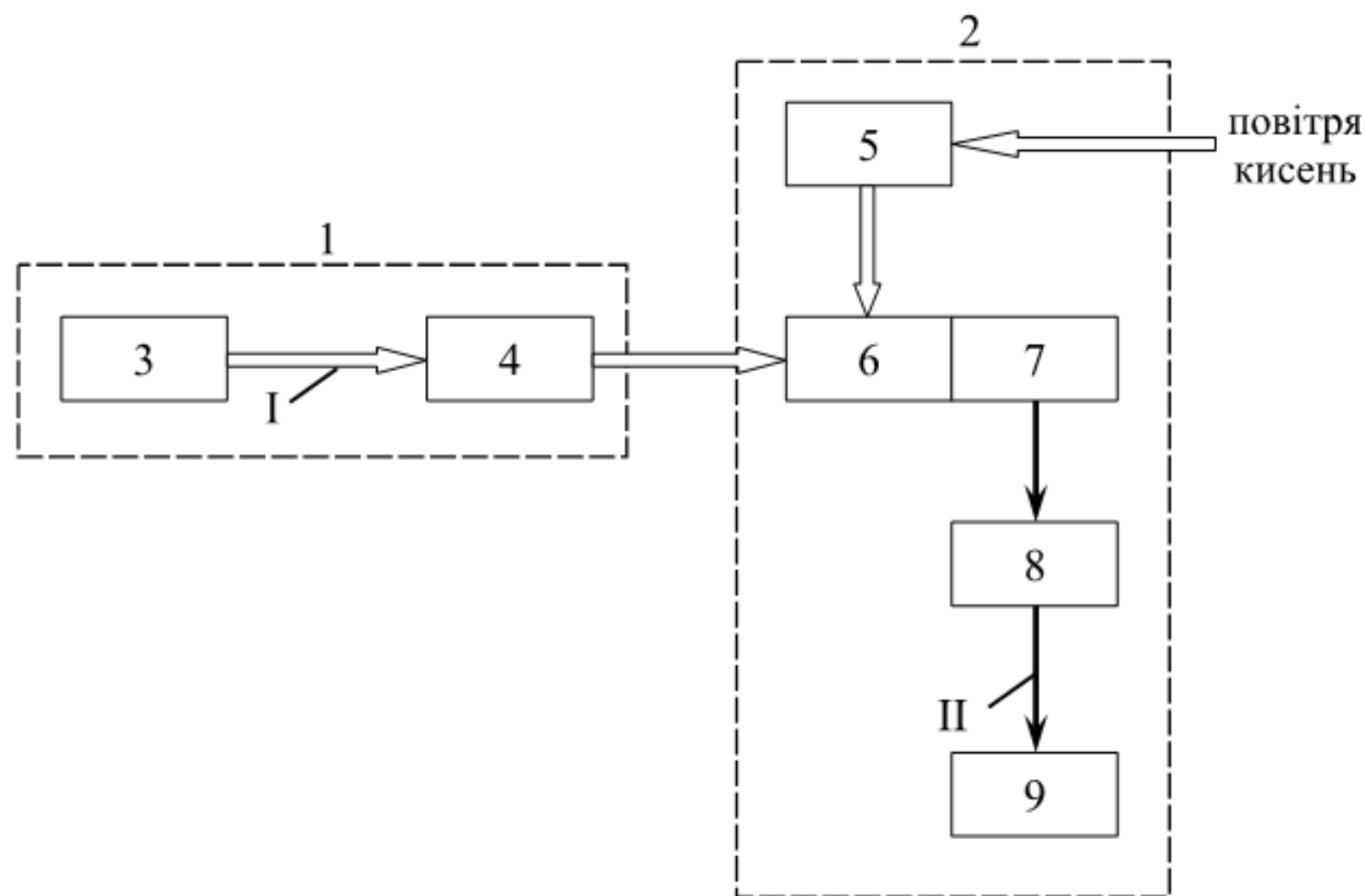


Рис. 4. Структурна схема хімілюмінесцентного газоаналізатора

На схемі товстими стрілками – I показано газові потоки, тонкими – II потік струму.

На рис. 5 наведено принципову схему вимірювального блоку 2. Світлофільтр 4 виокремлює свічення, що виникає від оксидів азоту від свічення спричиненого реакцією озону з іншими компонентами ВГ. Лабораторія облаштована приладом 344ХЛ-01.

Основні характеристики газоаналізатора 344ХЛ-01: діапазон вимірювань вмісту  $NO_x$  – 0-200; 0-500; 0-1000; 0-2000; 0-5000  $млн^{-1}$ .

Димність відпрацьованих газів дизелів вимірюють декількома методами. Найбільшого розповсюдження набули методи фільтрування (нефелометричний метод) і просвічування (турбодиметричний метод) ВГ дизеля.

Метод фільтрування базується на просмоктуванні певного відомого об'єму ВГ крізь фільтрувальний папір і визначенні оптичної густини фільтру за принципом поглинання відбитого чи того, що проходить крізь фільтр, світла.



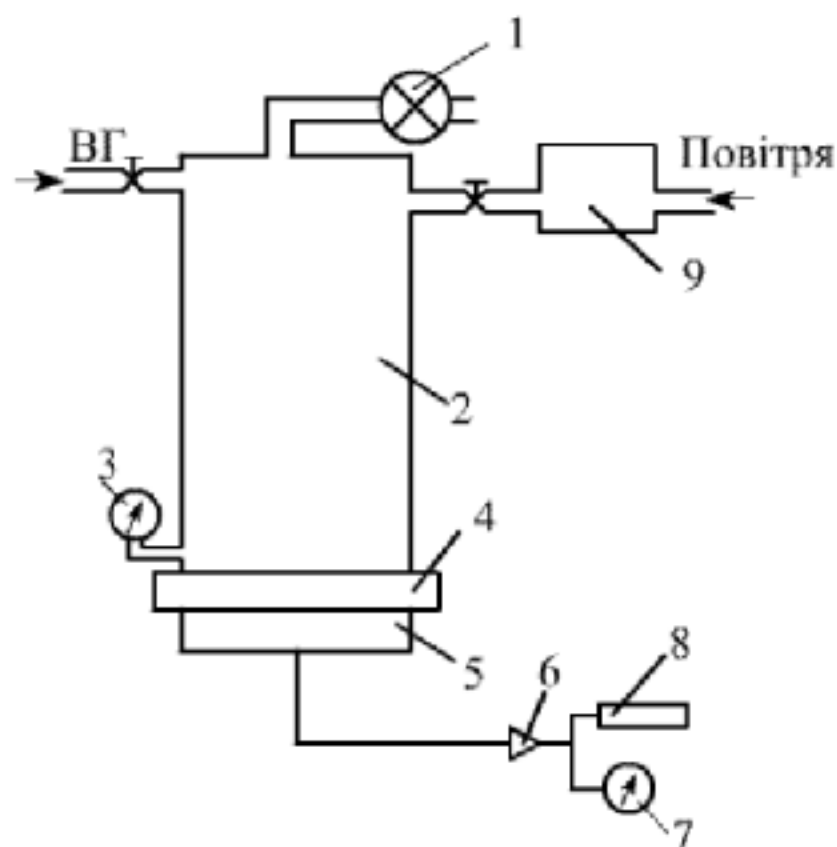


Рис. 5. Схема хімілюмінесцентного газоаналізатора:

- 1 – вакуумний насос; 2 – реакційна камера; 3 – вакууметр; 4 – світлофільтр;
- 5 – фотопримножувач; 6 – підсилювач; 7 – шкала стрілкового приладу;
- 8 – самописець; 9 – озонатор (генератор озону)

Найбільш широко (зокрема в умовах експлуатації транспортних засобів) застосовують метод просвічування, що базується на вимірюванні ступеня послаблення світлового потоку, який проходить шар ВГ певної товщини (як правило 0,43 м). Принципова схема димоміра, в якому реалізовано цей метод, показана на рис. 6.

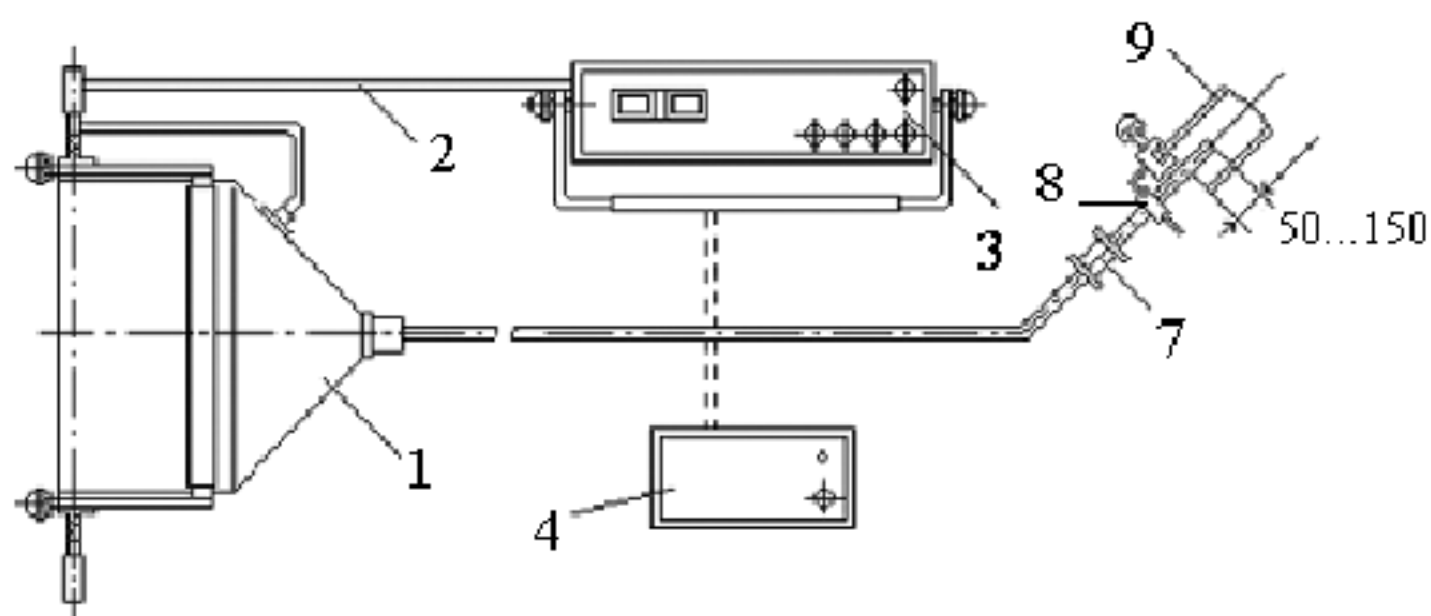


Рис. 6. Принципова схема димоміра

Димомір складається із блоку вимірювання 1 (БВ), блоку перетворення інформації 3 (БПІ) і блоку живлення 4 (БЖ) димоміра змінним струмом 220В, 50Гц. БПІ з'єднують з БВ і БЖ з'єднувальні джгути 2. Блок вимірювання трубопроводами і тримачем 8 з ручкою 7 приєднують до випускної труби 9 дизеля.

В приладі реалізовано метод просвічування ВГ. Здійснюють вимірювання їх температури з наступною корекцією коефіцієнта послаблення світлового потоку за температурою і величиною фотометричної бази (відповідно стандартам).

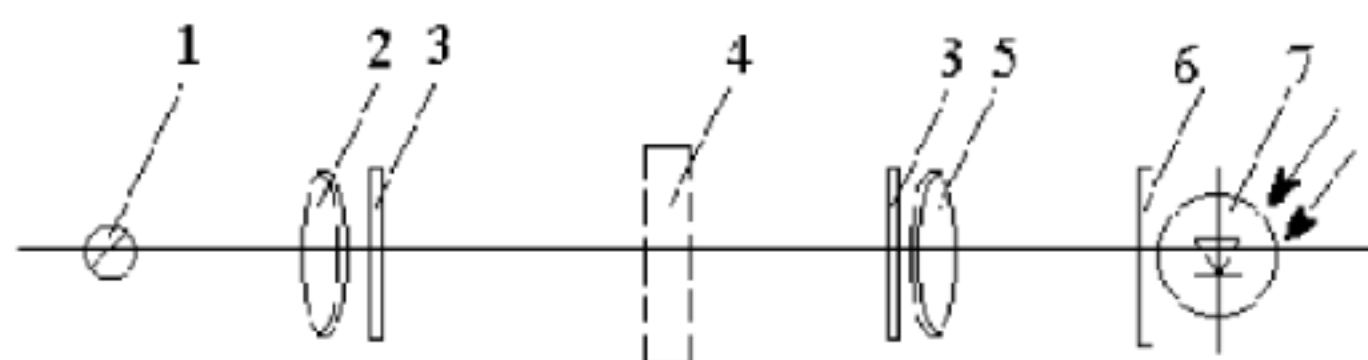


Рис.7. Схема оптичного блоку димоміра



Блок вимірювання призначений для аеродинамічного формування потоку газів і перетворення оптичного і температурного параметрів ВГ в електричний сигнал. Принципова схема оптичного блоку, який побудовано за однопроменевою оптичною схемою, показано на рис. 7. Як джерело світла, використовується лампа розжарювання 1, а приймача світла – фотодіод 7. Світло від джерела 1 формується об'єктивом 2 в паралельний пучок променів, який проходить крізь потік ВГ і потрапляє на лінзу 5, яка збирає пучок променів і спрямовує на світлоприймач 7. На шляху променів передбачено місце для встановлення повірочного фільтра 4, який призначений для контролю шкали приладу.

Світлофільтр 6 призначений для приведення спектральної характеристики світлоприймача до кривої видимості. Для захисту оптики встановлюються захисні скельця 3.

Призначення БПІ полягає в обробці електричного сигналу, перетворенні його в показник непрозорості (димності) ВГ, а також в індикації значень коефіцієнта послаблення світлового потоку ( $N$ ), натурального показника послаблення світлового потоку ( $K$ ) і температури.

Під час проведення лабораторних робіт вимірювання димності здійснюється димоміром ИНА-109, МЕТА-01.

Для вимірювання інтенсивності шумів та вібрації існують спеціальні прилади шумоміри. В лабораторії випробування двигунів застосовують шумомір ВШВ-003 (структурна схема представлена на рис. 8), в якому реалізовано принцип перетворення звукових і механічних коливань досліджуваних двигунів в пропорційні їм електричні сигнали, які підсилюють і виводять на шкалу приладу.

Шумомір складається з таких головних частин: мікрофона і узгоджуючого пристрою.

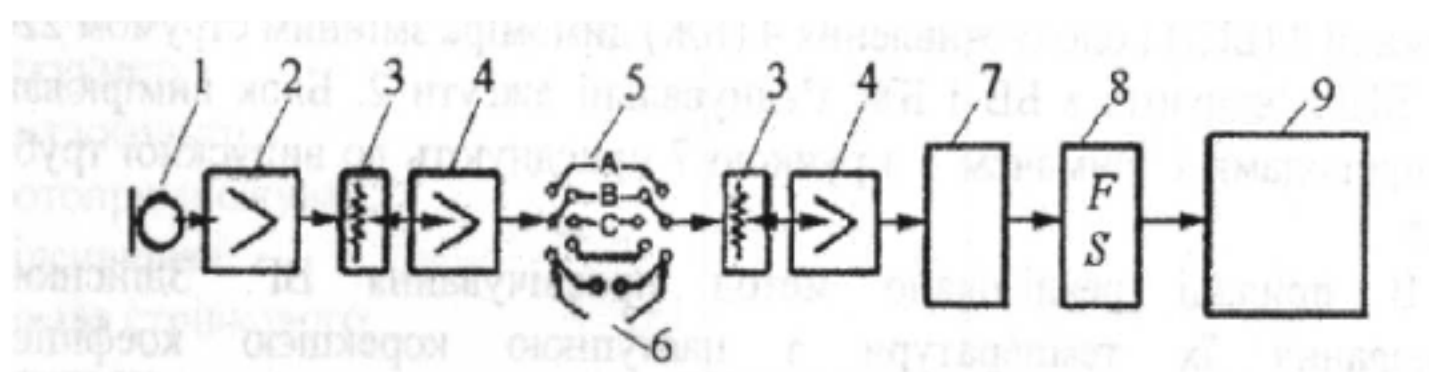


Рис. 8. Структурна схема шумоміра:

1 – капсуль мікрофонний; 2 – перепідсилювач; 3 – вхідний і вихідний перемикачі діапазонів вимірювальних сигналів; 4 – підсилювачі; 5 – ланцюг фільтрів частотних характеристик; 6 – зовнішні фільтри; 7 – квадратичний детектор; 8 – ланцюг експоненціального усереднення; 9 – індикатор, градуйований у децибелах.

На передню панель приладу (рис.9) винесено:

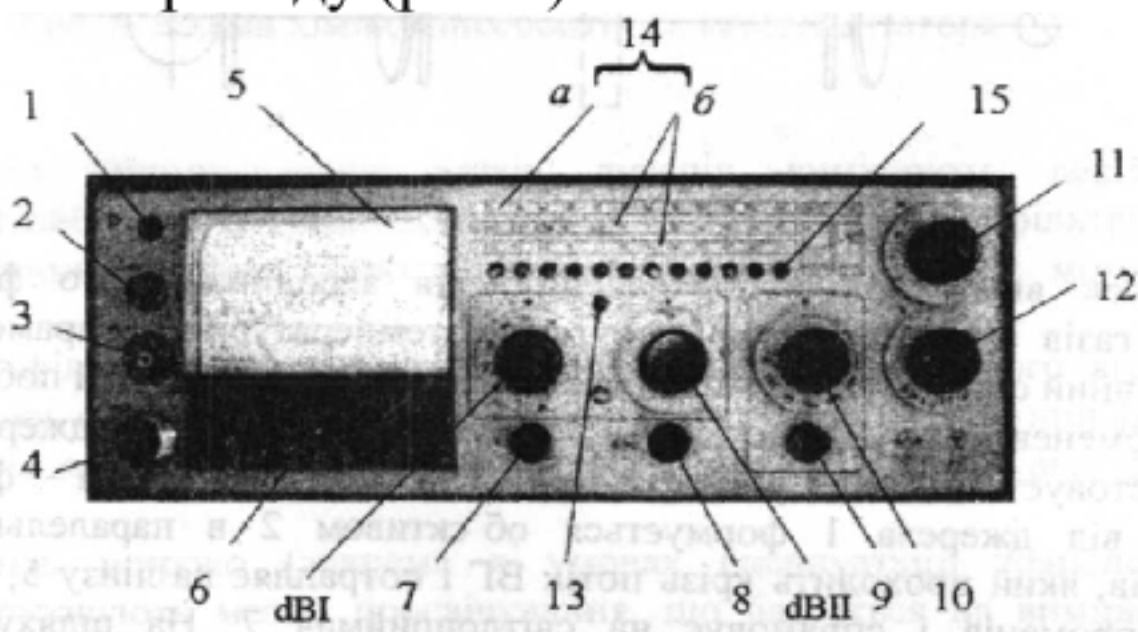


Рис. 9. Передня панель шумоміра ВШВ-003

1 – потенціометр для регулювання коефіцієнта передачі при калібруванні вимірювача ВШВ-003;

2 – кнопка «КАЛИБР» для включення калібрувального генератора;

3 – гніздо для калібрувального сигналу на вхід перепідсилювача

4 – гніздо для підключення перепідсилювача;

5 – шкала реєструючого приладу для фіксації одиниць рівня звукового тиску в межах від 0 до 10 дБ та контролю напруги живлення батарей;

6 – перемикач для зменшення електричної напруги вимірюваного сигналу, щоб забезпечити нормальну роботу вузлів вимірювального приладу;

7 – кнопка для включення інтегратора під час вимірювання віброшвидкості;

8 – кнопка для включення фільтра нижніх частот для вимірювання віброприскорення;

9 – кнопка «ФИЛЬТРЫ ОКТАВНЫЕ»

10 – перемикач «ФИЛЬТРЫ ОКТАВНЫЕ» для вибору одного з десяти октавних фільтрів з середніми геометричними частотами 16; 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц;

11 – перемикач «РОД РАБОТЫ» для відключення вимірювального приладу, контролю батарей і підключення часових характеристик ( $F$  – стала часу 125 мс "Швидко";  $S$  – стала часу 1000 мс "Повільно").

Характеристика "Повільно" нівелює показники шумоміру і робить їх прийнятними для виміру стаціонарного шуму машин, характеристика "Швидко" встигає реєструвати нетривалі зміни шуму, її застосовують для виміру нестационарного шуму машин;

12 – перемикач «ФИЛЬТРЫ» для підключення коригувальних частотних характеристик А, В, С та ЛИН;

13 – світодіод «ПЕРЕГРУЗ» інформує про перевантаження сигналами функціональних вузлів вимірювального приладу; dBI та dBII – перемикачі для настроювання приладу на вимірювальний сигнал;

14 – шкали приладу:

а) для фіксації десятків рівня звукового тиску в межах 20... 130 дБ;

б) для вимірювання віброшвидкості та віброприскорення;

15 – дванадцять світодіодів, які розташовано під названими шкалами. За тим, що світиться в даний момент вибирають конкретне числове значення вимірюваної величини.

Вимірам має передувати калібрування приладу. Для цього еквівалент капсуля 4 проводом довжиною 0,5 м з'єднують з гніздом 3. Перемикачі приладу встановлюють в положення: dBI – 40, dBII – 50, 11 – "F", фільтр 12 – "ЛИН".

Після натискання кнопки 2 за дві хвилини стрілка приладу має установитися на величині 2,5 – що відповідає 94 дБ. У разі невідповідності перемикачами dBI та dBII здійснюють коригування.

## 6. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

### Лабораторна робота № 1

#### Токсична характеристика бензинового двигуна

Токсична характеристика двигуна це – графічна залежність концентрацій ШР від складу паливоповітряної суміші, який характеризує коефіцієнт надміру повітря.

Визначають цю характеристику за постійних частоти обертання колінчастого вала, кута відкриття дросельної заслінки та кута випередження запалювання. Приклад токсичної характеристики бензинового двигуна показано на рис. 1 додатку Б.

Аналіз характеристики показує, що із збагаченням суміші (відносно того, з якого почали вимірювання) концентрація  $C''_{CO}$  неперервно зростає.

Вміст у ВГ вуглеводнів спочатку, через малу швидкість згорання збіднених сумішей і повну відсутність згорання в окремих циліндрах внаслідок нерівномірного розподілу паливоповітряної суміші, дещо високий. Далі він зменшується, при цьому мінімальна концентрація  $C'_{C_mH_n}$ , відповідає регулюванням двигуна на економічний склад суміші  $\alpha = 1,05 \dots 1,15$ .

При подальшому збагаченні суміші  $\alpha < 1,05$  концентрації вуглеводнів у ВГ зростають. Концентрація оксидів азоту при незначному збагаченні суміші зростає, що зумовлено термічною теорією утворення оксидів азоту – зростанням максимальної температури циклу та наявністю вільного кисню. При подальшому збагаченні паливоповітряної концентрації оксидів азоту  $C'_{NO_x}$  – знижуються внаслідок зменшення наявності вільного кисню в циліндрах двигуна.

Вміст  $C''_{CO_2}$  при незначному збагаченні суміші зростає, що є результатом зменшення розбавлення їх надмірним повітрям, а при подальшому збагаченні знижується в результаті неповного згорання палива за нестачі кисню.

#### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для першого вимірювання карбюратор регулюють на найбільш збіднений склад суміші, за якого ще можлива стійка робота двигуна. Вимірюють крутний момент  $M_k$ , час, за який двигун споживає вибрані дози палива  $\tau_n$  і повітря  $\tau_{нов}$ , тиск оливи  $p_m$  та температури: відпрацьованих газів, рідини в системі охолодження  $t_{вод}$  та оливи в системі мащення  $t_m$ , а також концентрації у відпрацьованих газах двигуна основних шкідливих компонентів: токсичних –  $C''_{CO}$ ,  $C'_{C_mH_n}$ ,  $C'_{NO_x}$  та вуглекислого газу  $C''_{CO_2}$ .

Перехід від однієї точки характеристики до іншої здійснюють, змінюючи витрату палива крізь жиклер карбюратора спеціальною регулювальною голкою, яка змінює прохідний переріз жиклера або зміною тиску в поплавцевій камері.

Збагачення суміші спричиняє зростання частоти обертання. Поновлюють задану частоту обертання зміною навантаження гальмового стенда.

Другий вимір проводять після зміни регулювань карбюратора в сторону збільшення витрати палива, під час зміни положення регулювальної голки на  $\frac{1}{4}$  оберту. Після досягнення усталеного режиму роботи двигуна вимірюють ті ж



величини, що і в першому досліді. Третє і наступні вимірювання виконують подібно першим двом, змінюючи кожного разу регулювання карбюратора.

Після заповнення протоколу випробувань (табл. А1) та розрахунку величин  $N_e$ ,  $G_n$ ,  $G_{нов}$ ,  $g_e$  і  $\alpha$  будують залежності  $C''_{CO}$ ,  $C'_{C_mH_n}$ ,  $C'_{NO_x}$ ,  $C'''_{CO_2}$ ,  $G_n$ ,  $G_{нов}$ ,  $g_e$  від складу суміші  $\alpha$ .

Аналізуючи токсичну характеристику бензинового двигуна, необхідно визначити економічний режим роботи двигуна – найменше значення питомої витрати палива ( $g_{emin}$ ) Для цього режиму визначити значення питомої витрати палива, годинні витрати палива і повітря, коефіцієнта надміру повітря і концентрацію у відпрацьованих газах шкідливих речовин  $C''_{CO}$ ,  $C'_{C_mH_n}$ ,  $C'_{NO_x}$ , і  $C'''_{CO_2}$ , і занести їх у таблицьку.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають токсичною характеристикою двигуна?
2. Які умови необхідно забезпечити під час визначення токсичної характеристики двигуна?
3. Охарактеризуйте зміну основних шкідливих речовин від складу паливоповітряної суміші.
4. Яким чином здійснюється зміна складу паливоповітряної суміші під час здійснення вимірювань?
5. Порядок визначення токсичної характеристики двигуна.

### *Лабораторна робота № 2*

#### **Токсична характеристика дизеля**

В дизелях здійснюють якісне регулювання потужності – тобто зміна складу суміші спричиняє зміну навантаження. Зважаючи на це, токсичну характеристику дизеля часто представляють у вигляді графічних залежностей концентрацій шкідливих речовин та димності, а також концентрацію вуглекислого газу від навантаження.

Приклад токсичної характеристики дизеля показано на рис. 2 додатку Б.

З характеристики видно, що вміст оксиду вуглецю  $C''_{CO}$  і вуглеводнів  $C'_{C_mH_n}$  в широкому діапазоні навантажень незначний. Зростання їх в зоні збідненої суміші (холостий хід) зумовлює погіршення сумішоутворення. В зоні повних навантажень та близьких до них – недостатня кількість кисню, незважаючи на те, що коефіцієнт надміру повітря все одно більший за одиницю.

Із збагаченням паливоповітряної суміші (зменшенням коефіцієнту надміру повітря та зростанням потужності) вміст оксидів азоту  $C'_{NO_x}$  у відпрацьованих газах дизеля зростає, через зростання температури в циліндрах двигуна за наявності вільного кисню.

При навантаженнях близьких до повного зростання вмісту оксидів азоту сповільнюється і може, навіть, знижуватись в результаті зменшення кількості вільного кисню. Вміст  $C'''_{CO_2}$  із збільшенням навантаження та збагаченням паливоповітряної суміші зростає. Це спричинено більшою кількістю палива, що



згоріло. Димність відпрацьованих газів при малих та середніх навантаженнях, коли коефіцієнт надміру повітря має ще досить високі значення – незначна. Інтенсивне зростання її має місце при повних та близьких до них навантаженнях, коли в окремих місцях камери згорання кисню недостатньо, через що в осередках не розпиленого палива відбувається піроліз вуглецю.

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Для першого виміру важіль керування паливopoдачею встановлюють в положення найменшої подачі палива для заданого швидкісного режиму дизеля при роботі без навантаження, вимірюють час, за який двигун споживає вибрані дози палива  $\tau_n$  і повітря  $\tau_{нов}$ , тиск оливи  $p_m$  та температури: відпрацьованих газів  $t_{вг}$ , рідини в системі охолодження  $t_{вод}$  та оливи в системі мащення  $t_m$ , а також концентрації у відпрацьованих газах дизеля  $C''_{CO}$ ,  $C'_{C_mH_n}$ ,  $C'_{NO_x}$ ,  $C''_{CO_2}$  і димність відпрацьованих газів  $N$ .

Перед другим вимірюванням важіль керування паливopoдачею переміщують у напрямі збільшення подачі палива. Змінюючи навантаження, відновлюють задану постійну частоту обертання колінчастого вала дизеля і вимірюють ті ж величини, що і під час першого вимірювання, а також крутний момент дизеля  $M_k$ . Наступні вимірювання виконують подібно першим двом, переміщуючи кожного разу рейку ПНВТ в сторону збільшення подачі палива. Після заповнення протоколу випробувань (табл. А1) дизеля і обчислення величин  $N_e$ ,  $G_n$ ,  $G_{нов}$ ,  $g_e$  і  $\alpha$  будують залежності  $C''_{CO}$ ,  $C'_{C_mH_n}$ ,  $C'_{NO_x}$ ,  $C''_{CO_2}$ ,  $N$ ,  $G_n$ ,  $G_{нов}$ ,  $g_e$  від складу суміші  $\alpha$ .

Аналізуючи токсичну характеристику дизеля, необхідно визначити мінімальне значення питомої витрати палива і відповідні їй значення коефіцієнта надміру повітря, концентрацій шкідливих речовин –  $C''_{CO}$ ,  $C'_{C_mH_n}$ ,  $C'_{NO_x}$ ,  $C''_{CO_2}$  у відпрацьованих газах і їх димності  $N$  та годинних витрат палива  $G_n$  і повітря  $G_{нов}$ .

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають токсичною характеристикою двигуна?
2. Які умови необхідно забезпечити при визначенні токсичної характеристики дизеля?
3. Чому токсичну характеристику дизеля отримують змінюючи навантаження двигуна?
4. Охарактеризуйте зміну основних шкідливих речовин від складу паливоповітряної суміші дизеля?
5. Порядок визначення токсичної характеристики дизеля.

### *Лабораторна робота № 3*

#### **Визначення впливу швидкісного і навантажувального режимів роботи двигуна на шумове випромінювання**

Характеристика шуму ДВЗ це графічна залежність рівня звукового тиску або рівня інтенсивності звуку від навантаження чи частоти обертання колінчастого вала двигуна. Визначення впливу навантаження і частоти обертання на величину шуму проводять на дизелі Д-240.

Під час проведення випробувань двигуна щодо шумового випромінювання вимірювання здійснюють в 3 точках на відстані 1 м від джерела шуму, як показано на рис. 10. Мікрофон зорієнтовують на двигун.

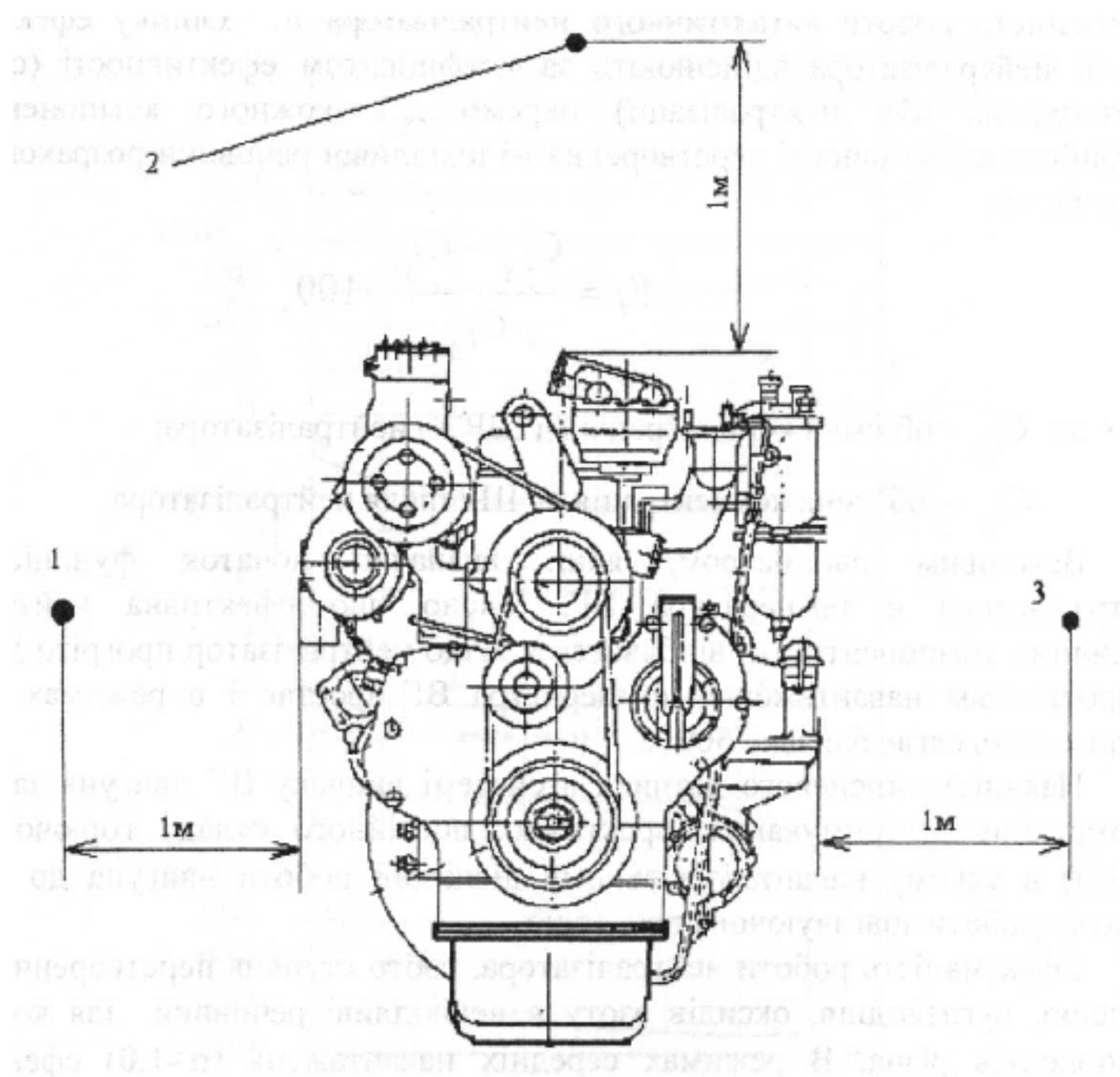


Рис. 10. Розташування точок вимірювання шуму

Приклад побудови характеристик шуму від навантаження  $L_{mp}=f(N)$  і частоти обертання колінчастого вала двигуна  $L_{mp}=f(n)$  показано на рис. 3а і рис. 3б додатку Б відповідно. Зокрема із залежностей видно, що як із збільшенням навантаження, так і із збільшенням частоти обертання дизеля, середній звуковий тиск  $L_{mp}$  зростає.

Допустимі рівні звуку для двигунів, виробництво яких розпочато 01.07.84 р., під час роботи двигуна з повним навантаженням на різних частотах обертання колінчастого вала, не повинно перевищувати значень наведених на рис. 11.

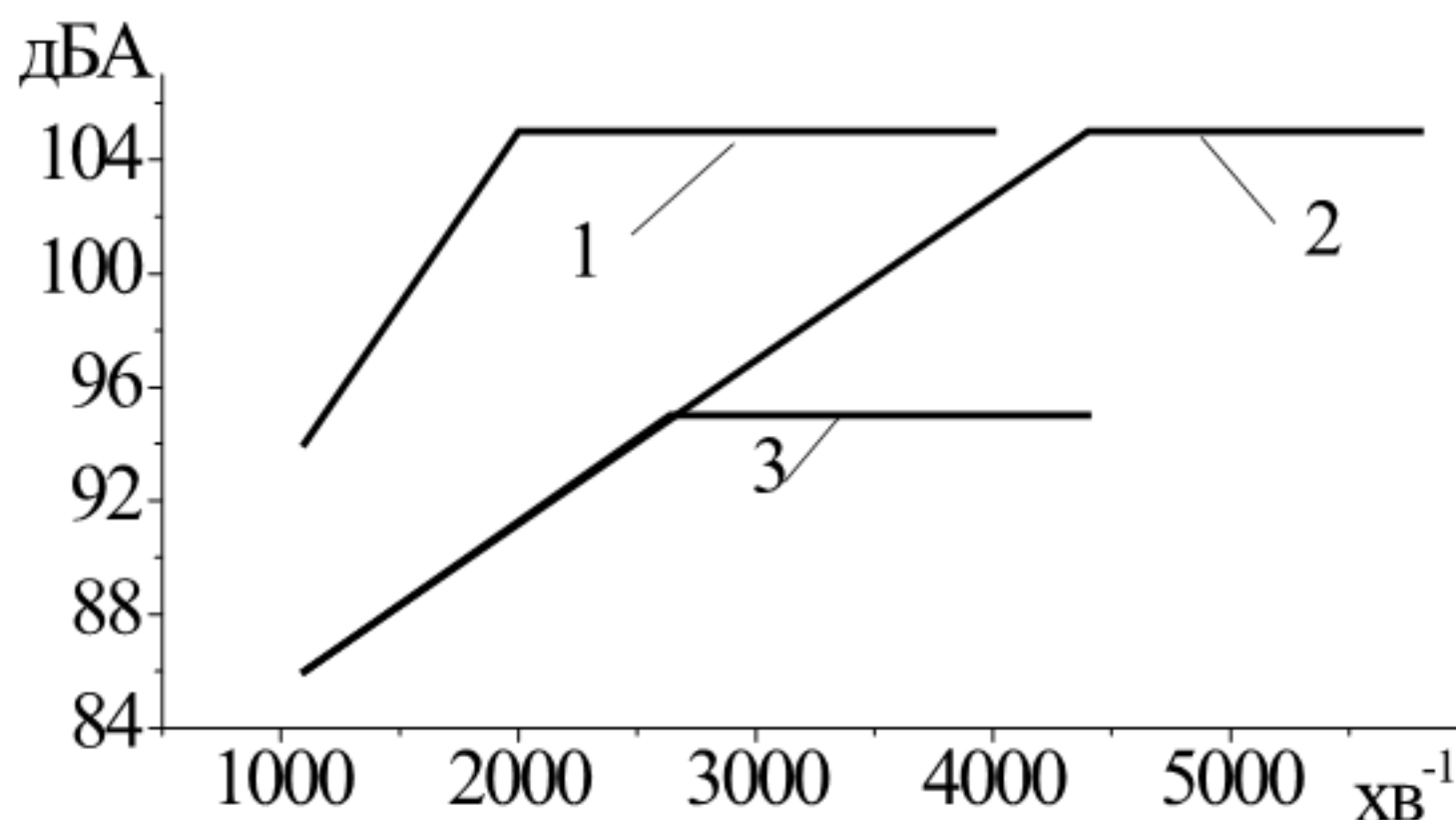


Рис.11. Допустимі рівні звуку двигунів різних типів:

- 1 – для дизелів без наддуву і з наддувом; 2 – для двигунів з іскровим запалюванням легкових автомобілів і вантажних автомобілів повною масою до 3,5 т включно; 3 – для двигунів з іскровим запалюванням вантажних автомобілів повною масою більше 3,5 т і автобусів.

Перед початком вимірювання шуму двигуна перемикачем 10 (рис. 9) встановлюють фільтр для октавної смуги 1000Гц , перемикачем 11 вибирають часову характеристику "F" (швидко) та перемикачем 12 – підключають частотну корегуючу характеристику А.

Якщо стрілка приладу перебуває на початку шкали (0...10) дБ, то спочатку перемикачем "ДЕЛИТЕЛЬ" dВІ, а потім dВІІ, її виводять на середину шкали.

Якщо в процесі вимірювання періодично загоряється індикатор 13 "ПЕРЕГРУЗ", необхідно перемикач dВІ перевести на більш високий рівень. Для визначення результатів вимірювання необхідно до показника шкали 14а, розміщеної на передній панелі приладу і позначеної світодіодом додати показники стрілкового приладу 5.

При значних коливаннях стрілки приладу необхідно перемикач 11 "РОД РАБОТЫ" перемкнути в положення "S" (повільно).

### ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Перша половина роботи полягає у визначенні характеристики шуму дизеля від навантаження. Виміри здійснюють за постійної частоти обертання вказаної викладачем. Перше вимірювання здійснюють під час роботи дизеля без навантаження. За результатами трьох вимірів у встановлених точках, які заносять у протокол (табл. 2 додатку А), визначають середнє арифметичне значення звукового тиску  $L_{mp}$ . Друге і наступні вимірювання виконують за послідовного збільшення навантаження дизеля до максимального значення при  $n = \text{const}$ . Всього кількість замірів має бути здійснена в 6...7 режимах.

За вищеприписаною методикою отримують залежність  $L_{mp}$  середнього значення звукового тиску під час роботи дизеля за зовнішньою швидкісною характеристикою. Кількість встановлених режимів має бути не менше 6...7 з щоразовим збільшенням частоти обертання на 100...150 хв<sup>-1</sup>.

Після заповнення протоколу випробувань і визначення середнього звукового тиску будують залежності  $L_{mp} = f(N)$  і  $L_{mp} = f(n)$ .

За результатами випробувань необхідно проаналізувати перебіг залежності  $L_{mp}$  від параметрів роботи двигуна. Максимальні значення середнього звукового тиску і відповідні їм навантаження та частоту обертання записати.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що називають характеристикою шуму двигуна?
2. Як розміщується мікрофон під час визначення шумових характеристик?
3. Прилади, які використовуються для визначення шумових характеристик двигунів. Принцип їх роботи.
4. Який порядок підготовки шумоміра до виконання вимірювань?
5. Порядок визначення характеристик шуму двигуна.



*Лабораторна робота №4*  
**Регулювання бензинового двигуна  
на мінімальну токсичність**

Під час роботи автомобільних двигунів у навколишнє середовище викидається ряд шкідливих речовин. Особливо відчутно забруднення атмосферного повітря двигунами транспортних машин різного призначення в населених пунктах. Правильна технічна експлуатація цих машин, дозволяє значно зменшити кількість шкідливих викидів.

Основне джерело викидів шкідливих речовин автомобільних двигунів – відпрацьовані гази, які мають складний хімічний склад. Поряд з нетоксичними компонентами (азот, кисень, водень, водяна пара) в них є речовини, які шкідливо діють на навколишнє середовище і людину. В вершу чергу до таких відносяться оксид вуглецю ( $CO$ ), вуглеводні ( $C_mH_n$ ), оксид і діоксид азоту ( $NO$ ;  $NO_2$ ), альдегіди, діоксид сірки, сажа, сполуки свинцю, канцерогенні речовини.

Найбільша частика загальної кількості шкідливих речовин припадає на оксид вуглецю – газ без кольору і запаху, який утворюється при неповному окисленні палива.

Вміст 0,01 %  $CO$  в повітрі при дії більше однієї години викликає головну біль і пониження працездатності. Довгочасне вдихання  $CO$  приводить до появи атеросклерозу, виникнення інфаркту міокарда, розвитку легневих захворювань.

Проведені дослідження показують, що неправильно відрегульований двигун у першу чергу шкідливо впливає на працездатність водія, так як концентрація оксиду вуглецю і вуглеводнів в кабіні автомобіля підвищується в 1,5–2 рази. Також в складі відпрацьованих газів автомобільних двигунів є велика кількість різних вуглеводнів. Поряд з оксидом вуглецю і вуглеводнями в циліндрі двигуна утворюються оксиди азоту.

Кількість шкідливих викидів під час експлуатації автомобільних двигунів багато в чому залежить від технічного стану і регулювань систем і агрегатів двигуна.

Для зменшення забруднення навколишнього середовища автомобільними двигунами введені стандарти, що обмежують вміст шкідливих речовин. У відпрацьованих газах бензинових автомобільних двигунів обмежується вміст оксиду вуглецю і вуглеводнів під час роботи двигуна на холостому ході при мінімальній  $n_{min}$  і підвищеній  $n_{nidv}$  частотах обертання.

Допустимі значення вмісту оксиду вуглецю і вуглеводнів приведені в таблиці 3. Під час контрольних перевірок органами Державтоінспекції в режимі  $n_{min}$  допускається вміст оксиду вуглецю у відпрацьованих газах до 3 %.

Таблиця 3

Допустимі значення вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах бензинових двигунів.

Частота обертання	Гранично допустимий вміст оксиду вуглецю, %	Гранично допустимий вміст вуглеводнів, млн. <sup>-1</sup> , для двигунів з числом циліндрів	
		до 4	більше 4
$n_{min}$	1,5	1200	3000
$n_{nidv}$	2,0	600	1000

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Перевірка вмісту оксиду вуглецю у відпрацьованих газах автомобіля.

1.1. Прогріти газоаналізатор не менше 20–30 хвилин. Встановити нульові покази газоаналізатора.

1.2. Прогріти двигун автомобіля до температури не нижче робочої температура охолоджуючої рідини чи моторного масла, встановити важіль переключення передач у нейтральне положення, загальмувати автомобіль стоянковим гальмом, заглушити двигун, встановити трубопровід газоаналізатора у випускную трубу автомобіля на глибину не менше 300 мм, відключити тахометр.

1.3. Запустити двигун, збільшити частоту обертання двигуна до  $n_{\text{відв}}$  ( $2000 \text{ хв}^{-1} - 0,8 \cdot n_{\text{ном}}$ ) і пропрацювати на цьому режимі не менше 15 с.

1.4. Встановити мінімальну частоту обертання вала двигуна і, не раніше як через 20 с, виміряти вміст оксиду вуглецю (вуглеводнів).

1.5. Встановити підвищену частоту обертання вала двигуна і, не раніше як через 30 с, виміряти вміст оксиду вуглецю (вуглеводнів).

1.6. Заглушити двигун, вийняти трубопровід з випускної труби автомобіля.

1.7. Після встановлення стрілки газоаналізатора біля нульової відмітки виключити насос.

2. Регулювання бензинового двигуна на мінімальну токсичність відпрацьованих газів.

2.1. Перед регулюванням переконатись, в справності систем запалювання, звернувши особливу увагу на стан свічок і правильність зазорів між електродами, а також перевірити та якщо необхідно, відрегулювати зазори в клапанному механізмі.

2.2. Встановити трубопровід газоаналізатора у випускную трубу на глибину не менше 300 мм. (випускний трубопровід повинен бути справним).

2.3. Запустити двигун, прогріти його до температури охолоджуючої рідини 80–90°C.

2.4. Упорним гвинтом дросельних заслінок (гвинтом кількості) встановити стійку роботу двигуна на холостому ході при частоті обертання 550–650  $\text{хв}^{-1}$ .

2.5. Поступово закручуючи гвинт токсичності, встановити вміст оксиду вуглецю в межах 1,4–1,5 %, після чого гвинт токсичності підлягає опломбуванню. Наступне регулювання проводити гвинтом якості, забезпечуючи найбільш стійку роботу двигуна. Вміст вуглеводнів не повинен перевищити 1200  $\text{млн}^{-1}$ .

2.6. Гвинтом кількості відновити частоту обертання 550–650  $\text{хв}^{-1}$ .

2.7. Приводом дросельних заслінок збільшити частоту обертання до 2600–2800  $\text{хв}^{-1}$  і перевірити вміст оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах. Вміст CO більше 2 % і вуглеводнів більше 600  $\text{млн}^{-1}$ . вказує на несправність карбюратора.

2.8. Перевірити роботу двигуна: натиснути на педаль дросельних заслінок і різко відпустити. Якщо двигун заглохне, то закручуванням гвинта кількості збільшити частоту обертання холостого ходу, але не більше 650  $\text{хв}^{-1}$ . Неможливість одержання стійкої роботи двигуна на холостому ході вказує на необхідність перевірки двигуна і його систем і усунення виявлених несправностей.

2.9. Результати вимірювань занести в протокол (табл. 3 додатку А), зробити висновок про технічний стан двигуна.



## КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Основні токсичні компоненти, що викидаються під час роботи автомобільних двигунів.
2. Вміст яких шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів нормується в умовах експлуатації?
3. Порядок перевірки вмісту шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів.
4. Порядок регулювання бензинового двигуна на мінімальну токсичність відпрацьованих газів.

### *Лабораторна робота №5*

#### **Контроль димності відпрацьованих газів дизелів**

Специфіка сумішоутворення в дизелях така, що паливо подається в камеру згоряння в кінці такту стиснення в розпорошеному вигляді за допомогою форсунки. Середній діаметр краплин палива приблизно 50 – 80 мкм, максимальний – до 200 мкм. Подальший процес сумішоутворення залежить від типу камери згоряння, що використовується в дизелі.

При об'ємному сумішоутворенні відбувається нагрівання краплин, переважно у повітрі, що знаходиться в камері згоряння, випаровування та перемішування парів з повітрям, спалахування та згоряння утвореної суміші.

При плівковому способі сумішоутворення паливо в основному потрапляє на розігріті стінки камери згоряння, де утворює плівку, з якої в подальшому відбувається його випаровування, утворення суміші та її згоряння:

При об'ємно-плівковому способі сумішоутворення мають місце обидва вищевказані процеси.

Характерним для всіх трьох способів сумішоутворення є малий час, що відводиться на приготування суміші, та значна локальна нерівномірність її складу порівняно з бензиновими двигунами з зовнішнім сумішоутворенням.

Тому в дизелях, щоб мати достатню повноту згоряння суміші, необхідно забезпечити значний надлишок повітря в камері згоряння, порівняно з теоретично необхідним ( $\alpha > 1,3$ ), рівномірно розподілити паливо по об'єму камери згоряння (для об'ємного сумішоутворення) та забезпечити рух повітря відносно краплин або плівки палива.

Незважаючи на виконання цих умов, частина краплин або плівки не встигає повністю випаритися та перемішатися з повітрям і стає джерелом виникнення частинок сажі.

Вказані вище особливості сумішоутворення призводять до того, що робота дизелів супроводжується значно більшим викидом сажі порівняно з бензиновими двигунами. Шкідливість сажі обумовлена тим, що завдяки пористій структурі її частинки адсорбують токсичні речовини, що є у відпрацьованих газах.

При нормуванні шкідливих викидів дизелів для нових автомобілів законодавчо обмежується вміст у відпрацьованих газах  $CO$ ,  $C_mH_n$ ,  $NO_x$  та сажі, для автомобілів, що знаходяться в експлуатації – вміст сажі.

Вміст сажі в ВГ зручно вимірювати за їх прозорістю, або оптичною щільністю. Чим більше частинок сажі в ВГ, тим нижча їх прозорість. Оптичну



щільність ВГ називають димністю. Крім сажі на димність впливає наявність у ВГ частинок моторного масла, що потрапляє у камеру згоряння дизеля при спрацюванні циліндро-поршневої групи (ЦПГ). За нуль димності приймається прозорість повітря, за 100% – повністю непрозорі для світлових променів ВГ.

Найбільший вплив на димність ВГ спричиняє склад паливо-повітряної суміші.

Димність відпрацьованих газів під час роботи дизеля за зовнішньою характеристикою більша порівняно з роботою за регуляторними характеристиками. Крім цього на димність впливає якість сумішоутворення, що визначається технічним станом паливної апаратури та її регулюванням, а також стан ЦПГ та газорозподільного механізму. Нижче наведено перелік основних несправностей, які можуть спричинити зміну технічного стану дизеля та димності:

- неправильне регулювання номінальної подачі палива паливним насосом високого тиску (ПНВТ);
- неправильне регулювання тиску, який відповідає початку підйому голки форсунки;
- закоксування отворів розпилювача форсунки;
- спрацювання напрямної частини запірної голки форсунки;
- неправильне регулювання подачі палива секціями ПНВТ;

Таким чином, димність ВГ не тільки характеризує екологічні характеристики дизеля, а й одночасно є важливим діагностичним параметром, за яким з мінімальними витратами часу можна контролювати його технічний стан.

Вимоги до ВГ дизелів, що знаходяться в експлуатації, встановлені ГОСТ 21393-75 "Автомобіли с дизелями. Дымность отработавших газов. Нормы и методы измерений".

Режими, в яких виконується контроль, та норми димності для цих режимів, що передбачені в стандарті, наведені в табл. 4.

Таблиця 4.

Режими контролю та норми димності для автомобілів з дизелями за ГОСТ 21393-75

Режим вимірювання димності	Димність, % не більше
Вільне прискорення для автомобілів з дизелями:	
без наддуву	40
з наддувом	50
Максимальна частота обертання	15

## ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ РОБОТИ

1. Підготовка дизеля до випробувань.

1.1. Оглянути двигун та впевнитись у відсутності підтікань палива, охолоджуючої рідини, надійності кріплень захисних огорожень, герметичності системи випуску.

1.2. Впевнитись в необхідних рівнях оливи, охолоджуючої рідини, наявності палива.

1.3. Після тривалих зупинок двигуна прокачати за допомогою ручного насоса систему живлення дизеля.

1.4. Ввімкнути живлення тумблером і, натиснувши на кнопку включення стартера, запустити двигун.

1.5. За допомогою важеля керування подачею палива встановити за тахометром частоту обертання колінчастого вала двигуна  $1200 \pm 100 \text{ хв}^{-1}$  і прогріти двигун до температури охолоджуючої рідини  $60^\circ$ .

1.6. Після прогріву двигуна, встановити мінімальну частоту обертання колінчастого вала  $n_{min} = 550 \pm 50 \text{ хв}^{-1}$  і впевнитись, що двигун стало працює у цьому режимі.

1.7. Заглушити двигун.

1.8. Зняти заглушку пробовідбірника випускної системи.

1.9. За допомогою з'єднувальних труб димоміра підключити оптичний блок до пробовідбірника.

1.10. Запустити двигун та приступити до контролю димності відпрацьованих газів.

2. Контроль димності ВГ на режимі вільного прискорення.

2.1. Встановити важіль керування подачею палива в положення, що відповідає мінімальній частоті обертання колінчастого вала.

2.2. Встановити кнопку П/Т на передній панелі БГО димоміра у відтиснуте положення.

2.3. Виконати 10 циклів вільного прискорення. Один цикл: у сталому режимі мінімальної частоти обертання швидко, але не різко перевести важіль керування подачею палива вперед до упору і після досягнення максимальної частоти обертання повернути важіль у вихідне положення. Інтервал між циклами повинен бути рівномірним і не повинен перевищувати 15 с.

2.4. На останніх чотирьох циклах виконати вимірювання димності. Для цього перед кожним циклом треба натиснути кнопку СБР на передній панелі БПІ димоміра і на цифровому табло з'являться зафіксовані димоміром максимальні значення димності. Випробування вважаються імовірними якщо покази димності останніх чотирьох циклів відрізняються між собою не більше ніж на 6 одиниць. За результат димності приймають середньоарифметичне значення по цих чотирьох циклах.

2.5. Якщо покази димності останніх чотирьох циклів відрізняються між собою більше 6 одиниць, вимірювання повторюють. Якщо і при повторному вимірюванні ця різниця збереглася, необхідно здійснити пошук причини несправності і усунути її.

3. Контроль димності ВГ на режимі максимальної частоти обертання колінчастого вала ( $n_{max}$ ).

3.1. Виконати не пізніше як через 60 с. після вимірювання димності на режимі вільного прискорення.

3.2. Встановити кнопку ПУТ на передній панелі БШ димоміра в натиснуте положення.

3.3. Задати режим максимальної частоти обертання колінчастого вала дизеля, перемістивши важіль керування подачею палива вперед до упору.

3.4. У сталому режимі максимальної частоти обертання, але не раніше, ніж через 30 с після переміщення важеля, виміряти димність за показами на цифровому табло димоміра. Випробування вважаються дійсними, якщо коливання показів димності не перевищує 6 одиниць.

3.5. Якщо коливання показів перевищує 6 одиниць, вимірювання повторюють. Якщо і під час повторного вимірювання ця різниця збереглася, необхідно здійснити пошук причини несправності і усунути її.

3.6. Перемістити важіль керування подачею палива у положення мінімальної частоти обертання колінчастого вала (на себе до упору) і зупинити двигун.

3.7. Вимкнути димомір та від'єднати його від системи випуску ВГ дизеля.

Результати вимірів занести в протокол випробувань (табл. 4 додатку А) та порівняти їх з нормативними даними, що наведені в табл. 1.

### КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Які особливості сумішоутворення в дизелі?
2. Що таке димність відпрацьованих газів?
3. Чому для дизелів за ГОСТ 21393-75 обмежуються лише, визначенням димності ВГ?
4. Як впливає технічний стан дизеля на димність ВГ?
5. Які норми димності ВГ для автомобілів з дизелями, що знаходяться в експлуатації, встановлені ГОСТ 21393-75?
6. Яку будову має димомір ИНА-109?
7. Як здійснюється контроль димності ВГ на режимі вільного прискорення?
8. Як здійснюється контроль димності ВГ на режимі максимальних обертів колінчастого вала дизеля?
9. Які шляхи зниження димності ВГ дизелів?

### *Лабораторна робота № 6*

#### **Визначення масових викидів шкідливих речовин з відпрацьованими газами ДВЗ**

Концентрації компонентів, що входять у ВГ змінюються в широких межах і залежать від типу двигуна, виду споживаного палива, режимів його роботи, складу паливоповітряної суміші і т.і. Вимірювання концентрації ШР здійснюють у різний спосіб, залежно від застосованого методу. Тобто виміри здійснюють в сухих, вологих і розбавлених ВГ.

Проте концентрації ШР у ВГ не характеризують повністю шкідливий вплив транспортного засобу на довкілля, тому що кількість ШР, що надходить в атмосферу з ВГ залежить не лише від їх концентрації, а і від кількості продуктів згорання, що утворюються в циліндрах двигуна – тобто кількості ВГ. Кількість шкідливих речовин, що викидаються з ВГ двигуна, визначають їх масою, розрахунок якої здійснюють за різними методиками. При виборі методики для розрахунку перевагу віддають тій, де потребується менше вхідних даних.

Залежно від наявності обладнання кількість ВГ вимірюють спеціальними витратомірами або розраховують кількість сухих і вологих продуктів згорання за вимірними витратами повітря і палива.

Під час проведення лабораторних робіт застосовували газоаналізатори, в яких концентрацій оксиду вуглецю і вуглеводнів вимірювали методом інфрачервоної спектроскопії – у сухих продуктах згорання; оксиди азоту методом хімічної



люмінесценсії, а димність відпрацьованих газів методом просвічування (турбодиметричним) – у вологих.

На практичних заняттях необхідно розрахувати масові викиди ШР за протоколами характеристик токсичності ДВЗ, отриманими під час лабораторних робіт. Результати розрахунків записують у протокол (додаток В), за якими будують графічні залежності зміни масових викидів окремих компонентів ВГ та сумарної зведеної токсичності ДВЗ від складу паливоповітряної суміші.

Розрахунок кількості сухих і вологих продуктів згорання здійснюють за даними випробувань записаними в протоколах – годинними виратами палива і повітря:

$$M_{ВГ} = a \cdot (b \cdot G_n + G_{нов}), \quad \text{кмоль/год}, \quad (18)$$

де  $G_{нов}$  – годинна витрата повітря, кг/год;

$G_n$  – годинна витрата палива, кг/год;

$a$  і  $b$  – розраховані коефіцієнти, що залежать від складу паливоповітряної суміші ( $\alpha$ ) та виду палива.

Таблиця 5

Значення розрахованих коефіцієнтів  $a$  і  $b$

Вид палива	Для сухих				Для вологих			
	$\alpha \leq 1$		$\alpha > 1$		$\alpha \leq 1$		$a > 1$	
	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$	$a$	$b$
Бензин	0,02259	6,104	0,03425	-1,0696	0,027	5,31	0,03425	1,058
Дизельне паливо			0,03425	-0,918			0,03425	0,924
Стиснутий природний газ (метан $CH_4$ )	0,02137	7,0785	0,034215	-1,9567	0,02703	6,9367	0,03421	1,8269
Пропан автомобільний ( $C_3H_8$ )	0,02244	6,2746	0,03423	-1,3278	0,02704	5,882	0,03423	1,3272
Етиловий спирт ( $C_2H_5OH$ )	0,02193	4,090	0,034216	-0,6313	0,02703	4,0141	0,03422	1,268
Метанол ( $CH_3OH$ )	0,02163	3,0684	0,03420	-0,4555	0,02702	3,4696	0,03420	1,3719

Для визначення масових викидів частинок (сажі), необхідно визначити ще об'єм ВГ, приведений до нормальних умов:

$$V_{ВГ} = \left[ \frac{p_0 \cdot T_n}{p_n \cdot T_0} \right] \cdot M_{ВГ} \cdot 22,4, \quad \text{м}^3/\text{год}. \quad (19)$$

де  $p_n, T_n$  – тиск і абсолютна температура за нормальних умов:

$$p_n = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}, \quad T_n = 273,15 \text{ К}.$$

Залежно від того, в яких одиницях виміряно концентрацію  $i$ -ї ШР, її масові викиди розраховують за залежностями:

– якщо в об'ємних процентах (%):

$$G_i = \frac{C_i''}{100} \cdot \mu_i \cdot M_{ВГ}, \quad \text{кг/год}; \quad (20)$$

– якщо в об'ємних частинках на мільйон ( $\text{млн}^{-1}$ ):

$$G_i = \frac{C_i''}{10^6} \cdot \mu_i \cdot M_{BG}, \text{ кг/год.} \quad (21)$$

– якщо в масових одиницях (г/м<sup>3</sup>)

$$G_i = C_i \cdot V_{BG} \cdot 10^{-3}, \quad (22)$$

де  $C_i''$ ,  $C_i'$ ,  $C_i$  – концентрації шкідливих речовин;

$\mu_i$  – молекулярна маса  $i$ -ї шкідливої речовини, кг/кмоль ( $\mu_{CO} = 28$  кг/кмоль,  $\mu_{C_6H_{14}} = 86$  кг/кмоль,  $\mu_{CO_2} = 44$  кг/кмоль,  $\mu_{NO_2} = 46$  кг/кмоль);

$M_{BG}$  – кількість молів ВГ за годину.

Звернути увагу на те, що концентрації вуглеводнів виміряні приладами селективного поглинання інфрачервоного випромінювання є концентраціями однієї вуглеводневої сполуки (переважно гексану). Тому щоб отримати концентрацію сумарних вуглеводнів, що містяться у ВГ необхідно ці значення збільшити у 2,5 рази.

За масовими викидами окремих компонентів ВГ розраховують сумарні масові викиди шкідливих речовин.

$$G_{\Sigma CO} = \sum_{i=1}^n R_i \cdot G_i, \text{ ум. кг/год.} \quad (23)$$

Кожній шкідливій речовині, за ступенем впливу на організм людини, властива певна агресивність, яку враховують коефіцієнтом відносної агресивності  $R_i$  (за одиницю відносної агресивності прийнята агресивність оксиду вуглецю  $CO$ ). Значення коефіцієнтів відносної агресивності  $R_i$  для основних шкідливих речовин, що містяться у ВГ наведено в табл. 6.

Таблиця 6

Значення коефіцієнтів відносної агресивності  $R_i$  основних шкідливих речовин, які містяться у ВГ автомобілів

Шкідлива речовина	$R_i$
Оксид вуглецю, $CO$	1,0
Сірчистий ангідрид, $SO_2$	22,0
Оксиди азоту в перерахунку за масою на $NO_2$	41,1
Леткі низькомолекулярні вуглеводні (пара рідких палив за вуглецем)	3,16
3,4 бенз( $\alpha$ )пірен	1260000
Формальдегід	240
Акролеїн	294
Ацетальдегід	41,6
Неорганічні сполуки свинцю (за $Pb$ )	22400
Тверді частинки у ВГ дизелів	200

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В. та ін. Екологія та автомобільний транспорт: Навчальний посібник 2-ге вид., перероблене та доповнене. – К.: Арістей, 2008. – 296 с.
2. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1981.– 160 с.
3. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М.: Высш. шк., 1975. – 320 с.
4. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний.– Введ. 01.01.81.
5. ДСТУ 4277:2004.
6. ДСТУ 4276:2004.
7. Гутаревич Ю.Ф. Охрана окружающей среды от загрязнения выбросами двигателей. К.: Урожай, 1989. – 224с.
8. Защита окружающей среды от вредных выбросов автомобильного транспорта // Ю.Ф.Гутаревич, А.Г.Говорун, А.И.Ковалев. К.: УМФ ВО, 1989. – 128с.
9. Методика розрахунку викидів забруднюючих речовин пересувними джерелами. Затверджена Держкомстатом України. Вип. ВАТ "УкрНТЕК", м. Донецьк, 1999 , - 107 с.
10. Временная типовая методика определения экономической эффективности осуществления природоохранных мероприятий и оценки экономического ущерба, причиняемого народному хозяйству загрязнением окружающей среды./ А.С.Быстрое, В.В.Варанкин, М.А.Виленский и др. М.: Экономика, 1986.– 96 с.



**ДОДАТОК А**  
**Структура протоколів випробувань двигунів і автомобілів**

Таблиця А1

Протокол випробувань токсичних характеристик двигунів

Протокол № \_\_\_\_\_

(назва характеристики)

Двигун \_\_\_\_\_  
Стенд \_\_\_\_\_  
Паливо \_\_\_\_\_

Атмосферний тиск \_\_\_\_\_  
Температура \_\_\_\_\_  
Дата \_\_\_\_\_

Параметр	Одиниці вимірювання	Номер дослідження							
		1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Виміряні величини</b>									
$n$	хв. <sup>-1</sup>								
$M_k$	Н·м								
$\Delta G_n$	г								
$\tau_n$	с								
$\Delta V_{пов}$	м <sup>3</sup>								
$\tau_{пов}$	с								
$\theta$	град.								
$t_{вод}$	°С								
$t_{ВГ}$	°С								
$t_m$	°С								
$p_m$	МПа								
$C''_{CO}$	%								
$C''_{CO_2}$	%								
$C'_{C_m H_n}$	млн. <sup>-1</sup>								
$C'_{NO_x}$	млн. <sup>-1</sup>								
$N$	%								
<b>Розраховані величини</b>									
$N_e$	кВт								
$G_n$	кг/год								
$G_{пов}$	кг/год								
$g_e$	г/кВт·год								
$\alpha$									
$\eta_v$									

## Протокол випробувань характеристик шуму двигунів

Протокол № \_\_\_\_\_

*Визначення впливу швидкісного і навантажувального режимів роботи двигуна на шумове випромінювання*

Двигун \_\_\_\_\_

Атмосферний тиск \_\_\_\_\_

Стенд \_\_\_\_\_

Температура \_\_\_\_\_

Паливо \_\_\_\_\_

Дата \_\_\_\_\_

Параметр	Одиниці вимірювання	Номер досліду							
		1	2	3	4	5	6	7	8

*За навантаженням*

Виміряні величини									
$n$	хв. <sup>-1</sup>								
$M_k$	Н·м								
$L$	дБ								
$L$	дБ								
$L$	дБ								
$L_{mp}$	дБ								
Розраховані величини									
$N_e$	кВт								

*За частотою обертання*

Виміряні величини									
$n$	хв. <sup>-1</sup>								
$M_k$	Н·м								
$L$	дБ								
$L$	дБ								
$L$	дБ								
$L_{mp}$	дБ								

Протокол вимірювань вмісту оксиду вуглецю і вуглеводнів у відпрацьованих газах бензинового двигуна

Двигун	Рижим перевірки	Вміст СО, %		Вміст вуглеводнів, млн <sup>-1</sup> .	
		до регулювання	після регулювання	до регулювання	після регулювання
	$n_{min}$				
	$n_{идв}$				

## Протокол контролю димності дизеля

Модель двигуна	Результати вимірювання димності, %					
	Режим вільного прискорення					Режим $n_{max}$
	1	2	3	4	середнє значення	

РОЗРАХУНОК МАСОВИХ ВИКИДІВ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН З  
ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДВЗ

Двигун \_\_\_\_\_  
 Стенд \_\_\_\_\_  
 Паливо \_\_\_\_\_

Атмосферний тиск \_\_\_\_\_  
 Температура \_\_\_\_\_  
 Дата \_\_\_\_\_

Параметр	Одиниці вимірювання	Номер дослідження							
		1	2	3	4	5	6	7	8
$a$									
$b$									
$M^c_{BG}$	кмоль/год								
$M^b_{BG}$	кмоль/год								
$G_{CO}$	кг/год								
$G_{C_6H_{14}}$	кг/год								
$G_{C_mH_n}$	кг/год								
$G_{NO_x}$	кг/год								
$G_{CO_2}$	кг/год								
$V_{BG}$	м <sup>3</sup> /год								
$C_C$	г/м <sup>3</sup>								
$G_C$	кг/год								
$G_{\Sigma CO}$	ум.кг/год								



ДОДАТОК Б  
Приклади графічних характеристик

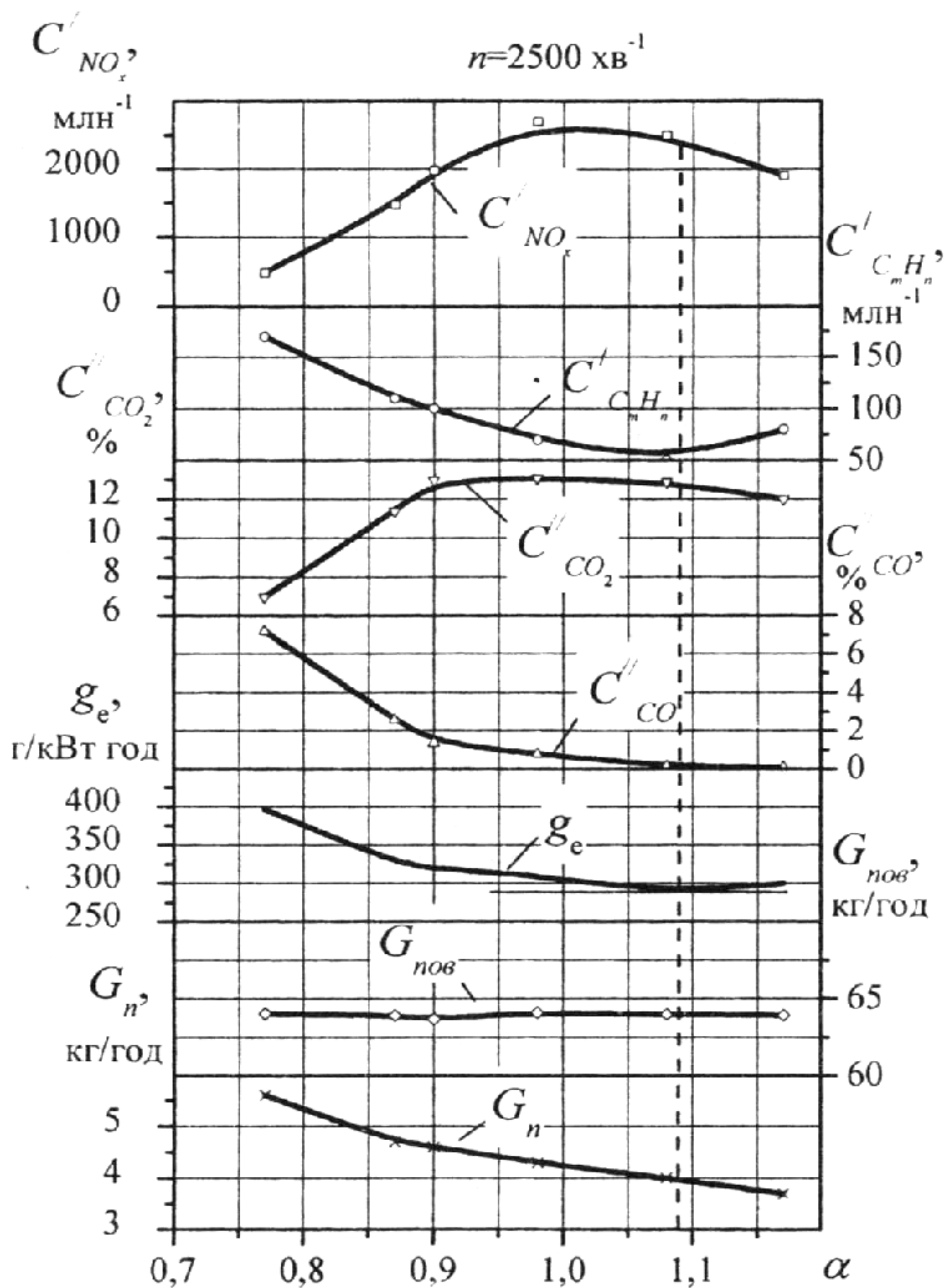


Рис. Б1. Приклад токсичної характеристики бензинового двигуна ВАЗ-2103

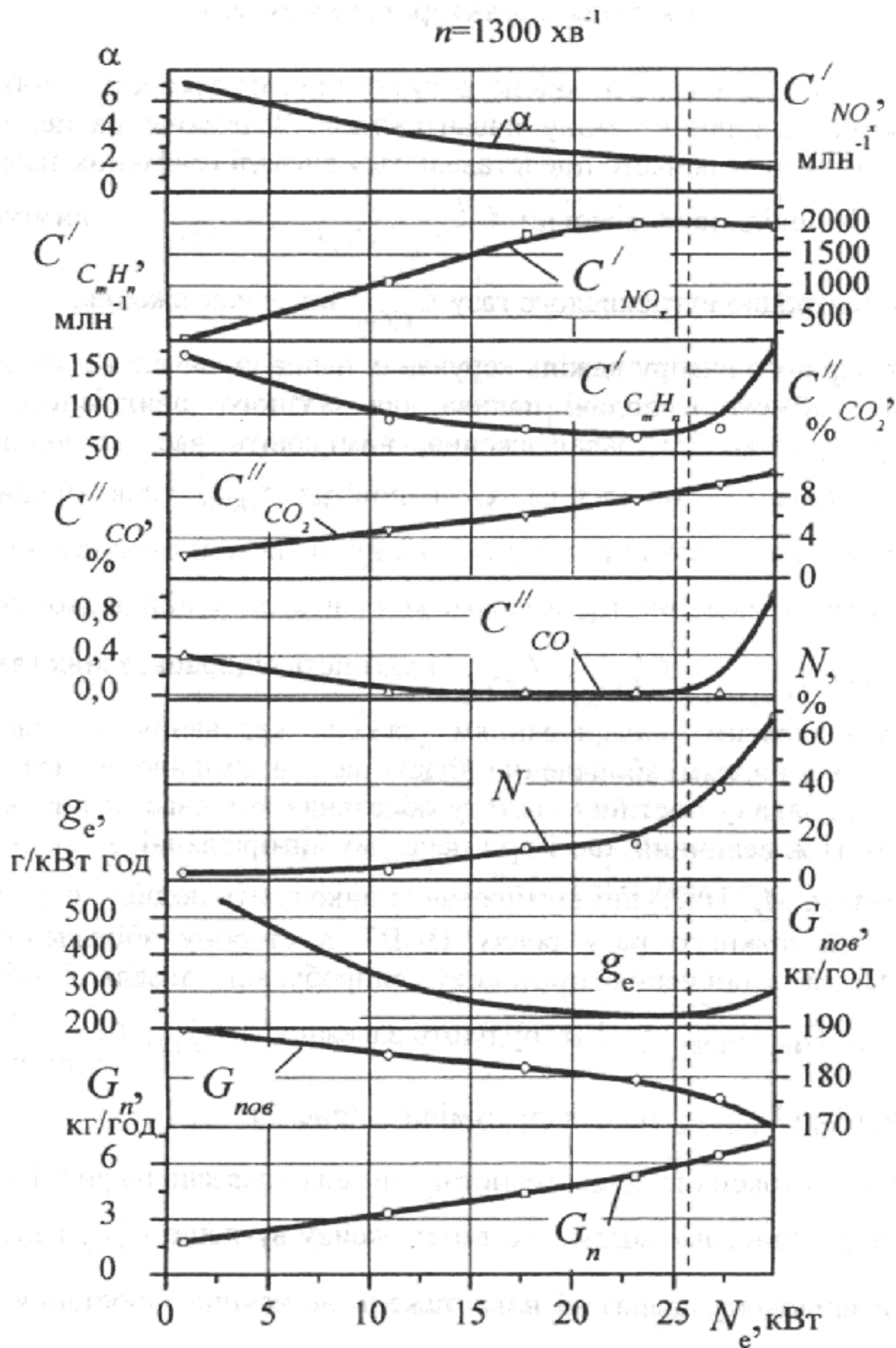


Рис. Б2. Приклад токсичної характеристики дизеля Д-243

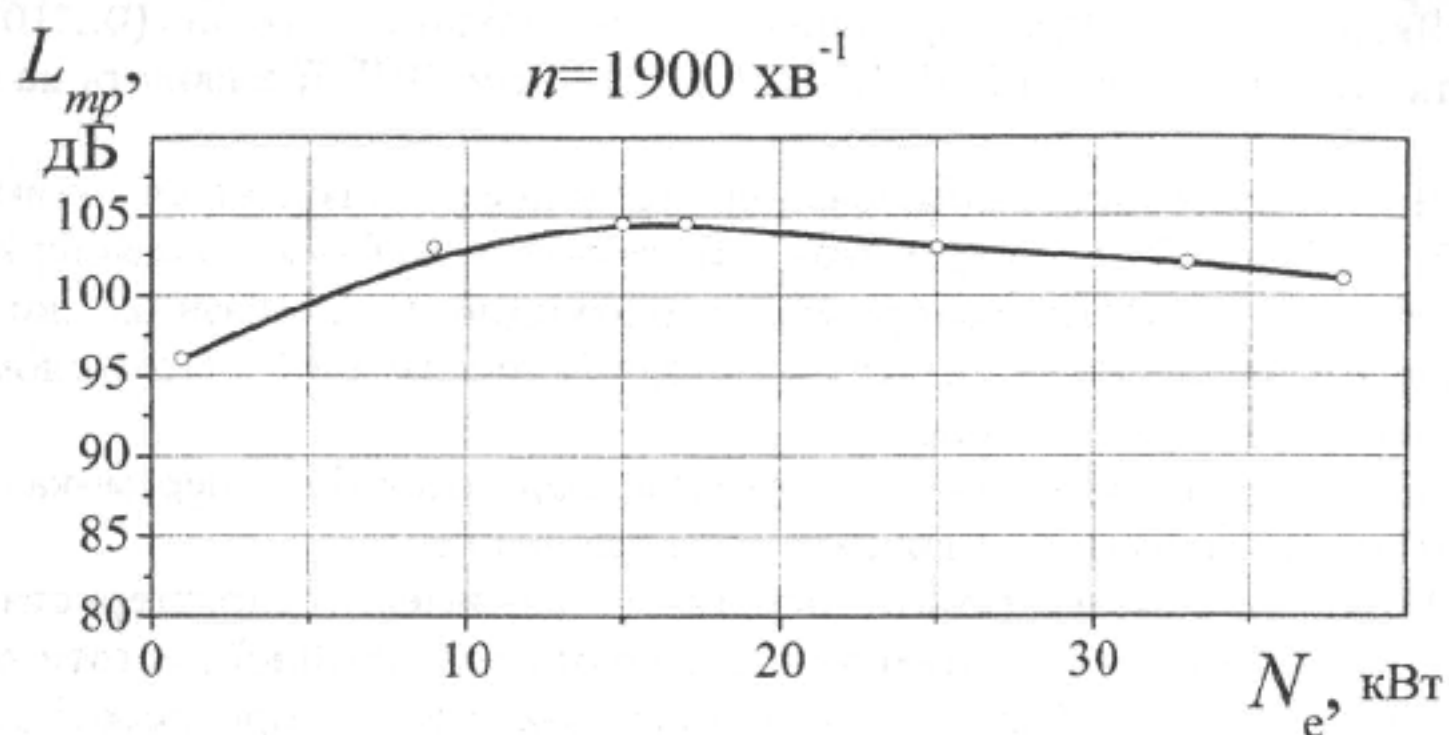
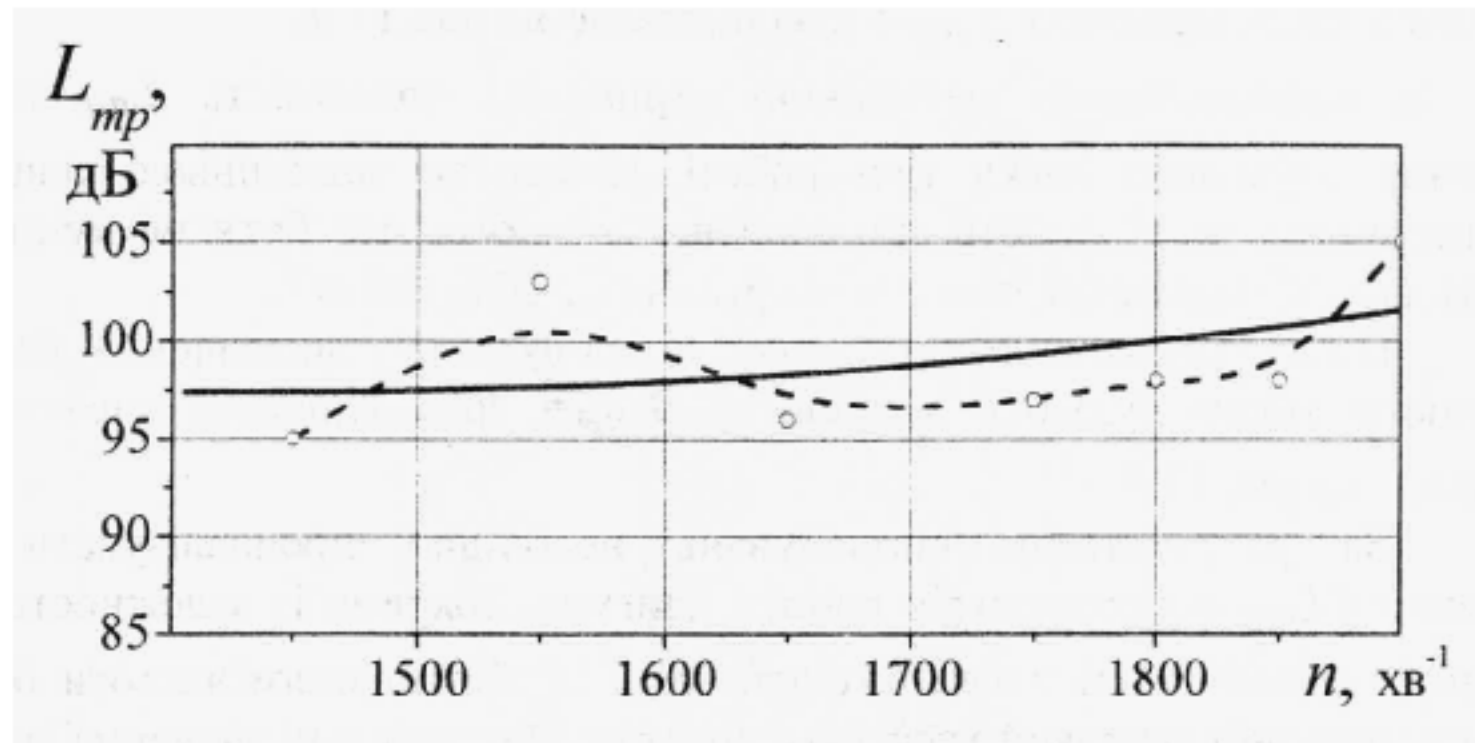


Рис. Б3. Приклад характеристики шуму дизеля Д-243 за навантаженням



б)

Рис. Б4. Приклад характеристики шуму дизеля Д-243 за частотою обертання колінчастого вала

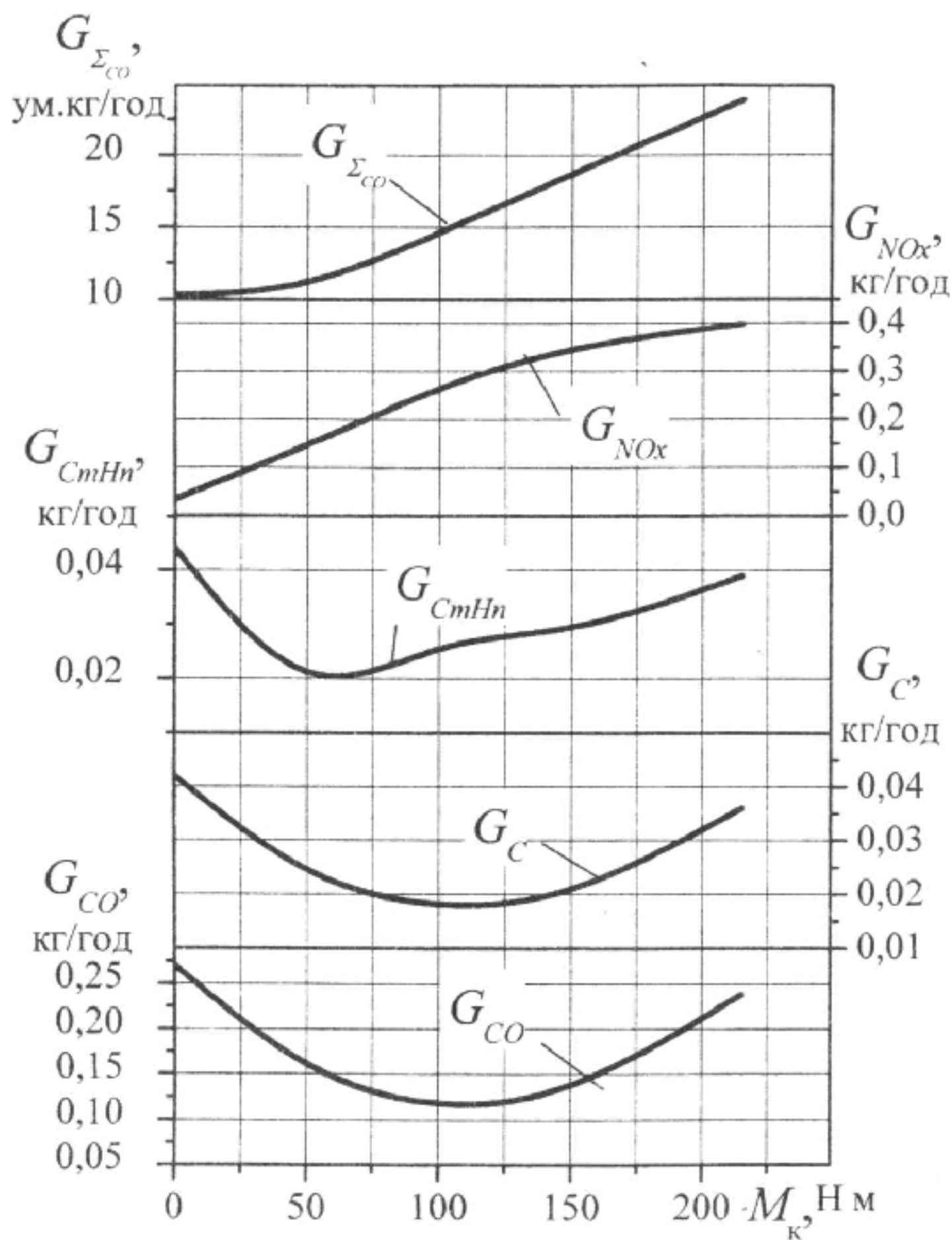


Рис. Б5. Приклад залежності зміни масових викидів окремих компонентів та сумарної зведеної токсичності ВГ від навантаження



# НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНЕ ВИДАННЯ

Екологія автомобільного транспорту

Комп'ютерний набір і верстка : В. Онищук

Укладачі: В.В.Стельмащук, кандидат технічних наук, доцент  
В.П. Онищук, кандидат технічних наук, доцент

Підп. до друку \_\_.\_\_.2020. Формат 60x84/16 Папір офс.  
Times New Roman Ум. друк арк. . Обл. - вид арк.  
Тираж 100 пр. Зам. \_\_

Інформаційно-видавничий відділ  
Луцького національного технічного університету  
43018 м. Луцьк, вул. Львівська, 75.  
Друк – ІВВ Луцький НТУ