

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ
УКРАЇНИ**

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання розрахунково-графічного завдання
з дисципліни «Екологізація ДВЗ»
для студентів спеціальності 8.05050304 «Двигуни
внутрішнього згорання» денної та заочної форм навчання

2013

Методичні вказівки до виконання розрахунково-графічного завдання з дисципліни «Екологізація ДВЗ» для студентів спеціальності 8.05050304 «Двигуни внутрішнього згорання» денної та заочної форм навчання / Укл.: Г. І. Слинько, Р. Ф. Сухонос – Запоріжжя: ЗНТУ, 2013. – 22 с.

Укладачі:

Г. І. Слинько, професор, д.т.н.
Р. Ф. Сухонос, магістр

Рецензенти:

В. О. Мазін, доцент, к.т.н.
І. І. Коваленко, доцент, к.т.н.

Відповідальний за випуск:

Г. І. Слинько, проф., д.т.н.

Затверджено
на засіданні кафедри
«Теплотехніка і гідравліка»
протокол № 5
від «25» січня 2013 р.

ЗМІСТ

1. ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ.....	4
2. РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ	
Комплексна паливно-екологічна оцінка ефективності екологізації ДВЗ.....	5
2.1 Завдання	5
2.2 Розрахунок масових викидів токсинів.....	13
2.3 Аналіз отриманих результатів.....	19
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	22

1 ЗАГАЛЬНІ ВІДОМОСТІ

Магістранти з двигунів внутрішнього згорання після вивчення дисципліни “Екологізація ДВЗ” повинні знати:

- методи математичного моделювання та експериментальних досліджень процесів створення токсичних речовин у відпрацьованих газах ДВЗ;
- нормативи обмеження викидів шкідливих речовин двигунами різних призначень;
- шляхи екологізації ДВЗ за рахунок зниження рівнів токсидів і димності випускних газів ДВЗ, перш за все шляхом комп’ютеризації керування та оптимізації процесів в ДВЗ за комплексним паливно-екологічним критерієм;
- засоби нейтралізації викидів двигунів;
- правові аспекти екологізації.

Для повного розуміння та засвоєння лекційного матеріалу з дисципліни і здобуття досвіду самостійного проведення інженерних розрахунків студенти повинні виконати розрахунково-графічне завдання (РГЗ) з комплексної паливно-екологічної оцінки ефективності екологізації ДВЗ різних типів.

Об’єктивною оцінкою екологічності ДВЗ є значення викидів токсичних речовин (кількісні та якісні), які визначаються експериментально. Як питомі, так і абсолютні значення викидів компонентів відпрацьованих газів вимірюються за різними системами, які для практичного використання потребують перерахунків.

В ході виконання РГЗ проводиться перерахунок на основі питомих значень викидів монооксиду вуглецю CO , вуглеводнів C_nH_m , оксидів азоту NO_x . Отримані значення враховують рід палива, режим роботи двигуна, вплив атмосферних умов, тощо.

Розрахунок здійснюється згідно Правил №49 ЄЕК ООН. Для зменшення кількості типових калькуляцій розрахунок приведено за спрощеною схемою випробувального циклу ДВЗ.

РГЗ виконуються у формі поза аудиторної роботи студентів за індивідуальними варіантами.

РГЗ оформлюється згідно СТП 15-96, оформлюється в наступному порядку:

- титульний лист звіту;
- умови РГЗ (переписати повністю);

– провести обчислення, обов'язково вказуючи одиниці вимірювання величин, наводити спочатку формули, тільки потім підставляти числові значення і проводити обчислення;

– на підставі виконаних розрахунків зробити висновки;

– навести перелік використаних джерел.

Звіт про виконання РГЗ студенти здають у вказані викладачем терміни на перевірку і після схвалення захищають з оцінкою.

Якщо студент вірно і вчасно виконав РГЗ, викладачу надається право заліку завдання без його захисту, при цьому береться до уваги загальне разкове відношення студента до предмета.

2 РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНЕ ЗАВДАННЯ

Комплексна паливно-екологічна оцінка ефективності екологізації ДВЗ

2.1 Завдання

Завдання до виконання РГЗ видається викладачем за наступною схемою.

При випробуванні двигуна _____ отримано графіки залежностей значень об'ємних концентрацій W_{NOx} , W_{CO} , W_{CnHm} , потужності N_e , та питомої витрати палива g_e від частоти обертання колінчастого валу двигуна у діапазоні від холостого ходу n_{xx} до номінальних обертів n_n (рисунки 2.1–2.7).

Випробування проходило при температурі навколишнього середовища $t_{\text{вп}} = \text{___}^\circ\text{C}$, відносній вологості навколишнього повітря $\varphi_{\text{навк}} = \text{___}\%$, атмосферному тиску $B_{\text{навк}} = \text{___}$ кПа.

Двигун встановлено на _____
(за табл. 2.1).

Студенти мають розрахувати можливі масові викиди токсинів двигуном та порівняти їх значення у наближенні до міжнародних стандартів, визначити ступінь екологічної досконалості двигуна. Вказати, які конструктивні міри з екологізації цього двигуна вже проведено, та запропонувати конкретні заходи з забезпечення виконання більш жорстких стандартів.

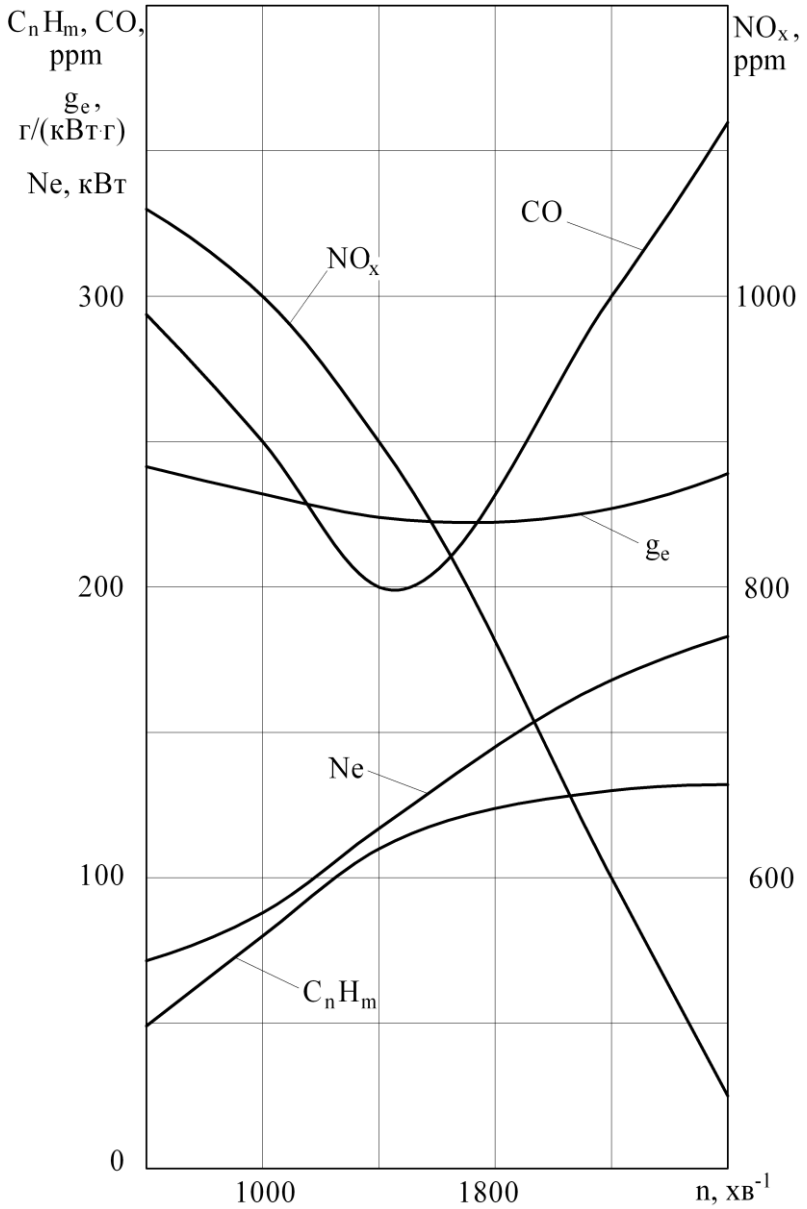


Рисунок 2.1 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун КамАЗ-740

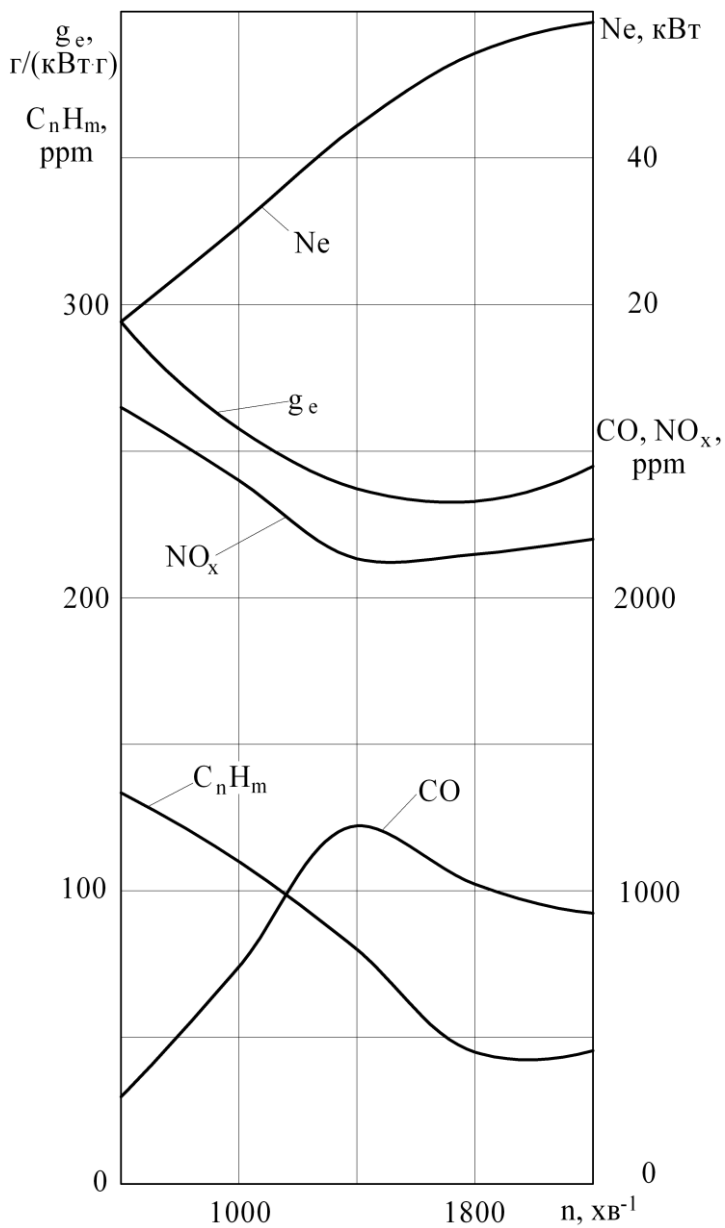


Рисунок 2.2 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун Д-240

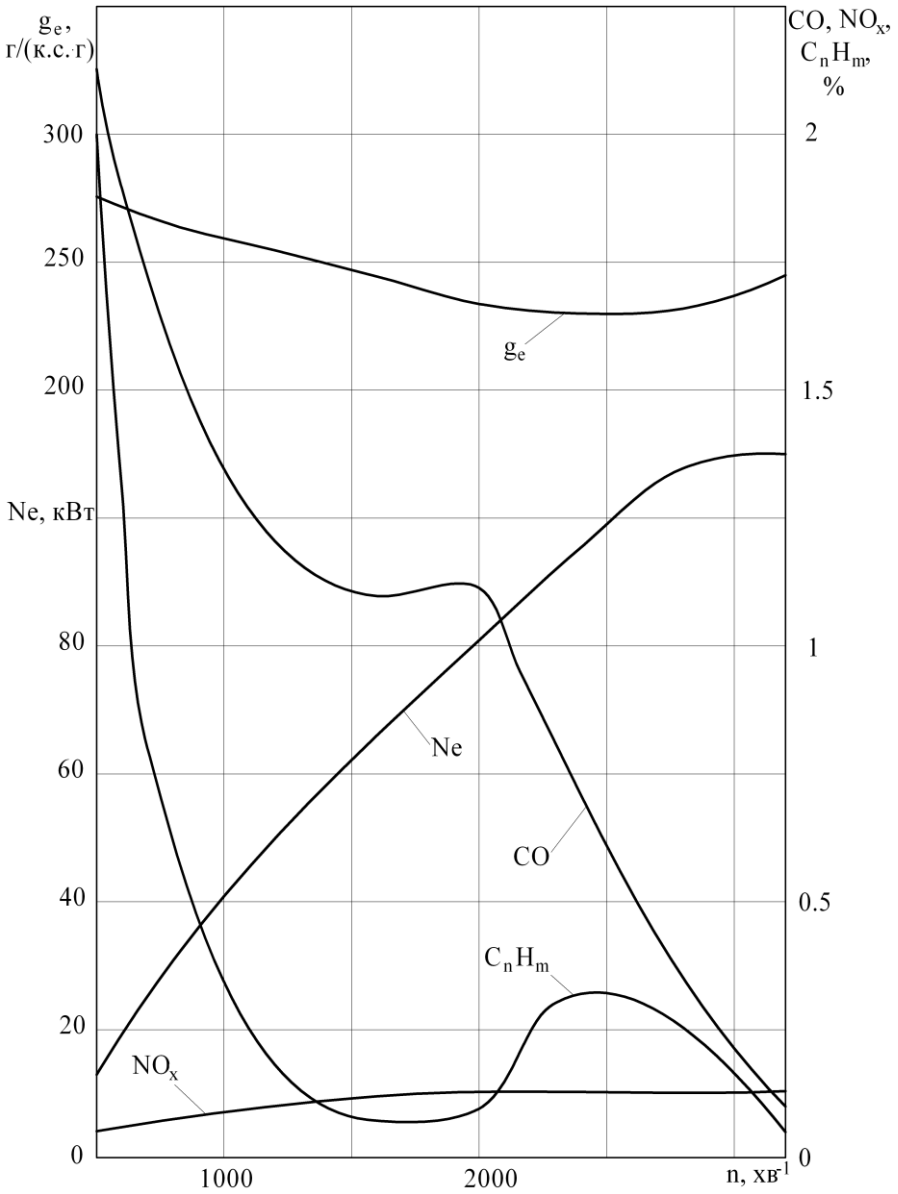


Рисунок 2.3 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун ЗіЛ-130

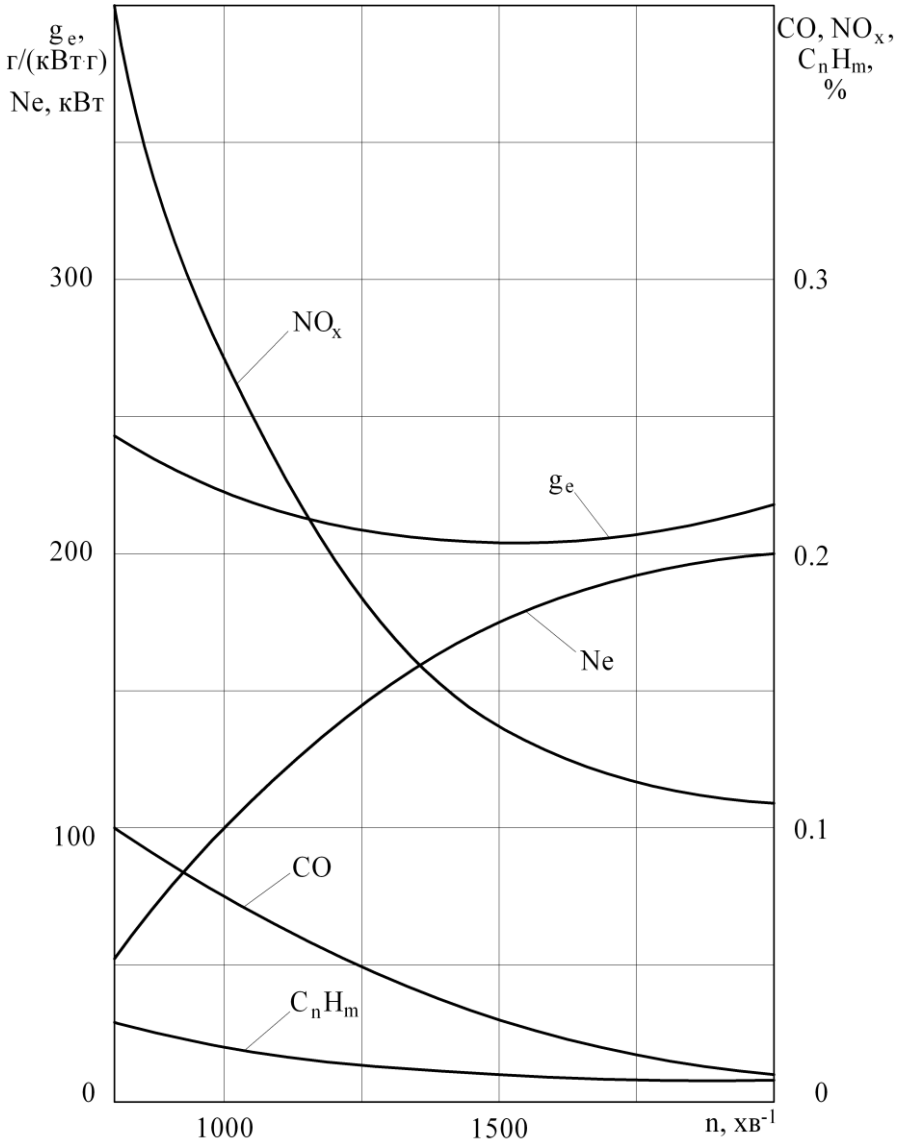


Рисунок 2.4 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун СМД-31

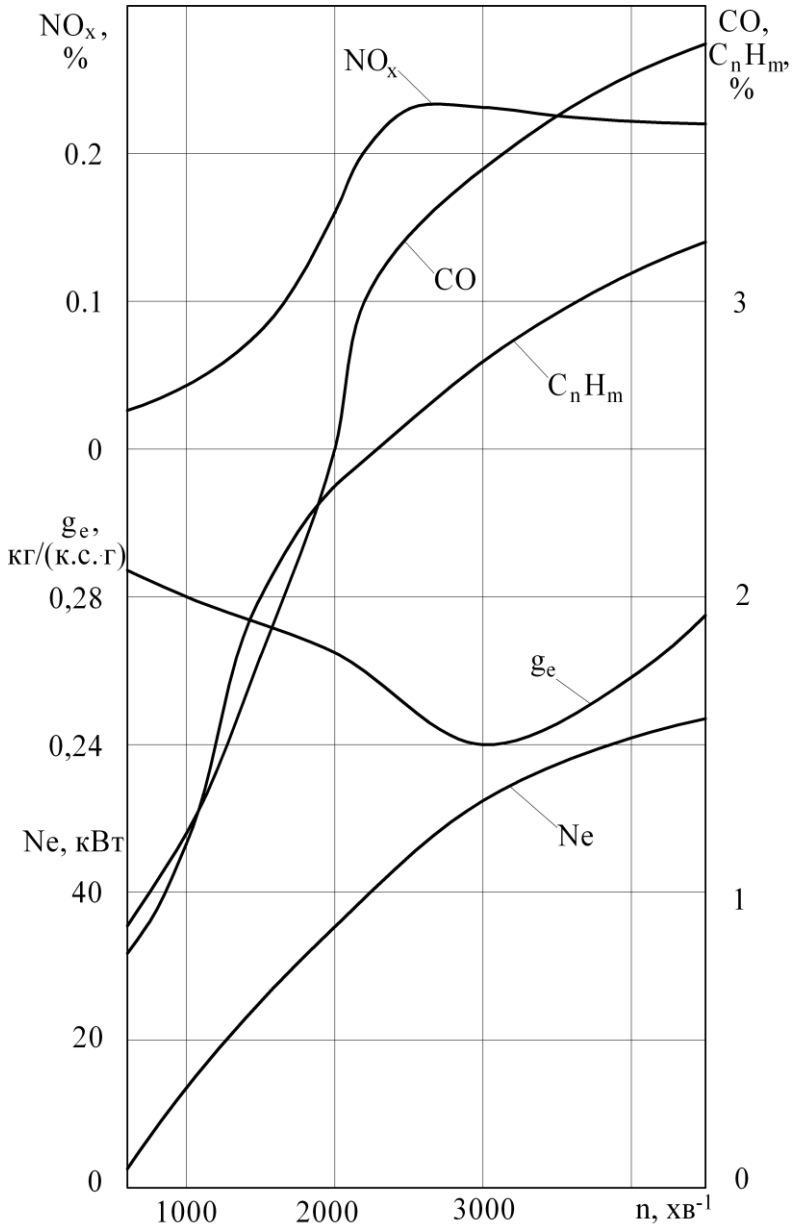


Рисунок 2.5 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун ЗМЗ-24-01

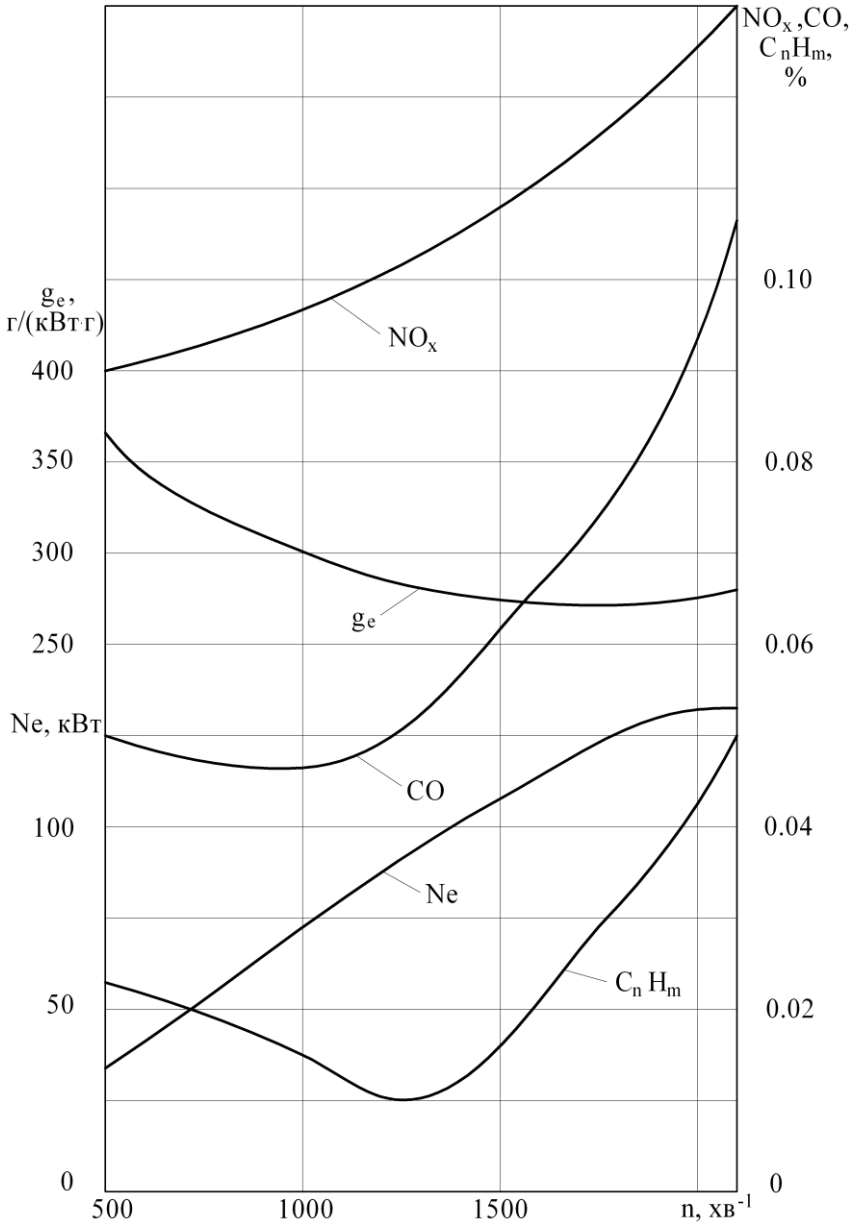


Рисунок 2.6 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун ЯМЗ-236

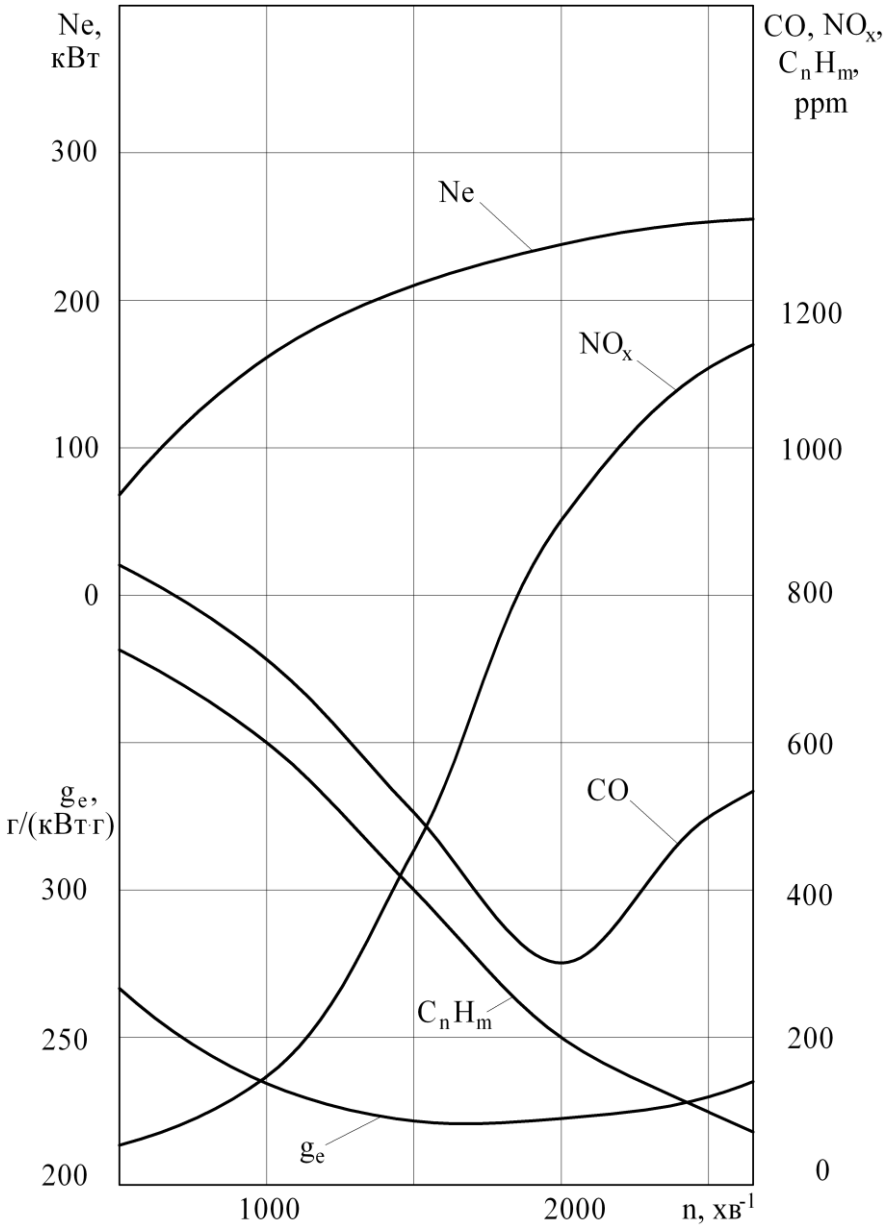


Рисунок 2.7 – Вихідні дані для розрахунку. Двигун Deutz F12L413

Таблиця 2.1 – Застосування двигунів

Двигун	Транспортний засіб	Тип і марка палива	Повна маса транспортного засобу, кг	Витрата палива, л/100 км
ЗМЗ-24-01	ГАЗ-24-01	Бензин А-76, АИ-80	1790	11
ЗМЗ-24-01	ЄрАЗ-762В	Бензин А-76, АИ-80	2625	14
ЗМЗ-24-01	РАФ-2203	Бензин А-76, АИ-80	1815	15
ЗіЛ-130	ЗіЛ-130	Бензин А-76, АИ-80	4300	32
ЗіЛ-130	КАЗ-608	Бензин А-76, АИ-80	4000	40
КамАЗ-740	КамАЗ-5320	Дизельне паливо	15305	35
КамАЗ-740	Дизель-генератор	Дизельне паливо	—	—
ЯМЗ-236	МАЗ-500	Дизельне паливо	14825	25
ЯМЗ-236	Т-150К	Дизельне паливо	8000	—
Д-240	МТЗ-80	Дизельне паливо	3600	—
СМД-31	Дон-1500	Дизельне паливо	13440	—
Deutz F12L413	Дизель-генератор	Дизельне паливо	—	—

2.2 Розрахунок масових викидів токсинів

При кількісних оцінках ступенів екологізації ДВЗ виконується перерахунок нормативних значень з величин, розмірність яких відповідає методикам ековипробувань.

Перерахунок виконується на базі даних як за концентраціями токсинів у відпрацьованих газах, так і за даними щодо дійсних витрат повітря і палива, потужності двигуна, параметрів навколишнього середовища (барометричний тиск, температура та відносна вологість).

Кількість повітря, необхідна для згорання 1 кг палива в мольному L_0 та масовому ℓ_0 виразі називається теоретично необхідною, а їхня

суміш – стехіометричною:

$$L_0 = \frac{1}{0.208} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \text{ кмоль/кг}, \quad (2.1)$$

$$\ell_0 = \mu_a L_0 = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3} C + 8H - O \right), \text{ кг/кг}, \quad (2.2)$$

де $\mu_a = 28.96 \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$ – молекулярна маса повітря;

C, H, O – елементарний склад палива (масові частки складових елементів палива: вуглецю, водню, кисню), визначається в залежності від роду палива (табл. 2);

Таблиця 2.2 – Елементарний склад палива

Рід палива	C	H	O
Бензин	0.855	0.145	–
Дизельне паливо	0.870	0.126	0.004

Крім вказаних, в паливі містяться інші елементи (сірка S, азот N₂, тощо), однак їх кількість невелика і зазвичай не враховується.

Розраховуємо кількість свіжого заряду:

– для бензинового двигуна

$$m_1 = 1 + \alpha \cdot \ell_0, \text{ кг/кг}; \quad (2.3)$$

– для дизельного двигуна

$$m_1 = \alpha \cdot \ell_0, \text{ кг/кг}; \quad (2.4)$$

де α – коефіцієнт надлишку повітря.

На номінальному режимі:

– для бензинових ДВЗ $\alpha = 0.85 \dots 0.95$,

– для дизельних ДВЗ $\alpha = 1.25 \dots 2$.

На режимах, відмінних від номінальних, величина α може суттєво відрізнитися від вказаних діапазонів.

На графіках 2.1-2.7 в залежності від варіанту проводяться лінії частоти обертів $n = \text{const}$ за рекомендаціями таблиць 2.4, 2.5.

Годинна витрата палива, кг/год

$$G_{\text{пал}} = 10^{-3} \cdot Ne \cdot g_e, \quad (2.5)$$

де Ne – ефективна потужність двигуна, кВт;

g_e – ефективна питома витрата палива, $\frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$.

Годинна витрата повітря, кг/год

$$G_{\text{пов}} = G_{\text{пал}} \cdot m_1. \quad (2.6)$$

Годинна витрата відпрацьованих газів на конкретному режимі, кг/год

$$G_{\text{вг}} = G_{\text{пал}} + G_{\text{пов}}. \quad (2.7)$$

Розраховуємо коефіцієнти поправок на вологість для оксидів азоту та монооксиду вуглецю

$$F_{\text{NO}_x} = \left[1 + \left(0.044 \cdot \frac{G_{\text{ПАЛ}}}{G_{\text{ПОВ}}} - 0.0038 \right) \cdot \left(\varphi_{\text{абс}} - 75 \right) + \left(0.0053 - 0.116 \cdot \frac{G_{\text{ПАЛ}}}{G_{\text{ПОВ}}} \cdot 1.8 \cdot \left(t_{\text{вп}} - 302 \right) \right)^{-1} \right]; \quad (2.8)$$

$$F_{\text{CO}} = 1 - 1.85 \cdot \frac{G_{\text{ПАЛ}}}{G_{\text{ПОВ}}}, \quad (2.9)$$

де $\varphi_{\text{абс}}$ – абсолютна вологість повітря на вході у пристрій для вимірювання витрати повітря, $\frac{\Gamma \text{ H}_2\text{O}}{\text{кг}}$:

$$\varphi_{\text{абс}} = \frac{6.21 \cdot \varphi_{\text{навк}} \cdot p_s}{B_{\text{навк}} - 0.01 \cdot \varphi_{\text{навк}} \cdot p_s}, \quad (2.10)$$

де $\varphi_{\text{навк}}$ – відносна вологість навколишнього повітря, %;

$t_{\text{вп}}$ – температура повітря на відстані не більше 0.15 м від вхідного отвору впускного колектора, К;

$B_{\text{навк}}$ – барометричний тиск у навколишньому середовищі, кПа;

p_s – парціальний тиск насиченої водяної пари при температурі повітря на вході до впускного колектора, кПа.

Результати еквівипробувань вважаються дійсними, якщо випробування проводилися за умов навколишнього середовища, які не виходили за межі, визначені нормативом чи програмою еквівипробувань.

Таблиця 2.3 – Тиск насиченої водяної пари

t, °C	p _s , кПа	t, °C	p _s , кПа
5	0.87260	18	2.0644
6	0.93537	19	2.1978
7	1.0021	20	2.3388
8	1.0730	21	2.4877
9	1.1482	22	2.6447
10	1.2281	23	2.8104
11	1.3129	24	2.9850
12	1.4027	25	3.1690
13	1.4979	26	3.3629
14	1.5988	27	3.5670
15	1.7056	28	3.7818
16	1.8185	29	4.0078
17	1.9380	30	4.2455

Показник стану навколишнього середовища F повинен лежати у діапазоні

$$0.96 \leq F \leq 1.06$$

і визначається за формулою

$$F = \left(\frac{99}{B_{\text{навк}} - p_s} \right)^A \cdot \left(\frac{t}{298} \right)^B, \quad (2.11)$$

де A, B – показники степеня; в тому числі A = 1, B = 0.7 – для дизельних двигунів без наддуву та з механічним приводом компресора; A = 0.7, B = 1.5 – для дизельних двигунів з турбонаддувом (з охолодження наддувочного повітря чи без охолодження); A = 1.2, B = 0.6 – для двигунів з іскровим запаленням.

Розраховуємо масові викиди токсинів у відпрацьованих газах ДВЗ на конкретному режимі, г/год:

$$G_{\text{NO}_x} = 0.001587 W_{\text{NO}_x} \cdot F_{\text{NO}_x} \cdot G_{\text{ВГ}}, \quad (2.12)$$

$$G_{\text{CO}} = 0.000966 W_{\text{CO}} \cdot F_{\text{CO}} \cdot G_{\text{ВГ}}, \quad (2.13)$$

$$G_{\text{CnHm}} = W_{\text{CnHm}} \cdot F_{\text{CnHm}} \cdot G_{\text{BG}}, \quad (2.14)$$

де W_{NO_x} , W_{CO} , W_{CnHm} – виміряні на конкретному режимі об'ємні концентрації оксидів азоту, монооксиду вуглецю та сумарних вуглеводнів (у перерахунку на умовний склад палива $\text{C}_1\text{H}_{1.85}$) у відпрацьованих газах, млн^{-1} (ppm, чм).

Якщо значення об'ємних концентрацій W_i приведено в об'ємних відсотках (% об.), проводимо перерахунок в млн^{-1} , враховуючи:

$$10^{-4} \% = 1 \text{ млн}^{-1}.$$

F_{CH} – коефіцієнт, що дорівнює 0.000478 для дизелів та 0.000485 для двигунів із примусовим запаленням.

Масові викиди певного токсину за цикл

$$G_{\text{ц}} = \sum_{i=1}^n G_i \cdot X_i, \quad (2.15)$$

де G_i – масові викиди токсинів у відпрацьованих газах ДВЗ на конкретному частотному режимі;

X_i – ваговий коефіцієнт режиму випробувань – це умовна величина, що статистично відображає частку роботи дизелів даного призначення при експлуатації, близькій до даного режиму.

Значення вагових коефіцієнтів X для двигунів колісних транспортних засобів визначаються за таблицею 2.4, для двигунів іншого призначення – за таблицею 2.5.

Перераховуємо значення масових викидів токсинів до іншої розмірності в залежності від призначення двигуна:

$$G_i' = \frac{G_i}{\text{Не}}, \quad \frac{\Gamma}{\text{кВт} \cdot \text{год}}, \quad (2.16)$$

або

$$G_i' = \frac{G_i \cdot L_{100} \cdot \rho}{100 \cdot g_e \cdot \text{Не}}, \quad \frac{\Gamma}{\text{км}}, \quad (2.17)$$

де L_{100} – середнє значення витрати палива на 100 км пробігу транспортного засобу, л;

ρ – густина палива, кг/м^3 .

Таблиця 2.4 – Спрощений випробувальний цикл для колісних транспортних засобів

Частота обертів	Навантаження, % $n/n_{\text{ном}}$	Ваговий коефіцієнт X
$n_{\text{хх min}}$	0	0.15
Проміжна	25	0.2
	50	0.2
	75	0.2
$n_{\text{ном}}$	100	0.25

Таблиця 2.5 – Випробувальні цикли двигунів різного призначення [1, табл. 6.20]

Призначення дизеля	Визначення режиму	Відношення частоти обертання колінчастого валу n до номінальної частоти n_n	Відношення ефективної потужності N_e до її номінального значення $N_{e \text{ ном}}$	Ваговий коефіцієнт X
Промислове (дизель-генератор)	1	1.000	1.00	0.30
	2	1.000	0.75	0.50
	3	1.000	0.50	0.20
Суднові	1	1.000	1.00	0.20
	2	0.908	0.75	0.50
	3	0.794	0.50	0.15
	4	0.630	0.25	0.15
Для залізничного транспорту	1	1.000	1.00	0.20
	2	проміжне	0.50	0.10
	3	проміжне	0.25	0.10
	4	проміжне	0.05	0.60

Таблиця 2.6 – Густина палива для ДВЗ при 20 °С.

Марка палива	ρ , кг/м ³
Бензин А-76, АИ-80	700...720
Бензин АИ-92	725...745
Бензин АИ-93 (етилований)	745...755
Бензин АИ-95	725...745
Бензин АИ-98	760...780
Дизельне паливо	833...837
Скrapлений газ СПБТ	520...550

2.3 Аналіз отриманих результатів

Провести порівняння двигуна за нормативними екологічними стандартами «Євро», враховуючи клас автомобільної техніки (табл. 2.7, 2.8, 2.9) та згідно [1, табл. 6.21–6.22] для позадорожньої техніки, зробити висновки про відповідність.

Вказати і обґрунтувати можливості і доцільність застосування заходів з екологізації двигуна за такими основними напрямками:

- оптимізація робочого процесу;
- конструктивне вдосконалення;
- нейтралізація та рециркуляція відпрацьованих газів;
- комп'ютеризація керування;
- відповідні регулювання систем двигуна;
- запровадження альтернативних палив та ін.

Запропонувати конкретні конструктивні вдосконалення двигуна.

Таблиця 2.7 – Європейські екологічні стандарти з викидів для легкових автомобілів, г/км

Стандарт	CO	C_nH_m	$C_nH_m + NO_x$	NO_x	Тверді частки
Дизельні двигуни					
Євро-1	2.72	0.20	0.97	0.78	0.14
Євро-2	1.00	0.19	0.70	0.73	0.08
Євро-3	0.64	0.06	0.56	0.50	0.05
Євро-4	0.50	0.05	0.30	0.25	0.025
Євро-5	0.50	–	0.23	0.18	0.005
Бензинові двигуни					
Євро-1	2.72	0.66	0.97	0.49	–
Євро-2	2.20	0.34	0.50	0.25	–
Євро-3	2.30	0.20	–	0.15	–
Євро-4	1.00	0.10	–	0.08	–
Євро-5	1.00	0.10	–	0.06	0.005

Таблиця 2.8 – Європейські екологічні стандарти з викидів для легких комерційних автомобілів

Стандарт	CO			C _n H _m			C _n H _m + NO _x			NO _x			Тверді частки		
	N1-I*	N1-II	N1-III	N1-I	N1-II	N1-III	N1-I	N1-II	N1-III	N1-I	N1-II	N1-III	N1-I	N1-II	N1-III
Дизельні двигуни															
Євро-1	2.72	5.17	6.90	–	–	–	0.97	1.40	1.70	–	–	–	0.14	0.19	0.25
Євро-2	1.00	1.25	1.50	–	–	–	0.70	1.00	1.20	–	–	–	0.08	0.12	0.17
Євро-3	0.64	0.80	0.95	–	–	–	0.56	0.72	0.86	0.50	0.65	0.78	0.05	0.07	0.10
Євро-4	0.50	0.63	0.74	–	–	–	0.30	0.39	0.46	0.25	0.33	0.39	0.025	0.04	0.06
Євро-5	0.50	0.63	0.74	–	–	–	0.23	0.295	0.35	0.18	0.235	0.28	0.005	0.005	0.005
Бензинові двигуни															
Євро-1	2.72	5.17	6.90	–	–	–	0.97	1.40	1.70	–	–	–	–	–	–
Євро-2	2.20	4.00	5.00	–	–	–	0.50	0.65	0.80	–	–	–	–	–	–
Євро-3	2.30	4.17	5.22	0.20	0.25	0.29	–	–	–	0.15	0.18	0.21	–	–	–
Євро-4	1.00	1.81	2.27	0.10	0.13	0.16	–	–	–	0.08	0.10	0.11	–	–	–
Євро-5	1.00	1.81	2.27	0.10	0.13	0.16	–	–	–	0.06	0.075	0.082	0.005	0.005	0.005

* підкатегорія N1-I – повна маса автомобіля до 1305 кг;
підкатегорія N1-II – повна маса автомобіля 1305...1760 кг;
підкатегорія N1-III – повна маса автомобіля 1760...3500 кг.

Таблиця 2.9 – Європейські екологічні стандарти з викидів для вантажних автомобілів та автобусів, $\frac{\text{г}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$

Стандарт	CO		C _n H _m		NO _x		Тверді частки	
	N2*	N3	N2	N3	N2	N3	N2	N3
Євро-0	12.3	–	2.6	–	15.8	–	–	–
Євро-1	4.9	4.5	1.23	1.1	9.0	8.0	0.4	0.612 (N _e <85 кВт) 0.36 (N _e >85 кВт)
Євро-2	4.0	4.0	1.1	1.1	7.0	7.0	0.15	0.15
Євро-3	2.1	2.1	0.66	0.66	5.0	5.0	0.1	0.10 0.13**
Євро-4	1.5	1.5	0.46	0.46	3.5	3.5	0.02	0.02
Євро-5	1.5	1.5	0.46	0.46	2.0	2.0	0.02	0.02

*категорія N2 – повна маса автомобіля 3500...12000 кг;

категорія N3 – повна маса автомобіля понад 12000 кг;

** для двигунів з об'ємом циліндра менше 0.75 л і частотою обертання більше 3000 хв⁻¹.

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підр. у 6 т. – Т. 5. Екологізація ДВЗ / За ред. проф. А. П. Марчука та засл. діяча науки України проф. А. Ф. Шеховцова. – Харків: Прапор, 2004. – 360 с.
2. Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях. – К.: Вища школа, 1991. – 179 с.
3. Звонов В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1981. – 154 с.
4. Марков В. А., Баширов Р. М., Габитов И. И. Токсичность отработавших газов дизелей. 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. – 376 с.
5. Звонов В. А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания. – М.: Машиностроение, 1973. – 200 с.