

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до лабораторних робіт з дисципліни  
«Екологічність двигунів внутрішнього згорання»**

для студентів спеціальності 7(8).05050304  
«Двигуни внутрішнього згорання»

ЗАТВЕРДЖЕНО  
редакційно-видавничою  
радою університету,  
протокол № 2 від 25.03.15 р.

Харків  
НТУ «ХПІ»  
2015

Методичні вказівки до лабораторних робіт з дисципліни «Екологічність двигунів внутрішнього згоряння» для студентів спеціальності 7(8).05050304 – «Двигуни внутрішнього згоряння» / Уклад. Парсаданов І.В., Полив'янчук А.П., Білик С.Ю. – Х.: НТУ «ХПШ», 2015. – 28 с.

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

Рецензент О.О. Осетров

Кафедра двигунів внутрішнього згоряння

## ВСТУП

Токсичні речовини відпрацьованих газів (ВГ) двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) є одним із основних джерел забруднення навколишнього середовища. Рівень викиду токсичних речовин визначається екологічними показниками двигуна і залежить від таких факторів, як організація сумішоутворення та згоряння, конструкція і технологія виготовлення двигунів, фізико-хімічні характеристики палива, наявність систем комп'ютерного керування та регулювання двигунів, застосування нейтралізаторів та рециркуляції ВГ, умови експлуатації та інші.

Оцінюють екологічні показники двигунів за результатами їхніх випробувань на моторних стендах або у складі транспортних засобів з використанням швидкодіючих газоаналізаторів, димомірів та комплексу обладнання для визначення масових викидів твердих частинок. При цьому процедури екологічних випробувань можуть складатися з сталих (характеризуються незмінними швидкістю та навантаженням) та несталих (транзієнтних) режимів роботи ДВЗ.

Виконання лабораторних робіт складають важливий етап в закріпленні теоретичного матеріалу дисципліни «Екологічність двигунів внутрішнього згоряння». Метою виконання лабораторних робіт є практичне засвоєння методик та особливостей визначення концентрацій шкідливих речовин і димності ВГ ДВЗ. При цьому вирішуються наступні завдання:

- набуття студентами навичок проведення випробувань, які спрямовані на визначення екологічних показників ДВЗ, та аналізу одержаних результатів;
- знайомство з особливостями роботи швидкодіючих газоаналізаторів та димомірів;
- дослідження впливу параметрів режиму роботи ДВЗ та його конструктивних параметрів на показники токсичності та димності ВГ.

### **Загальні вимоги щодо проведення лабораторних робіт**

Для виконання кожної лабораторної роботи студент повинен знати мету, методику досліджень, відповідний теоретичний матеріал лекційного курсу або викладений у спеціальній літературі.

Перед проведенням кожної лабораторної роботи викладач знайомить студентів з характеристикою об'єкта випробувань, обладнанням і приладами, пояснює задачі, які кожному студенту необхідно вирішувати під час проведення роботи. Всі студенти повинні ознайомитись з установкою і вимірювальними приладами, правилами користування ними, методикою вимірювання, порядком

оформлення протоколу випробувань та методами обробки результатів досліджень.

Результати розрахунків характеристик ДВЗ, які досліджуються, оформлюються у табличній та графічній формах (у відповідності до вимог стандартів НТУ «ХП»), після чого виконується їх аналіз.

Під час проведення випробувань студенти зобов'язані виконувати свої доручення на робочих місцях та усі розпорядження викладача і працівників лабораторії. Заборонено знаходитись в площині обертання деталей гальмівного стенду, торкатися двигуна, від'єднувати трубопроводи, вмикати без дозволу електричні мережі.

Запуск і зупинку двигуна виконувати тільки за вказівкою і під наглядом викладача або працівників лабораторії.

Категорично заборонено користування відкритим вогнем.

### **Методика визначення параметрів, які характеризують режим роботи двигуна**

При випробуваннях двигуна на моторному стенді визначаються: крутний момент, витрати палива та повітря, частота обертання колінчастого валу, концентрація шкідливих речовин у ВГ, димність та показники, за якими контролюється робота двигуна (тиск і температура масла, температура охолоджувальної рідини, температура ВГ та ін.).

За результатами випробувань розраховуються наступні характеристики:

- крутний момент, Н·м:

$$M_{кр} = 9,81 \cdot P_T \cdot l_T,$$

де  $P_T$  – показник навантажувального пристрою, кгс;  $l_T$  – плече навантажувального пристрою:  $l_T = 0,7162$  м;

- ефективна потужність двигуна, кВт:

$$N_e = \frac{M_{кр} \cdot n}{9550},$$

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

- годинна витрата палива, кг/год:

$$G_{п} = 3,6 \cdot \frac{\Delta G_{п}}{\tau_{п}},$$

де  $\Delta G_{п}$  – задана маса палива, г;  $\tau_{п}$  – час, за який витрачається маси палива  $\Delta G_{п}$ , с;

- питома витрата палива, г/(кВт·год):

$$g_e = \frac{G_{п}}{N_e} \cdot 10^3;$$

- годинна витрата повітря, кг/год:

$$G_{\text{пов}} = 8,46 \cdot 10^{-3} \cdot d_c^2 \sqrt{\frac{B_0 \cdot \Delta p_c}{t_0 + 273}},$$

де  $d_c$  – внутрішній діаметр вимірювального пристрою - сопла, мм;  $B_0$  та  $t_0$  – тиск та температура навколишнього повітря, мм рт. ст. та °C;  $\Delta p_c$  – розрідження повітря у соплі, мм вод ст.;

- коефіцієнт надлишку повітря:

$$\alpha = \frac{G_{\text{пов}}}{G_{\text{п}} \cdot l_0},$$

де  $l_0$  – кількість повітря, теоретично необхідного для спалювання 1 кг палива: для бензинів - 14,8 кг/кг; для дизельного палива - 14,4 кг/кг.

### Прилади та обладнання для визначення концентрацій шкідливих речовин та димності відпрацьованих газів

Для визначення концентрацій газоподібних шкідливих речовин у ВГ двигунів (як нормованих - NO, NO<sub>2</sub>, CO, CH, так і деяких інших - CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>) використовуються газоаналізатори.

Хемілюмінесцентні газоаналізатори (рис. 1) дозволяють визначати концентрації оксидів азоту у ВГ.

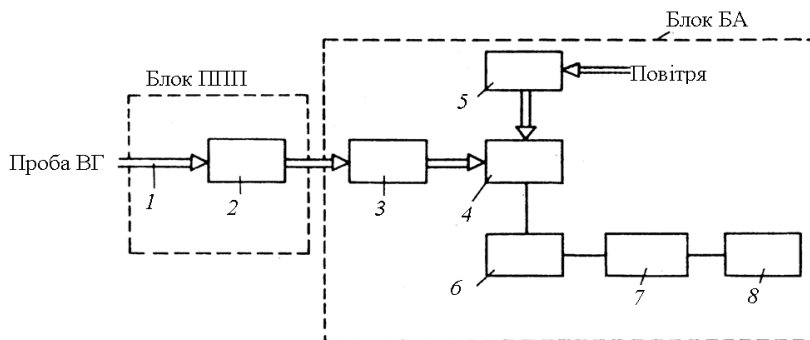


Рисунок 1 – Структурна блок-схема хемілюмінесцентного газоаналізатора:

1 – газозабірник; 2 – пристрій пробопідготовки; 3 – каталітичний конвектор; 4 – реакційна камера; 5 – генератор озону; 6 – фотоелектронний помножувач; 7 – посилювач постійного струму; 8 – вимірювально-записуючий прилад.

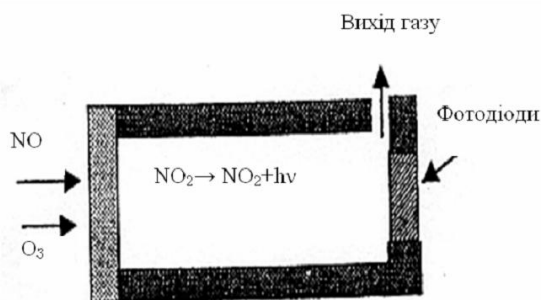


Рисунок 2 – Принципова схема реакційної камери БА

Ці прилади складаються з двох основних блоків: пристрою пробопідготовки (ППП) та блоку аналізу (БА). Перший з них призначений для відбору проби ВГ, очищення її від механічних домішок та подачі під стабілізованим тиском до БА,

другий - для вимірювання вмісту оксидів азоту в пробі шляхом контролю фотоелектронним помножувачем 6 (фотодіодами) випромінювання світла (хемілюмінесценції), яка виникає у реакційній камері (рис. 2) в результаті хімічної реакції між озоном  $O_3$  (виробляється генератором 5) та оксидом азоту  $NO$  (відновлюється з  $NO_2$  у каталітичному конверторі 3).

*Оптико-акустичні газоаналізатори* (рис. 3) використовуються для вимірювань концентрацій оксидів вуглецю –  $CO$  та  $CO_2$  у ВГ на основі ефекту поглинання інфрачервоної (ІЧ) променевої енергії при проходженні світла крізь газ, що аналізується.

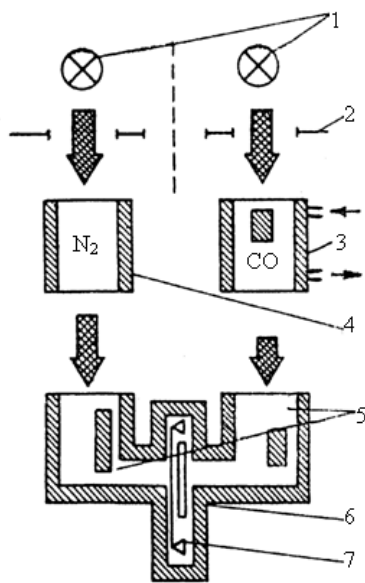


Рисунок 3 – Робоча схема оптико-акустичного газоаналізатора:

1 – джерела ІЧ радіації; 2 – обтюратор; 3 – робоча камера; 4 – порівняльна камера; 5 – приймачі ІЧ радіації; 6 – конденсаторний мікрофон; 7 – вимірювальна камера.

Частина потоку радіації, яка відповідає спектру поглинання газу, що аналізується (наприклад,  $CO$ ), умовно показана стрілкою. Два джерела ІЧ випромінюються у два ідентичних оптичних канали. Ці потоки перериваються обтюратором при одночасному перекриванні обох каналів. При проходженні потоку випромінювання крізь робочу камеру відбувається його ослаблення за рахунок поглинання відповідної частини спектра компонентом, який визначають. У порівняльній камері, яка заповнена азотом, поглинання радіації не має місця. У середній частині приймачів ІЧ радіації установлений конденсаторний мікрофон, ємність якого може змінюватися відповідно до коливання мембрани. Амплітуда коливань мембрани визначається інтенсивністю поглинання у інфрачервоній зоні спектра, який обумовлений компонентом, що заповнює робочу камеру і характеризує його виміряну концентрацію.

*Полум'яно-іонізаційні газоаналізатори* (рис. 4) застосовуються для вимірювання концентрацій вуглеводнів  $CH$  у ВГ двигунів.

Принцип дії таких газоаналізаторів базується на використанні полум'яно-іонізаційного методу, який передбачає вимірювання величини іонізаційного струму, що виникає при спалюванні вуглеводнів у полум'ї водневого пальника. У першому наближенні величина цього струму пропорційна кількості атомів вуглецю, які містяться у молекулі вуглеводню. Це надає можливість при аналізі  $CH$  приводити показання приладу до еквівалентної кількості однієї з контрольних речовин: метану, пропану або іншого вуглеводню, який має у своєму складі контрольна перевірна газова суміш.

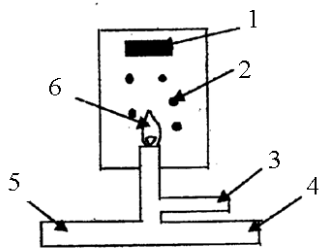


Рисунок 4 – Принципова схема полум'яно-іонізаційного газоаналізатора:

1 – негативно заряджене кільце для іонів; 2 – позитивні іони вуглеводнів; 3 – підведення повітря до пальника; 4 – підведення водню до пальника; 5 – підведення до пальника СН, що аналізується; 6 – полум'я пальника.

Оскільки величина іонізаційного струму прямо пропорційна кількості вуглецю у СН та витраті газу, що аналізується, то для надійної роботи приладу необхідно підтримувати постійність масових витрат потоків водню та повітря. Для запобігання конденсації киплячих вуглеводнів на стінках трубопроводу транспортування проби ВГ його поверхня підігрівається до температури 450...470 К.

Системи розбавлення ВГ повітрям (з метою імітації природних умов потрапляння ВГ до атмосфери) – тунелі використовуються для визначення масових викидів твердих частинок (ТЧ) від дизелів. В залежності від кількості розбавлених ВГ розрізняють повнопотокові та частковопотокові (міні- та мікро-) тунелі.

Найбільш розповсюджені (за рахунок більшої мобільності та меншої вартості) мікротунелі (рис. 5) складаються з трьох основних елементів: системи відбору частки ВГ з вихлопної труби дизеля та транспортування її до тунелю; системи розбавлення ВГ повітрям та відбору проб ТЧ; обладнання для стабілізації та зважування робочих фільтрів. Масові викиди ТЧ з ВГ на різних режимах роботи дизеля розраховуються за результатами вимірювання таких параметрів: коефіцієнта розбавлення ВГ повітрям, маси ТЧ, яка була зібрана на фільтрах, маси проби розбавлених ВГ, яка пройшла через фільтри та масової витрати повного потоку ВГ дизеля.

Вимірювачі оптичної щільності потоку ВГ – димоміри (рис. 5) використовуються для визначення нормованого екологічного показника – димності ВГ дизелів.

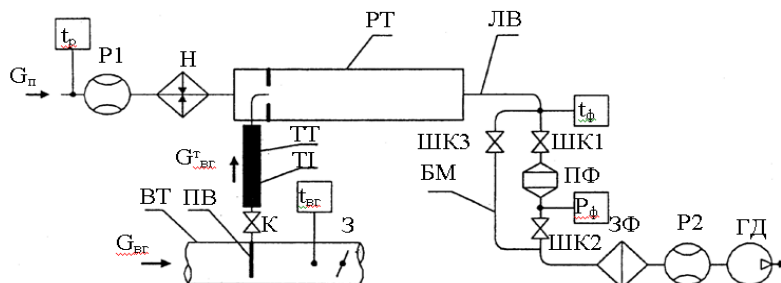


Рисунок 5 – Принципова схема мікротунелю

В1, В2 – витратоміри; Н – нагрівач; РТ – розбавляючий тунель; ЛВ – лінія відбору проб; ШК1, ШК2, ШК3 – шарові крани; БМ – байпасна магістраль; ПФ – патрон з фільтрами для відбору ТЧ; ЗФ – захисний фільтр; ГД – газодувка; ВТ – вихлопна труба двигуна; ПВ – пробовідбірник; К – кран; ТТ – трубопровід транспортування ВГ; ТІ – теплоізоляція; З – заслінка.

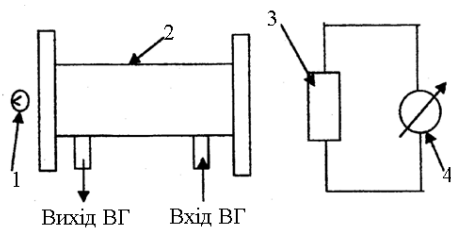


Рисунок 6 – Принципова  
схема димоміру:

1 – джерело світла; 2 – корпус 3 – фотоелемент; 4 – вимірювальний прилад.

Під димністю розуміють оптичну непрозорість стовпа ВГ визначеної довжини – 0,43 м (за шкалою Хартриджа), яка сприймається оком людини. В основі принципу дії димоміру лежить фотоелектричний метод визначення ступеня непрозорості (у %-х) стовпа ВГ вказаної довжини по відношенню до аналогічного стовпа чистого атмосферного повітря. При цьому оптичні характеристики світлового потоку, який створюється джерелом світла димоміра, відповідають діапазону сприйнятливості ока людини.

### Алгоритм проведення комп'ютерної діагностики двигуна ВАЗ – 21081

- 1 . Включити подачу напруги 12В на моторний стенд ВАЗ - 21081.
- 2 . Запустити двигун.
- 3 . Підключити до USB - порту комп'ютера хост - адаптер USB і адаптер К – Line (рис.7).



Рисунок 7 – Зовнішній вигляд хост-адаптера USB (а) та адаптера К-Line (б)

4. Підключити кабель адаптера К-Line до діагностичної лінії – роз'єму OBD-II: червоний провід (К-Line) до контакту 7; чорний провід (GND) – до контакту 4 (рис. 8).

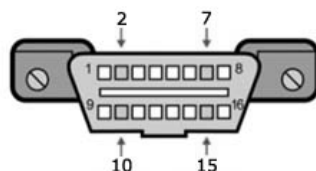


Рисунок 8 – Фронтальний вид роз'єму OBD-II



5 . Підключити кабель живлення до розетки «прикурювача».

6 . Запустити програму «J5 On Line Tuner».

7 . В меню **Команди** вибрати **Встановити зв'язок**. Після успішного встановлення зв'язку стенду з електронним блоком керування (ЕБК) в лівому нижньому кутку рядка стану з'явиться напис ON LINE та відкриється вікно діагностики (рис. 9). У цьому вікні у вигляді графіків відображаються параметри роботи двигунів, внизу вікна розташована панель прямого управління. На нижньому графіку по осі абсцис відображається час з моменту зв'язку стенду з ЕБК. Включити або відключити відображення панелі діагностики можна також через меню **Вид - Вікно діагностики** (Ctrl-F4). Якщо при встановленні зв'язку виникають помилки потрібно повторно підключити адаптер K-line (див. п. 3).

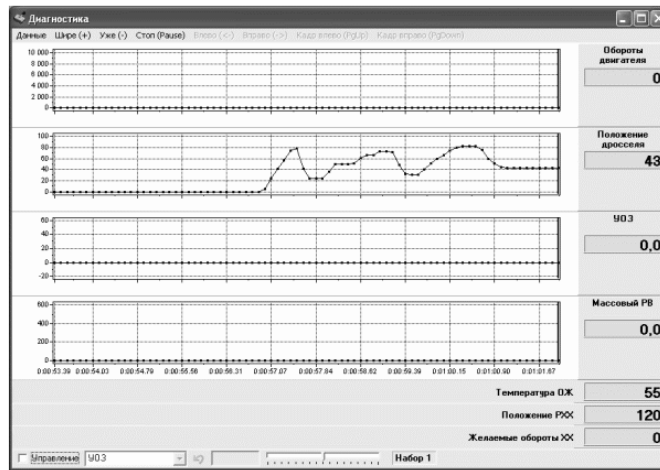


Рисунок 9 – Вікно діагностики програми «J5 On Line Tuner»

8 . Відкрити редактор набору даних. Для цього необхідно увійти у меню **Дані** та вибрати відповідний пункт або натиснути на клавіатурі цифру 1. Якщо такий набір відсутній, його необхідно створити. Для цього в меню **Дані** вибрати **Змінити набори даних** та виконати редагування (рис. 10). Для збереження зроблених змін натиснути **Ok**.

9. Розкрити вікно діагностики на весь екран. Для швидкого перемикавання будь-якого параметра із згорнутого режиму в розгорнутий (або назад) необхідно зробити подвійне клацання миші на потрібному параметрі або скористатися контекстним меню (права кнопка миші) та обрати в ньому «Сховати/Показати». Для зміни масштабу графіка по осі ординат клацнути правою кнопкою миші по потрібному параметру та обрати у меню пункт «Вибрати масштаб автоматично». Для зменшення кількості точок на графіку потрібно вибрати у меню пункт

«Ширше». Програма обчислює мінімальне, максимальне та середнє значення будь-якого параметра в межах графіку та відображає їх праворуч від нього (рис. 11).

10. Для зміни поточного значення кута випередження запалювання (КВЗ) або складу суміші необхідно використовувати режим прямого управління через панель, яка знаходиться в нижній частині вікна діагностики (рис. 12).

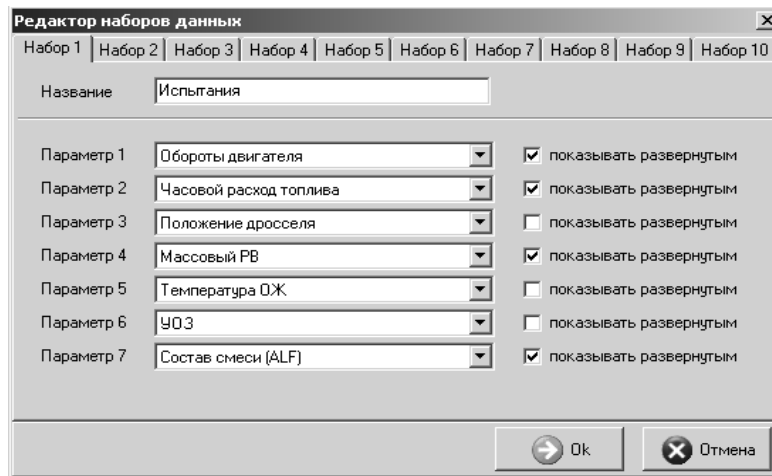


Рисунок 10 – Вікно редактору набору даних

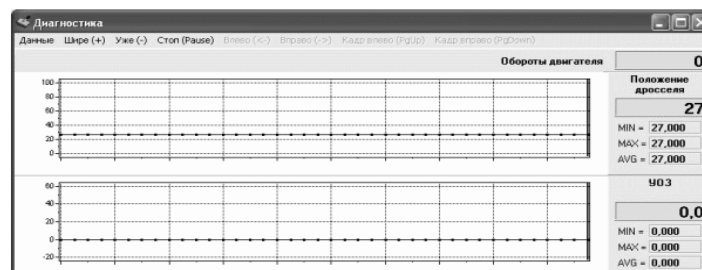


Рисунок 11 – Відображення графіків у вікні діагностики

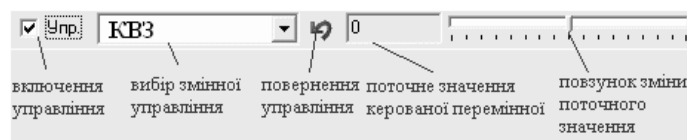


Рисунок 12 – Панель режиму прямого управління

Важливо, що для коректного управління складом суміші необхідно до пуску двигуна апаратно відключити датчик концентрації кисню у ВГ – лямбда-зонд.

Для включення режиму прямого управління потрібно поставити галочку "Упр.", вибрати потрібний параметр – «КВЗ» або «Склад суміші» та переміщенням повзунка встановити його значення. Для повного повернення управління стендом ЕБК потрібно зняти галочку "Упр." або натиснути кнопку з синьою стрілкою та обрати команду "Скасувати все".

Параметри, якими дозволяє управляти програма «J5 On Line Tuner»:

- **КВЗ**;
- **Октан-коректор** – поправка розрахункового КВЗ, яка може бути позитивною або негативною;
- **Фаза впорскування**;
- **Склад суміші**;
- **Корекція часу впорскування**;
- **Бажане положення РХХ**;
- **Бажані оберти ХХ**;
- **Коефіцієнт корекції СО** (тільки в конфігурації з відключеним лямбда-зондом);
- **Температура ОР**.

При цьому задані параметри будуть зберігатися незмінними до моменту повернення управління ЕБК.

11. В процесі випробувань в пам'ять програми заносяться поточні середні значення вимірюваних параметрів. Після завершення випробувань можливі наступні операції з масивами експериментальних даних.

*Перегляд раніше записаних даних.* Обрати в меню «Стоп»; при цьому нові дані не будуть відображатися на графіку, однак, в цей час вони продовжують записуватися і їх можна подивитися «перегорнув» графік вперед. Для переміщення курсору по графіку в режимі паузи використовуються пункти меню «Ліворуч», «Праворуч», «Кадр вліво» та «Кадр вправо». Для поновлення відображення нових даних треба скасувати режим паузи вибрав пункт меню «Продовжити».

*Очищення накопичених даних.* Програма спроектована таким чином, що навіть при послідовних з'єднаннях з ЕБК раніше записані дані зберігаються (якщо програму не закривати). Це дає можливість переглядати раніше записані дані, навіть в тому випадку, якщо зв'язок з ЕБУ розірвався, двигун зупинився і т.п. Якщо раніше записані дані вже не потрібні, то можна очистити їх вибрав в меню «Дані» пункт «Очистити накопичені дані». В цьому випадку запис почнеться з початку.

*Збереження даних в файл.* Для цього необхідно виділити область, яку потрібно зберегти. Для цього відзначають початкову точку, кликнув по графіку мишкою з одночасним утримуванням кнопки **Ctrl** (зручніше робити це в режимі паузи). Потім відзначають другу точку, кликнув мишкою по графіку з одночасним утримуванням кнопки **Alt**. Відмічені точки будуть виділені вертикальною кольоровою смужкою. Для відміни області виділення виконують команду

меню «Дані» - «Скасувати виділення даних». Якщо область даних не визначена, то в файл будуть збережені всі накопичені дані. Формати зберігання даних: внутрішній - SMS Diag Data (розширення файлів \*.sdd; такі файли можна переглядати автономно) та текстовий (розширення файлів \*.txt; такі файли можна відкрити за допомогою програми Microsoft Excel для подальшого аналізу або побудови графіків).

*Перегляд раніше збережених даних.* Запускають програму; при цьому встановлювати зв'язок з ЕБК не потрібно. У головному меню вибирають «Файл» - «Відкрити лог-файл», потім вибирають раніше збережений файл у форматі SMS Diag Data (файли \*.sdd). При цьому відкривається вікно діагностики, де будуть відображатися дані.

## Лабораторна робота 1

### Дослідження впливу кута випередження запалювання на показники токсичності ВГ бензинового двигуна

*Мета роботи:* дослідження впливу кута випередження запалювання на концентрації шкідливих речовин у ВГ та паливну економічність бензинового двигуна.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд двигуна ВАЗ 21081, оснащений контрольно-вимірювальними приладами, газоаналізатори CO, CH, NO<sub>x</sub>.

*Методика виконання роботи.*

Кут випередження запалювання  $\theta_3$  визначає момент подачі іскри для запалювання суміші в кінці такту стискування. Вимірюється він, як кут повороту колінчатого вала відносно ВМТ. Сукупність залежностей від величини  $\theta_3$  таких показників двигуна, як ефективна потужність  $N_e$ , витрата палива в одиницю часу  $G_T$ , питома ефективна витрата палива  $g_e$ , концентрації шкідливих речовин у ВГ та ін. називають характеристикою двигуна за кутом випередження запалювання. Цю характеристику визначають при постійній частоті обертання колінчатого вала ( $n = const$ ), незмінному положенні дросельної заслінки ( $\varphi_{др} = const$ ) і постійній витраті палива  $G_T$ .

Алгоритм дій при визначенні вказаної характеристики є наступним. Зміною гальмового моменту при певному положенні дросельної заслінки встановлюють швидкісний режим, на якому визначено проведення випробувань. Встановлюють найбільше значення кута  $\theta_3$ , при якому забезпечується стабільна робота двигуна. Після стабілізації теплового стану двигуна роблять необхідні виміри і переходять до нового режиму при меншому куті  $\theta_3$  ( $\Delta\theta_3$  становить 10-15° п.к.в.). Кут випередження запалювання змінюють та контролюють програмно, за до-

помогою обладнання і програмного забезпечення, описаного у пункті «Алгоритм проведення комп'ютерної діагностики двигуна ВАЗ - 21081». При кожному новому значенні кута  $\theta_3$  корегуванням навантаження гальмового стенду встановлюють заданий швидкісний режим двигуна. Кількість дослідів повинна бути достатньою для того, щоб виявити максимальне значення потужності та мінімальне значення питомої витрати палива при різних значеннях кута  $\theta_3$ .

При проведенні випробувань необхідно мати на увазі, що більші кути випередження запалювання можуть привести до детонаційного згоряння горючої суміші, що негативно позначається на роботі вузлів і деталей двигуна та погіршує економічні показники його роботи.

Під час випробувань вимірюють такі величини: зусилля на плечі гальмового пристрою ( $P_T$ ), частоту обертання колінчатого вала двигуна ( $n_d$ ), частоту обертання колінчатого вала генератора ( $n_{ген}$ ), час витрати встановленої дози палива ( $\tau_p$ ), годинну витрату повітря ( $G_{пов}$ ), годинну витрату палива ( $G_p$ ), а також контролюють параметри, що характеризують технічний стан двигуна: тиск масла ( $p_m$ ), температуру ВГ у випускному колекторі ( $t_{ВГ}$ ), температуру рідини в системі охолодження ( $t_{оп}$ ), температуру масла ( $t_m$ ), температуру та тиск навколишнього середовища ( $B_0$  та  $t_0$ ).

За показниками газоаналізуючої апаратури на кожному режимі фіксують концентрації у ВГ двигуна оксиду вуглецю, сумарних вуглеводнів, оксидів азоту ( $W_{CO}$ ,  $W_{CH}$ ,  $W_{NOx}$ ). Результати всіх вимірів заносять до протоколу випробувань (додаток 1). Після обробки даних випробувань, в ході якої обчислюють крутний момент, ефективну потужність, годинну витрату палива, питому витрату палива та коефіцієнт надлишку повітря, отримані характеристики за кутом випередження запалення представляють у графічному вигляді (додаток 2) та роблять їх аналіз. При цьому слід враховувати наступне. Відомо, що на концентрацію оксиду вуглецю ( $W_{CO}$ ) у ВГ двигуна зміна кута  $\theta_3$  майже не впливає. Зменшення цієї величини може привести до зменшення концентрації сумарних вуглеводнів ( $W_{CH}$ ) через більш високу температуру ВГ, що сприяє окисленню вуглеводнів у випускній системі. Проте дуже запізнє запалювання суміші поблизу ВМТ може спричинити збільшення  $W_{CH}$  у ВГ. Концентрація оксидів азоту ( $W_{NOx}$ ) залежить від складу паливоповітряної суміші. У разі збагаченої суміші ( $\alpha < 1$ ) зміна кута випередження запалювання практично не впливає на  $W_{NOx}$  через те, що при нестачі кисню оксидів азоту утворюється небагато. А у разі збідненої суміші ( $\alpha > 1$ ) зменшення кута  $\theta_3$  спричиняє зниження  $W_{NOx}$  за рахунок зниження максимальної температури циклу, а зростання кута  $\theta_3$  сприяє зрос-

танню  $W_{\text{NOx}}$  через тривалий час перебування компонентів повітря в циліндрах при високій температурі.

За мінімальною питомою витратою палива  $g_{e \text{ min}}$  визначають оптимальне значення кута  $\theta_3$  для заданого швидкісного режиму і параметри, що відповідають оптимальному куту випередження запалення.

Лабораторна робота виконуються на випробувальному стенді двигуна із іскровим запалюванням ВАЗ – 21081, який має наступні характеристики (рис.13):

Діаметр циліндра $D$ , мм	76;	
Хід поршня $S$ , мм	60,6;	
Кількість циліндрів	4;	
Розташування циліндрів	рядне;	
Порядок роботи	1-3-4-2;	
Робочий об'єм $V_h$ , л	1,1;	
Потужність $N_n$ , кВт ( $n_n = 5600 \text{ хв}^{-1}$ )	40;	
Максимальний крутний момент $M_{\text{кр}}$ , Н·м ( $n = 3600 \text{ хв}^{-1}$ )		77,9;
Газорозподільний механізм	ОНС;	
Кількість клапанів	8;	
Ступінь стиснення $\epsilon$	9,0;	
Паливо	АІ-92;	

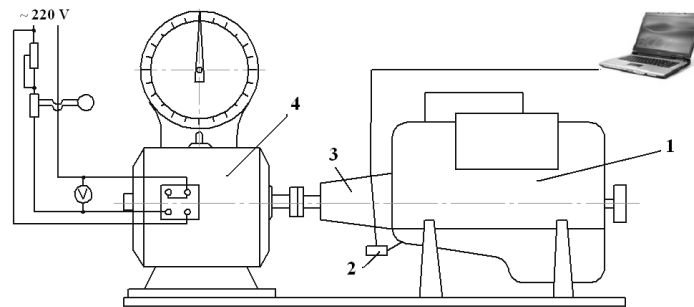


Рисунок 13 – Схема гальмівного стенда двигуна ВАЗ 21081:

1 – двигун; 2 – діагностичний роз'єм; 3 – коробка передач; 4 – навантажувальний пристрій.

Навантаження двигуна здійснюється електричною балансирною машиною. Частота обертання колінчатого вала контролюється магнітоелектричним тахометром і вимірюється електронним частотоміром. Масову витрату палива визначають ваговим методом. При цьому час витрати контрольної дози палива фіксують секундоміром та порівнюють з даними, що визначаються за допомогою штатного обладнання та програмного забезпечення ЕБК двигуна. Витрату повітря вимірюють за допомогою штатного обладнання та програмного забезпечення.

печення ЕБК двигуна. Температуру ВГ вимірюють хромель-алюмельовою термопарою і гальванометром, який має шкалу у °С. Тиск масла, температури масла і охолоджуючій рідини контролюють електричними приборами. Тепловий режим двигуна встановлюється зміною циркуляції води зовнішнього контуру через масляний і водяний охолоджувач. Кут випередження запалення визначається при працюючому двигуні за допомогою штатного обладнання та програмного забезпечення ЕБК двигуна.

За даними вимірювань для кожного режиму послідовно знаходять крутний момент (Н·м), ефективну потужність двигуна (кВт), годинну витрату палива (кг/год), питому витрату палива (г/(кВт·год)), годинну витрату повітря (кг/год), коефіцієнт наповнення, ефективний коефіцієнт корисної дії і коефіцієнт надлишку повітря. Ці дані також заносять до протоколу випробувань (додаток №1) та використовують при розрахунках характеристики двигуна за кутом випередження палива.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

## **Лабораторна робота 2**

### **Дослідження впливу складу горючої суміші на показники токсичності ВГ бензинового двигуна**

*Мета роботи:* дослідження впливу складу горючої суміші на концентрації шкідливих речовин у ВГ та паливну економічність бензинового двигуна.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд двигуна ВАЗ 21081, оснащений контрольно-вимірювальними приладами, газоаналізатори CO, CH, NO<sub>x</sub>.

*Методика виконання роботи.*

Характеристикою двигуна за складом горючої суміші називають сукупність залежностей ефективної потужності  $N_e$ , питомої ефективної витрати палива  $g_e$  та показників токсичності ВГ від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ . Цю характеристику визначають при незмінному положенні дросельної заслінки і постійній частоті обертання колінчатого вала. Склад горючої суміші (коефіцієнт надлишку повітря) змінюється апаратно за допомогою інтерфейсу керуючої програми.

Характеристика за складом суміші використовується при виборі оптимальних режимів роботи двигуна, при яких забезпечуються найбільші економічність та потужність, найменша токсичність ВГ, а також відсутність перегріву і детонації. На кожному режимі випробувань рекомендується встановлювати оптимальний кут випередження запалювання  $\theta_3$ .

Регульовальну характеристику за складом суміші знімають у такій послідовності. Встановлюють потрібну частоту обертання колінчатого вала. Збільшенням гальмівного моменту і відкриттям дросельної заслінки досягають обраного навантажувального режиму. Далі збіднюють горючу суміш до появи перебоїв у роботі двигуна і незначним збагаченням суміші домагаються його усталеної роботи. Зміною гальмового моменту доводять частоту обертання до необхідного значення. Встановлюють оптимальний для даного режиму кут випередження запалювання і після досягнення стабільного теплового стану двигуна виконують необхідні виміри. Далі, за рахунок збагачення горючої суміші за допомогою інтерфейсу керуючої програми при незмінному положенні дросельної заслінки проводять серію вимірів до чіткого виявлення максимуму потужності. Частота обертання колінчатого вала підтримується на встановленому рівні за рахунок зміни гальмового моменту.

Характеристику за складом суміші рекомендується знімати при номінальній частоті обертання і повному відкритті дросельної заслінки. На часткових режимах, коли максимальна потужність не потрібна, склад горючої суміші повинен забезпечувати  $g_{e \min}$ .

Результати вимірювань заносять до протоколу випробувань (додаток 1). Для побудови характеристики за складом горючої суміші знаходять крутний момент (Н·м), ефективну потужність двигуна (кВт), годинну витрату палива (кг/год), питому витрату палива (г/(кВт·год)), годинну витрату повітря (кг/год) і коефіцієнт надлишку повітря.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

### **Лабораторна робота 3**

#### **Дослідження впливу навантаження на токсичність ВГ бензинового двигуна**

*Мета роботи:* визначення і аналіз впливу навантаження на концентрації шкідливих речовин у ВГ та паливну економічність бензинового двигуна.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд двигуна ВАЗ 21081, оснащений контрольно-вимірювальними приладами, газоаналізатори CO, CH, NO<sub>x</sub>.

*Методика виконання роботи.* Вплив навантаження на показники токсичності ВГ визначають при роботі двигуна за навантажувальною характеристикою з одночасним вимірюванням вмісту шкідливих компонентів у ВГ.



Випробування проводять при постійній частоті обертання колінчатого вала. Зміну навантаження досягають зміною гальмівного моменту стенда.

Встановлюють оптимальний для даного режиму кут випередження запалення і після досягнення стабільного теплового стану двигуна виконують необхідні виміри. Перше вимірювання здійснюють в режимі холостого ходу. Потім навантаження поступово збільшують до максимальної величини при даному швидкісному режимі.

Останній вимір здійснюють при найбільшому навантаженні, при якому можлива усталена робота двигуна при заданій частоті обертання колінчатого вала. Усталену частоту обертання підтримують відповідним зовнішньому навантаженню відкриттям дросельної заслінки. Збільшення відкриття дросельної заслінки спричиняє зростання витрати повітря, що в свою чергу, приводить до зростання витрати палива. Поступово збільшуючи навантаження від холостого ходу до найбільшого значення для даного швидкісного режиму, вимірюють величини: крутний момент  $M_k$ , частоту обертання  $n$ , час  $\tau_n$ , за який витрачається встановлена порція палива  $\Delta G_n$ , годинну витрату повітря  $G_{пов}$ , тиск масла  $p_m$ , температуру ВГ  $t_{вг}$ , температуру рідини в системі охолодження  $t_{вод}$ , температуру масла в системі змащення  $t_m$ , а також концентрації шкідливих речовин у ВГ  $W_{CO}$ ,  $W_{CH}$ ,  $W_{NO_x}$ .

Результати вимірювань заносять до протоколу випробувань (додаток 1). Для побудови навантажувальної характеристики знаходять крутний момент (Н·м), ефективну потужність двигуна (кВт), годинну витрату палива (кг/год), питому витрату палива (г/(кВт·год)), годинну витрату повітря (кг/год) і коефіцієнт надлишку повітря.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

#### **Лабораторна робота 4**

### **Оцінка ефективності роботи нейтралізатора ВГ бензинового двигуна**

*Мета роботи:* визначення і аналіз коефіцієнтів ефективності нейтралізації шкідливих речовин CO, CH, NO<sub>x</sub>, які містяться у ВГ бензинового двигуна.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд двигуна ВАЗ 21081, оснащений контрольно-вимірювальними приладами, окислювально-відновний нейтралізатор ВГ, газоаналізатори CO, CH, NO<sub>x</sub>.

### *Методика виконання роботи.*

Однім із методів знешкодження шкідливих речовин у випускній системі двигуна є каталітична нейтралізація. Залежно від здатності ініціювати ті чи інші хімічні реакції каталізатори для ДВЗ розподіляються на такі види:

- *окисні*, в яких переважно протікають реакції окислення вуглеводнів, у тому числі канцерогенних, та монооксиду вуглецю (СН та СО);
- *відновлювальні*, які використовуються для відновлення оксидів азоту (NO<sub>x</sub>);
- *біфункціональні*, які можуть бути використані для нейтралізації всіх зазначених вище шкідливих інгредієнтів ВГ та поєднують функції окисних і відновлювальних каталізаторів.

Найбільш ефективними є каталізатори на основі благородних металів – платини та паладію. Платина – найбільш універсальний каталізатор, який забезпечує швидке протікання реакцій окислення та відновлення. Паладій, як правило, використовують для прискорення окисних реакцій. Для інтенсифікації відновлювальних реакцій застосовують родій, рутеній, оксиди міді, заліза, марганцю, ванадію, хрому та ін. Каталізатор наносять на поверхню носія або насичують його. В якості носіїв використовують керамічні або виготовлені з тугоплавких окислів (наприклад Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) блоки або гранули з розвиненою поверхнею контакту з ВГ.

У бензинових двигунах на ряді режимів роботи (холостому ході, розгоні, поновному навантаженні) суміш збагачена ( $\alpha < 1$ ), що викликає підвищені викиди СО, СН, а головне, виключає протікання реакцій окислення (за відсутності вільного кисню у ВГ) навіть у присутності каталізаторів. Тому у каталітичній нейтралізатор, що розташовують у тракці випуску, необхідно подавати додаткове повітря.

Каталітичні нейтралізатори найбільш поширені у автотранспорті, особливо легковому. Як свідчить досвід, ці нейтралізатори мають і недоліки. Вони можуть погіршувати паливну економічність, знижувати потужність ДВЗ в експлуатації.

Лабораторна робота спрямована на визначення ефективності знешкодження каталітичним нейтралізатором шкідливих речовин, що містяться у ВГ бензинового двигуна, як функції від навантаження. При проведенні роботи використовують ті самі режими випробувань, що і при виконанні лабораторної роботи №3. На кожному контрольному режимі роботи двигуна розраховують коефіцієнт ефективності нейтралізації і-ї шкідливої речовини:

$$E_i = \frac{C_{i_n} - C_{i_a}}{C_{i_a}} \cdot 100,$$

де  $C_{i_n}$  – об’ємна концентрація  $i$ -ї речовини до нейтралізатора;  $C_{i_a}$  – об’ємна концентрація  $i$ -ї речовини після нейтралізатора.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

## Лабораторна робота 5

### Дослідження впливу навантаження на токсичність ВГ дизеля

*Мета роботи:* визначення і аналіз впливу навантаження на концентрації шкідливих речовин у ВГ та паливну економічність дизеля.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), оснащений контрольно-вимірювальними приладами, газоаналізатори CO, CH, NO<sub>x</sub>.

*Методика виконання роботи.* Вплив навантаження на показники токсичності ВГ дизеля визначають при роботі двигуна за навантажувальною характеристикою з одночасним вимірюванням вмісту шкідливих компонентів у ВГ.

Випробування проводять при постійній частоті обертання колінчатого вала при оптимальному куті випередження подачі палива. Зміну навантаження виконують за рахунок зміни гальмівного моменту стенда.

Перше вимірювання здійснюють в режимі холостого ходу після досягнення стабільного теплового стану дизеля. Вимірюють значення таких параметрів: крутного моменту  $M_k$ , частоти обертання  $n$ , часу  $\tau_{п}$ , за який витрачається встановлена порція палива  $\Delta G_{п}$ , часу  $\tau_{пов}$  витрати певного об’єму повітря  $\Delta V_{пов}$ , тиску масла  $p_m$ , температури ВГ  $t_{вг}$ , температури рідини в системі охолодження  $t_{вод}$ , температури масла в системі змащення  $t_m$ , а також концентрацій шкідливих речовин CO, CH та NO<sub>x</sub> у ВГ двигуна. Для проведення наступних вимірювань важіль керування паливopoдачею переміщують у напрямі збільшення подачі палива. Змінюючи навантаження відновлюють задану постійну частоту обертання колінчатого вала дизеля і вимірюють ті величини, що і при першому вимірюванні.

Після заповнення протоколу випробувань дизеля і проведення обчислень будують залежності  $G_{п}$ ,  $G_{пов}$ ,  $g_e$ ,  $\alpha$ ,  $W_{CO}$ ,  $W_{CH}$ ,  $W_{NO_x}$  від навантаження  $N_e$ . та проводять їх аналіз.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

## **Лабораторна робота 6**

### **Дослідження впливу навантаження на димність ВГ дизеля**

*Мета роботи:* вивчення методики визначення димності ВГ дизелів, визначення і аналіз впливу навантаження на димність ВГ дизеля.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), оснащений контрольно-вимірювальними приладами, оптичний димомір.

*Методика виконання роботи.* Вплив навантаження на димність ВГ автотракторного дизеля визначають при роботі двигуна за навантажувальною характеристикою. Методика визначення режимів випробувань дизеля є такою самою, як у лабораторній роботі 5.

Димність ВГ визначається після температурної стабілізації потоку ВГ дизеля протягом часу не менш ніж 4...5 хвилин. На кожному режимі випробувань визначення показника димності ВГ виконують не менше 3-х разів (з перервами між вимірюваннями у 1 хвилину); при цьому результати вимірювань не повинні утворювати убиваючу або зростаючу послідовність.

Після проведення досліджень та заповнення протоколу випробувань дизеля визначають залежності параметрів  $G_{п}$ ,  $G_{пов}$ ,  $g_e$ ,  $K_d$  від потужності дизеля та проводять їх аналіз.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

## **Лабораторна робота 7**

### **Дослідження впливу кута випередження впорскування палива на токсичність та димність ВГ дизеля**

*Мета роботи:* визначення і аналіз впливу кута випередження впорскування палива на концентрації шкідливих речовин у ВГ, паливну економічність та димність ВГ дизеля.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), оснащений контрольно-вимірювальними приладами, оптичний димомір.

*Методика виконання роботи.* Вплив кута випередження впорскування палива на димність ВГ дизеля визначають при роботі двигуна на одному з обраних швидкісних режимів близькому до максимального навантаження. Випробування дизеля проводиться при 5 кутах випередження впорскування палива: початковому (оптимальному) значенні, при зменшенні кута на 2..3 градуси і на 4...5 градусів від початкового значення та при збільшенні кута на 2..3 градуси і 4...5 градусів від початкового значення. При кожному куті випередження впорскування палива визначаються такі самі показники токсичності ВГ та вимірювальні параметри, як при виконанні лабораторної роботи 5.

В результаті виконання роботи визначають залежності величин  $G_{\text{п}}$ ,  $G_{\text{пов}}$ ,  $g_e$ ,  $K_d$  від кута випередження впорскування палива  $\theta_{\text{впр}}$  та проводять їх аналіз.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1) та графічну форму представлення результатів досліджень (додаток 2), проаналізувати отримані результати та зробити висновки.

## **Лабораторна робота 8**

### **Визначення димності ВГ дизеля на режимі свobodного прискорення**

*Мета роботи:* освоєння методики випробувань і визначення димності ВГ дизеля на режимі свobodного прискорення.

*Прилади та обладнання:* гальмівний стенд дизеля 4ЧН12/14 (СМД-23), оснащений контрольно-вимірювальними приладами, оптичний димомір.

*Методика виконання роботи.* Проведення випробувань дизеля на режимі свobodного прискорення передбачено Правилами СЕК ООН №24. Відповідно даного нормативного документа для дизелів без наддуву димність на режимі свobodного прискорення не повинна бути вище за норму димності на сталому режимі. Для дизелів із наддувом значення коефіцієнту поглинання світового потоку, яке виміряне на режимі свobodного прискорення, не повинне бути більше за  $0,5 \text{ м}^{-1}$  за граничне значення, що має коефіцієнт поглинання, визначений при випробуваннях на сталих режимах.

Перед проведенням випробувань дизель від'єднують від гальмового пристрою. Після запуску двигуна встановлюють мінімальну частоту обертання колінчатого валу. При роботі дизеля на цьому режимі швидким, але плавним рухом переміщують до упора важіль приводу паливного насоса на максимальну подачу. Таке положення зберігається до досягнення максимальної частоти обертання колінчатого валу, яке обмежується регулятором. При цьому на шкалі димоміра фіксують максимальне значення димності в період розгону і досяг-

нення максимальної частоти. Після вимірювань подачу палива зменшують до встановлення вихідної мінімальної частоти обертання колінчатого вала.

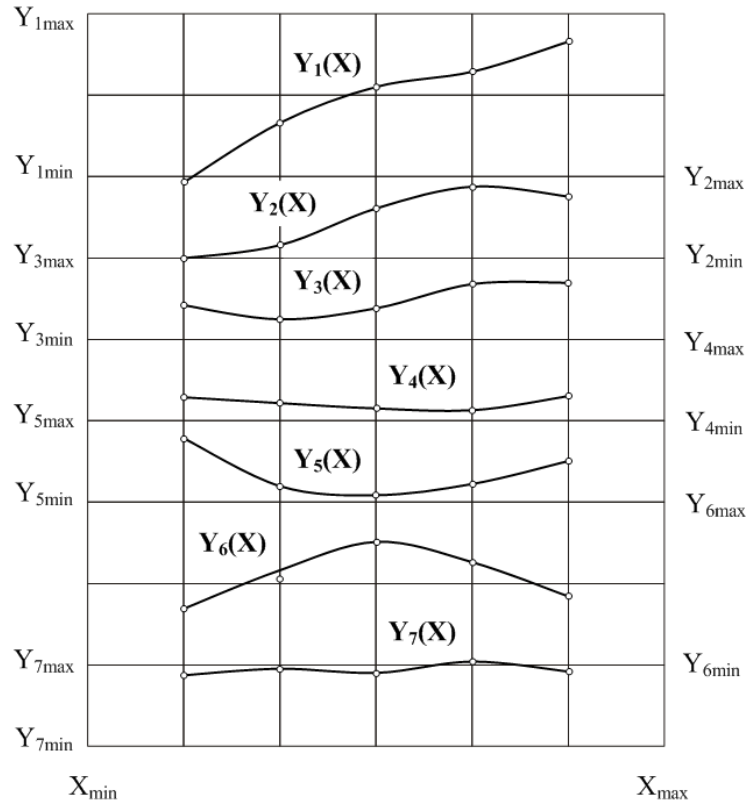
Визначення димності на режимі свобідного прискорення проводять 8 разів. За кінцевий результат вимірювання приймають середнє арифметичне чотирьох останніх вимірювань.

*Оформлення та захист роботи:* заповнити протокол випробувань двигуна (додаток 1), розрахувати значення димності ВГ дизеля на режимі свобідного прискорення, проаналізувати отримані результати та зробити висновки.



## До даток 2

Графічна форма представлення результатів випробувань



На графіках представлені:

$X$  – параметр, який впливає на характеристики  $Y_i$ ; наприклад, кут випередження запалення -  $\theta_3$ , град до ВМТ;

$Y_i$  - характеристики двигуна; наприклад:

$Y_1$  – концентрація оксидів азоту  $W_{NOx}$ , ppm;  $Y_2$  – концентрація сумарних вуглеводнів  $W_{CH}$ , %;  $Y_3$  – концентрація оксиду вуглецю  $W_{CO}$ , %;  $Y_4$  – коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ ;  $Y_5$  – питома ефективна витрата палива  $g_e$ , г/(кВт·год);  $Y_6$  – ефективна потужність  $N_e$ , кВт;  $Y_7$  – масова витрата палива  $G_p$ , г/год.



## Список джерел інформації

1. Марченко А.П. Двигуни внутрішнього згорання : серія підручників у 6 томах. Том. 5. Екологізація ДВЗ / А.П. Марченко, А.Ф. Шеховцов, І.В. Парсіданов. – Х. : Прапор, 2004. – 324 с.
2. Екологія та автомобільний транспорт : навч. посіб. / Ю.Ф. Гутаревич, Д.В.Зеркалов, А.Г. Говорун та ін. – К. : Арістей, 2006. – 296 с.
3. Луканин В.Н. Промышленно-транспортная экология / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М. : Высшая школа, 2003. – 273 с.
4. Графкина М. В. Экология и автомобиль / М. В. Графкина, В. А. Михайлов. – М. : Высшее образование, 2012. – 112 с.
5. Морозов К.А. Токсичность автомобильных двигателей / К.А. Морозов, 2001. - М. : Легион-Автодата, 2001. — 80 с.
6. Звонов В.А. Токсичность двигателей внутреннего сгорания / В.А. Звонов. – М. : Машиностроение, 1981. – 155 с.
7. Марков В.А. Токсичность отработавших газов дизелей / В.А. Марков, Р.М. Баширов, И.И. Габитов. – М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 376 с.
8. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания / И.Я. Райков. – М. : Высшая школа, 1975. – 162 с.

## Зміст

Вступ.....	3
Загальні вимоги щодо проведення лабораторних робіт.....	3
Методика визначення параметрів, які характеризують режим роботи двигуна.....	4
Прилади та обладнання для визначення концентрацій шкідливих речовин та димності відпрацьованих газів.....	5
Алгоритм проведення комп'ютерної діагностики двигуна ВАЗ - 21081 .....	9
<b>Лабораторна робота 1.</b> Дослідження впливу кута випередження запалювання на показники токсичності ВГ бензинового двигуна .....	13
<b>Лабораторна робота 2.</b> Дослідження впливу складу горючої суміші на показники токсичності ВГ бензинового двигуна.....	13
<b>Лабораторна робота 3.</b> Дослідження впливу навантаження на токсичність ВГ бензинового двигуна .....	17
<b>Лабораторна робота 4.</b> Оцінка ефективності роботи нейтралізатора ВГ бензинового двигуна .....	18
<b>Лабораторна робота 5.</b> Дослідження впливу навантаження на токсичність ВГ дизеля .....	20
<b>Лабораторна робота 6.</b> Дослідження впливу навантаження на димність ВГ дизеля .....	21
<b>Лабораторна робота 7.</b> Дослідження впливу кута випередження впорскування палива на димність ВГ дизеля.....	21
<b>Лабораторна робота 8.</b> Визначення димності ВГ дизеля у режимі вільного прискорення .....	22
Додатки.....	24
Список джерел інформації .....	26

ДЛЯ НОТАТОК

ДЛЯ НОТАТОК

Навчальне видання

## МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до лабораторних робіт з дисципліни з дисципліни  
«Екологічність двигунів внутрішнього згоряння»  
для студентів спеціальності 7(8).05050304 –  
«Двигуни внутрішнього згоряння»

Укладачі: ПАРСАДАНОВ Ігор Володимирович

ПОЛИВ'ЯНЧУК Андрій Павлович

БІЛИК Сергій Юрійович

Відповідальний за випуск А.П. Полив'янчук

Роботу до видання рекомендував проф. В.Г. Дяченко

В авторській редакції

План 2015 р., поз. 231

Підп. до друку 22.10.15. Формат 60x84 1/16. Папір офсетний.  
Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. \_\_\_\_.  
Наклад 50 прим. Зам. № \_\_\_\_\_. Ціна договірна.

---

Видавничий центр НТУ «ХП».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК №116 від 10.07.2000 р.  
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

---