

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ Й НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАСТАВА
«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ ІНСТИТУТ

З а т в е р д ж у ю:
директор АДІ ДонНТУ
_____ М.М. Чальцев
«_____» _____ 2012 р.

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ З ДИСЦИПЛІНИ
«АВТОМОБІЛЬНІ ДВИГУНИ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ СПЕЦІАЛЬНОСТІ 6.070106
«АВТОМОБІЛЬНИЙ ТРАНСПОРТ»**

шифр

Укладачі: **Міщенко М.І., д.т.н., проф., Супрун В.Л., ас.**

«РЕКОМЕНДОВАНО»

Навчально-методична комісія
факультету

«Автомобільний транспорт»

Протокол № 2 від 16.10.2012 р.

«РЕКОМЕНДОВАНО»

Кафедра

«Автомобільний транспорт»

протокол № 1 від 3.10.2012 р.

УДК 621.43 (071)

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Автомобільні двигуни» (для студентів спеціальності 6.070106) /Сост.: М.І. Міщенко, В.Л. Супрун – Горлівка: АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», 2012 – 40 с.

Лабораторная работа №1 является ознакомительной, включает в себя описание оборудования и приборов, используемых при испытании двигателей внутреннего сгорания, организацию выполнения лабораторных работ при ее проведении и составление отчетов.

Лабораторная работа №2 включает в себя сведения по холостому ходу двигателя, методику получения характеристики холостого хода, оценку экономичности двигателя на этом режиме и контрольные вопросы для самоподготовки.

Укладачі

М.І. Міщенко, д.т.н., проф.,
В.Л. Супрун, ас.

Відповідальний за випуск:

Міщенко М. І., д.т.н., проф.

Рецензент

Сокірко В.М., к.т.н., доц. каф.
«Транспортні технології»

© Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
Автомобільно-дорожній інститут, 2012

ВСТУП

Лабораторні роботи із двигунів внутрішнього згорання (ДВЗ) повинні допомогти студентам засвоїти й закріпити на практиці теоретичні знання, що викладаються в лекційному курсі «Автомобільні двигуни», і показати їх практичну цінність.

При виконанні лабораторних робіт студенти знайомляться з устаткуванням і приладами, які використовуються для випробувань двигунів, і вивчають методику й техніку виміру параметрів, необхідних для одержання основних характеристик двигуна, здобувають певні навички по випробуванню двигунів. Лабораторні заняття повинні навчити правил проведення випробувань і обробці їхніх результатів, включаючи побудову графіків.

Основне завдання лабораторних робіт – розвиток у студентів уміння аналізувати вплив основних режимів і регулювальних параметрів двигуна – частоти обертання, навантаження, состава суміші, кута випередження запалювання на його показники потужності, економічності й токсичності. Проведення такого аналізу повинне базуватися на основних положеннях теорії, що викладається в підручниках і лекційному курсі й давати подання студентам про можливість напрямку подальшого вдосконалювання основних показників робочого процесу автомобільних ДВЗ.

У першій лабораторній роботі приводиться опис устаткування й приладів, використовуваних при проведенні випробувань ДВС, коротка відомість про інші типи приладів, які можуть бути використані при випробуваннях. Також описується організація виконання лабораторних робіт, правила обробки результатів випробувань і складання звітів.

У методичних вказівках також наведені правила техніки безпеки при проведенні лабораторних робіт.

1. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ І ОБРОБКИ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

1.1. Організація проведення лабораторних робіт

Для студентів спеціальності 6.070106 «Автомобільний транспорт» передбачається 4 лабораторних робіт. На кожену приділяється 4 години; з них 2 години - на аудиторні заняття і 2 години на домашню підготовку студентів до виконання роботи.

До чергового заняття студент зобов'язаний попередньо самостійно підготуватися. Вивчивши опис лабораторної роботи, варто усвідомити мету роботи, вивчити методику її проведення й ознайомитися з відповідним розділом лекційного курсу й літературних джерел по темі проведеної роботи. Питання для самопідготовки наведені наприкінці опису кожної лабораторної роботи.

Лабораторна робота виконується підгрупою, що складається з 10-12 студентів. На початку заняття в перші 15-20 хвилин перевіряється підготовленість студентів до виконання чергової роботи. Теоретичний розбір лабораторної роботи проводиться викладачем в аудиторії в першу години роботи.

Після теоретичного розбору викладач розподіляє студентів по робочих постах, роз'яснює їхню роль і разом з ними проводить випробування двигуна.

Залежно від числа вимірюваних параметрів, а також трудомісткості й тривалості виміру на кожному пості повинне бути 1...3 студента. При розподілі студентів по постах викладач складає графік черговості, відповідно до якого всі студенти за час навчання в лабораторії повинні проробити на кожному з основних постів.

Викладач при проведенні випробувань контролює дії робочих постів і, якщо буде потреба корегує їх.

У процесі проведення випробувань всі показання приладів із вказівкою номера виміру студенти записують у довільній формі на окремих аркушах паперу. Початок і кінець виміру позначається по сигналі старшого підгрупи.

При визначенні характеристики двигуна кількість точок виміру повинне бути не менш 6 і достатнім для того, щоб при побудові характеристики виявити форму й характер залежності у всім діапазоні обстежуваних режимів.

По закінченні проведення випробувань студенти розбиваються на кілька груп і роблять обробку результатів вимірів. Після цього заносять дані до протоколу випробувань, будують графічні залежності, роблять короткий аналіз отриманої характеристики й висновки по роботі.

1.2. Умови проведення випробувань

При проведенні випробувань автотракторних двигунів відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 14846- 81 необхідно дотримуватись наступних умов:

1. Паливо й масло при випробуванні двигуна повинні відповідати зазначеним у документації.

2. Температура охолоджувальної рідини й масла у двигуні під час випробувань повинна перебувати в межах, зазначених у паспорті двигуна. При відсутності

таких вказівок температура рідини на виході із двигуна повинна дотримуватися в межах $-75-85^{\circ}\text{C}$, а температура масла – у межах $80-100^{\circ}\text{C}$.

3. Визначення показників двигуна повинне вироблятися на сталому режимі роботи. Сталий режим – це режим, при якому крутний момент, частота обертання, температура охолоджувальної рідини й масла змінюються за час виміру не більше ніж на $\pm 2\%$.

4. При ручному керуванні стендом тривалість виміру витрати палива повинна бути не менш 30 сек.

5. Максимальна температура відпрацьованих газів при випробуваннях не повинна перевищувати значень, зазначених у технічних умовах на двигун.

1.3. Обробка результатів випробувань

У цей час при випробуваннях двигунів внутрішнього згоряння застосовується вимірювальна апаратура, проградуєвана в старих одиницях. У зв'язку із цим при обробці результатів випробувань для одержання основних параметрів двигуна в одиницях системи СІ в розрахункові формули уведені перевідні коефіцієнти.

Крутний момент двигуна розраховується по формулі:

$$M_e = 9,81P_{\text{вес}}l, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (1.1)$$

де $P_{\text{вес}}$ – показання ваг гальма, кгс;

l – плече вагового пристрою гальма, м ($l = 0,7162\text{м}$);

$$P_e = 0,01256 \frac{M_e}{iV_h}, \text{ МПа} \quad (1.2)$$

де iV_h – літраж двигуна (робочий об'єм всіх циліндрів), л.

Ефективна потужність двигуна

$$N_e = \frac{M_e n}{9550}, \text{ кВт} \quad (1.3)$$

При $l = 0,7162 \text{ м}$

$$N_e = \frac{P_{\text{вес}} n}{1360}, \text{ кВт} \quad (1.4)$$

У цих формулах n – частота обертання вала двигуна, хв^{-1} .

Годинна витрата палива для вагового способу виміру

$$G_T = \frac{3,6\Delta G_T}{\tau}, \text{ кг/год} \quad (1.5)$$

де ΔG_T – маса дози палива в г, витраченого двигуном за час виміру τ , с;

Питома ефективна витрата палива

$$g_e = \frac{G_T 10^3}{N_e}, \text{ г/кВт}\cdot\text{год} \quad (1.6)$$

Годинна витрата повітря

$$G_B = 3600 \frac{\Delta V_B \rho_B}{\tau}, \text{ кг/год} \quad (1.7)$$

де ΔV_B – об'єм повітря в м^3 , витраченого двигуном за час виміру τ , с;

ρ_B – щільність повітря при випробуваннях у $кг/м^3$,

$$\rho_B = 0,405 \frac{B_0}{273+t_0}, кг/м^3,$$

Тут B_0 – барометричний тиску повітря при випробуваннях у *мм рт.ст.*;

t_0 – температура повітря в $^{\circ}C$ перед входом у витратомір.

Коефіцієнт надлишку повітря

$$\alpha = \frac{G_B}{G_T l_0}, \quad (1.8)$$

де l_0 – теоретично необхідна кількість повітря в $кг$ для повного згорання $1кг$ палива:

для бензинів $l_0 = 14,95$;

для дизпалива $l_0 = 14,4$.

Коефіцієнт наповнення

$$\eta_V = \frac{G_B 10^5}{30 \cdot i \cdot V_n \cdot \rho_B}. \quad (1.9)$$

1.4. Складання звіту

Звіт повинен містити: визначення досліджуваної характеристики й умови його зняття, перелік використаного устаткування й вимірювальних приладів, протокол випробувань установленної форми, розрахункові формули, графіки, короткий аналіз і висновки по роботі.

Після випробувань у відповідні графі протоколу записуються показання приладів – результати безпосередніх вимірів. Потім виробляється обробка цих результатів з точністю до трьох значущих цифр і отримані значення розрахункових параметрів заносяться у відповідні графі протоколу випробувань. Зразок оформлення протоколу наведений у таблиці 1.

За результатами вимірів і розрахунків, наведених у протоколі випробувань, будуються з дотриманням масштабу необхідні графіки відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 4846-81. При кресленні графіків використовується міліметровий папір розміром 148×210 мм. Зразок оформлення характеристики наведений на рисунку 1.1.

Необхідно мати на увазі, що при побудові кривих вимірюваних величин або основного досліджуваного параметра (крутного моменту M_k , годинних витрат палива G_T і повітря G_V , розрідження в карбюраторі ΔP_k і ін.) точки виділяються значками, наприклад, кружками, трикутниками, а проведені по цих точках криві повинні коректувати зроблені виміри і відбивати дійсні зміни параметрів, тобто мати плавний характер. При цьому багато точок можуть виявитися не безпосередньо на кривій, а поблизу від неї в наслідок відхилення режиму роботи двигуна від заданого за час вимірів і наявність випадкових погрешностей вимірів.

Похідні величини такі як ефективна потужність N_e , питома ефективна витрата палива g_e , коефіцієнт наповнення η_V , коефіцієнт надлишку повітря α і ін. підраховують за допомогою відповідних формул, наведених у розділі 1.3. У ці формули для кожної точки підставляють значення вимірюваних параметрів, узяті

не із протоколу випробувань, а зі скоректованих кривих. Криві похідних величин будуються у вигляді суцільних ліній без виділення на них крапок якими-небудь значками. Приклади побудови характеристик, позначення величин, що відкладаються, і одиниці їхніх вимірів наведені в описі кожної лабораторної роботи.

Наприкінці звіту на підставі отриманих експериментальних і розрахункових даних приводяться короткий аналіз і виводи.

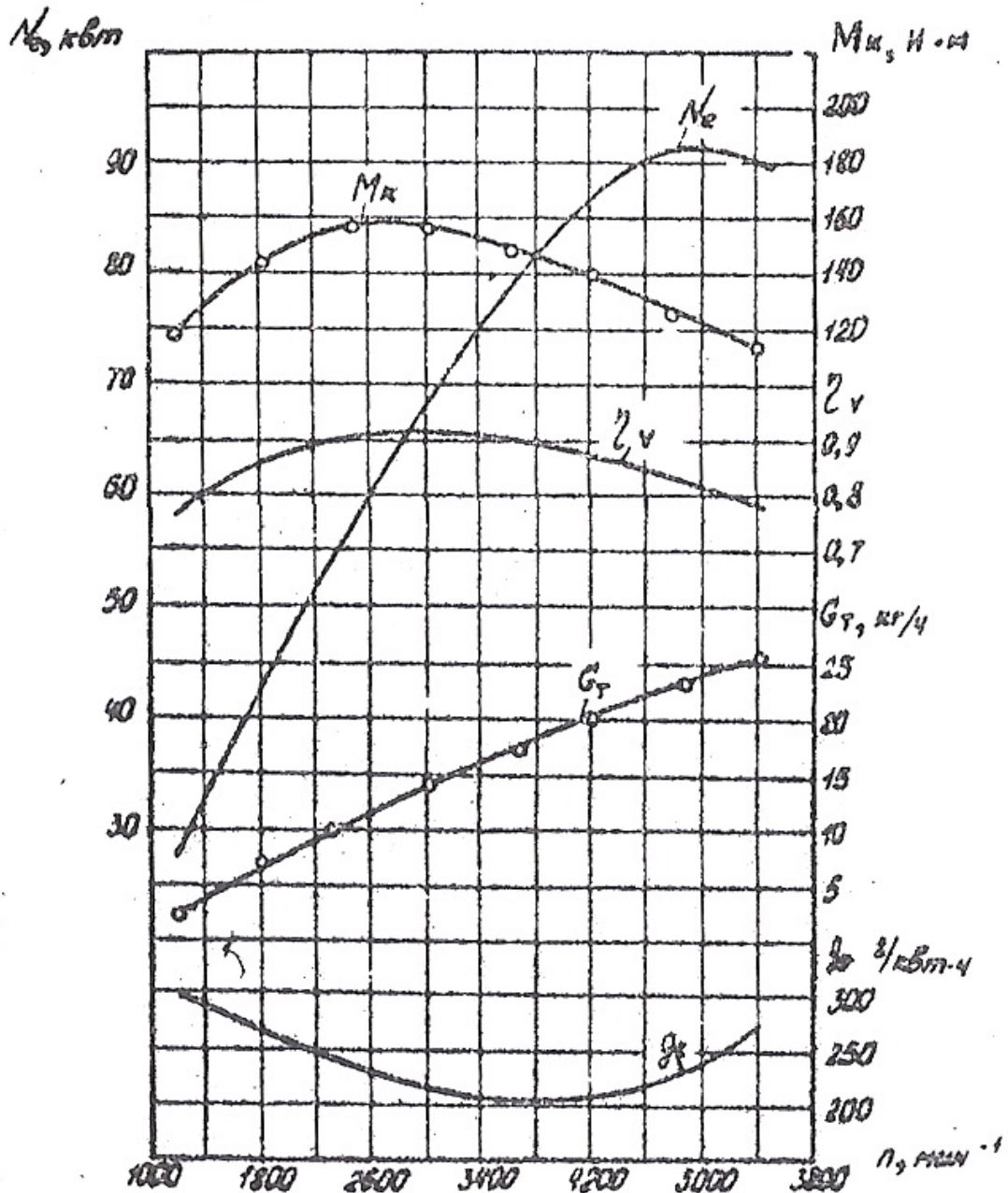


Рис. К.І. Образец оформления характеристики

Основні положення, на які при цьому варто звернути увагу, перераховані наприкінці опису відповідної роботи.

Аналіз результатів досліду дозволяє студентам закріпити матеріал лекційного курсу й усвідомити вплив основних параметрів двигуна (частоти обертання, навантаження, состава суміші, випередження запалювання й ін.) на його потужнісні й економічні показники.

2. ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ПРИ ВИПРОБУВАННІ ДВИГУНІВ

У лабораторії двигунів необхідно забезпечити повну безпеку й нешкідливість умов для роботи студентів, викладачів і лаборантського складу.

У перший день занять одночасно з ознайомленням із загальною будовою лабораторії й стендів студенти інструктуються з техніці безпеки.

При цьому основна увага приділяється:

- а) правилам роботи з етілірованим бензином;
- б) огороженню з'єднуючих пристроїв обертових деталей;
- в) вентиляції приміщення;
- г) можливості опіків;
- д) правилам обігу із ртутними приладами;
- е) можливості легкого отруєння газами, що містять окис вуглецю;
- ж) електрозахисним пристроям і т.д.

Крім цього, студенти знайомляться із розташуванням протипожежних засобів у лабораторії (пісок, вогнегасник, брандспойти з рукавами, дошки із протипожежними засобами й т.п.).

Проведення інструктажу студентів по техніці безпеки реєструється в спеціальному журналі, що перебуває в лабораторії ДВЗ.

Загальні правила техніки безпеки вивішуються в лабораторії на видному місці.

В особливо небезпечних місцях необхідно вивішувати попереджуючі плакати або написи «Не включати», «Прилади під струмом», «Не торкати» і т.п.

Лабораторія двигунів повинна бути постачена медикаментами й засобами першої допомоги.

Всі студенти, викладачі й обслуговуючий персонал лабораторії повинні при випробуванні двигунів точно виконувати наступні правила техніки безпеки, охорони праці й промислової санітарії:

1. Працювати в халатах, застебнутих на всі гудзики.
2. Перед пуском двигунів включити рубильники всіх витяжних вентиляторів.
3. Не допускати безцільного включення в дію приладів, пускачів, рубильників, повертання рукояток регулювальних органів і т.д.
4. Забороняється провертати двигун за допомогою ремня вентилятора або лопат вентилятора. Вал двигуна можна провертати тільки заводною рукояткою або обертати від руки сполучну муфту вала двигуна й гальма. У всіх випадках провертання валів двигуна виконується при виключеному запалюванні.

5. Категорично забороняється перевищувати частоту обертання генератора понад припустиму за паспортом.
6. Не допускати переливу бензину й дизельного палива з посудин і пристрою для виміру витрати палива.
7. Забороняється доторкатися руками до випускного колектора двигуна й випускній системі.
8. Забороняється в лабораторії курити або працювати з відкритим полум'ям.
9. У випадку виникнення пожежі, сприяти гасінню його, застосовуючи наявні протипожежні засоби.
10. При легкій травмі (пожежах, опіках, ударах) негайно застосовувати наявні в лабораторії наявні медичні засоби.
11. У випадку влучення етілірованого бензину на шкірний покрив необхідно негайно змити його гасом, а потім теплою водою з милом.
12. Після закінчення лабораторних занять студенти повинні:
 - а) відключити паливні баки;
 - б) закрити крани водопровідної магістралі, використовуваної для охолодження;
 - в) виключити рубильники всіх вентиляторів;
 - г) відключити акумулятори;
 - д) виключити рубильники силової мережі;
 - е) привести робоче місце в порядок.
13. Студенти, що не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до виконання лабораторних робіт не допускаються.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 1

ІСПИТОВІ СТЕНДИ, АПАРАТУРА Й ПРИЛАДИ

Ціль роботи: ознайомитися з іспитовими стендами для ДВЗ, будовою і принципом роботи гальмових пристроїв, контрольно-вимірювальних і регулювальних приладів.

Крім того, у роботі передбачається дати студентам деякі практичні навички по техніці керування двигуном і способам установлення різних його режимів в умовах стендових випробувань. Студенти повинні навчитися самостійно проводити виміри й запис показань приладів до протоколу випробувань із виконанням необхідних розрахунків для визначення параметрів двигуна.

1. Устаткування іспитового стенда

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 14846-81 іспитовий стенд повинен мати наступне устаткування:

- пристрій для установки й закріплення двигуна;
- пристрій для з'єднання двигуна з гальмом;

- гальмову установку;
- пристрій, що забезпечує охолодження двигуна;
- пристрій для відводу відпрацьованих газів за межі приміщення, де перебуває стенд;
- пристрій для живлення двигуна паливом;
- органи керування двигуном;
- пульт для керування двигуном і проведення вимірів.

1.1 Гальмові пристрої

У лабораторних умовах для визначення навантаження двигуна застосовують різні гальмові пристрої – електричні, гідравлічні й електромагнітні (індукційні).

До всіх гальмових пристроїв пред'являються наступні основні вимоги:

1. Характеристика гальма повинна відповідати максимальній потужності, крутному моменту й частоті обертання по зовнішній швидкісній характеристиці випробовуваного двигуна.
2. Можливість плавної зміни в широких межах швидкісного й навантажувального режимів двигуна.
3. Забезпечення стійкого гальмового режиму при незмінному положенні органів регулювання.
4. Гнучкість гальмового пристрою (швидке встановлення нового режиму двигуна).
5. Можливість примусового прокручування двигуна з метою його запуску й визначення потужності механічних втрат.

1.1.1 Електричне гальмо

Застосовуване у лабораторії ДВЗ балансирне електричне гальмо являє собою установку (рис. 2), що складається із електричного гальма *A*, реостатного пристрою *B*, призначеного для регулювання струму в обмотках ротора, і вагового механізму *B*.

Електричним гальмом служить синхронний електродвигун з фазним ротором, включений у мережу змінного трифазного струму. Електрична машина може працювати в руховому режимі (при частоті обертання ротора нижче синхронної) і в генераторному режимі або гальмовому (при частоті обертання ротора вище синхронної).

Електрична машина (рис. 2) встановлена на станині 4 і складається з ротора 2 і статори 1. Вал ротора встановлений у підшипниках 5 і з'єднується з випробовуваним двигуном за допомогою карданного вала. Обмотка ротора включає в ланцюг реостатного пристрою через токоз'ємні кільця 3. Сам статор 1 має балансирну підвіску, встановлюється в підшипниках 6 і може обертатися навколо тієї ж осі, що й ротор. Щоб утримати статор від обертання, до нього приєднують через важіль динамометр або ваговий пристрій *B* (рис. 2), що буде реєструвати величину сили $P_{вес}$, яка створює рівноважуючий момент на плечі *l*.

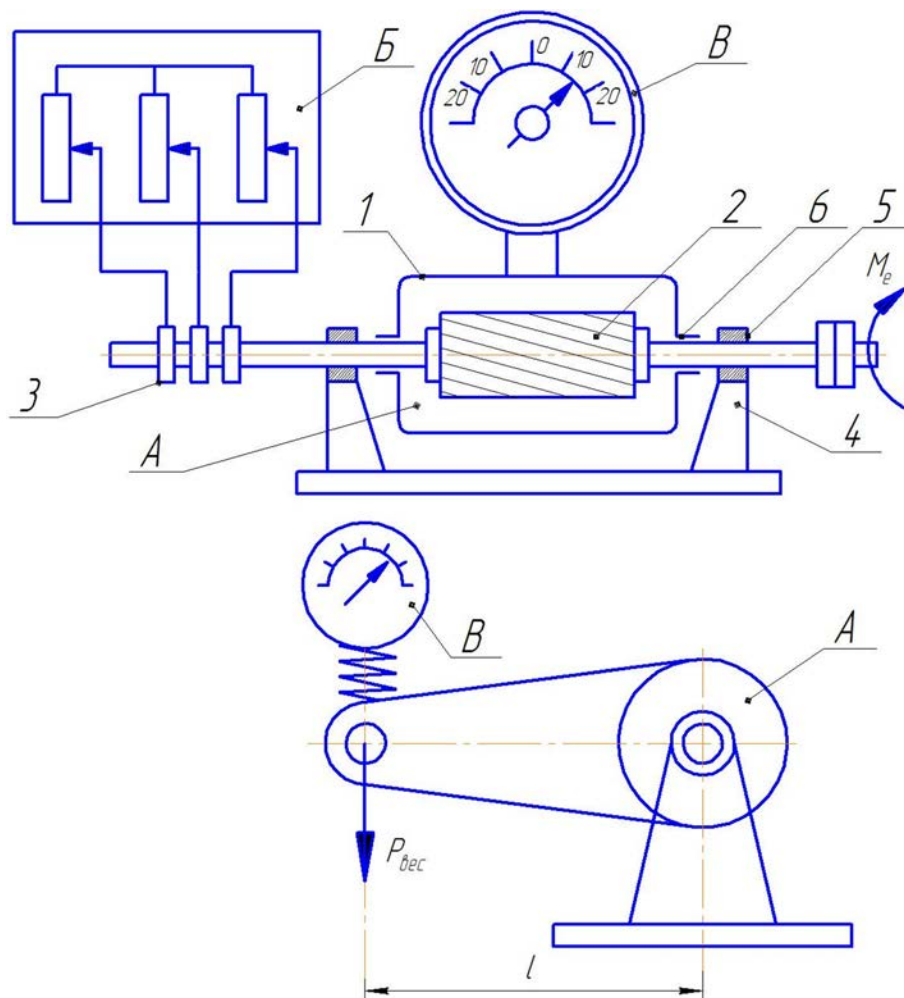


Рисунок 2 – Схема вимірювання крутного моменту

Крутний момент двигуна дорівнює

$$M_e = 9,81 \cdot P_{\text{вес}} \cdot l, \text{ Н}\cdot\text{м};$$

де $P_{\text{вес}}$ – сила (показання вагового пристрою), кгс;

l – плече, м.

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 14846-81 крутний момент двигуна повинен вимірюватися з точністю $\pm 0,5\%$. Динамометр електричного гальма не враховує моменту від тертя в підшипниках статора. Але оскільки цей момент досить малий, то він не робить практичного впливу на результати вимірів.

Робота електричного гальма відбувається в такий спосіб. Після включення в мережу електричної машини, трифазний струм, проходячи по обмотках статора, створює обертове магнітне поле. При подачі живлення через реостатний пристрій в обмотки збудження 2 (рис. 2) ротора з'являється обертаючий момент, величина якого пропорційна силі струму в обмотках ротора й швидкості обертання ротора щодо обертового поля статора. У момент рівності обертаючого моменту й гальмового моменту, прикладеного до ротора, починається обертання ротора й одночасно колінчастого вала випробуваного двигуна. Так відбувається примусове прокручування випробуваного двигуна. Регулювання швидкості обертання колінчастого вала здійснюється виміром величини струму

в роторі за допомогою реостатного пристрою. Двигун запускають включенням запалювання й відкриттям дросельної заслінки, при цьому колінчастий вал повинен мати частоту обертання не нижче пусковий ($500\text{--}600 \text{ хв}^{-1}$). Працюючий ДВЗ зменшує опір обертанню ротора електричної машини, при цьому оберти двигуна зростуть. По мірі відкриття заслінки відбувається подальше збільшення частоти обертання двигуна. У цьому випадку відносна швидкість ротора й обертаючогося магнітного поля статора буде зменшуватися. При рівності швидкостей ротора й магнітного поля статора (синхронна швидкість) перетинання витків ротора не відбувається й струм в останньому стає рівним нулю, стрілка вагового механізму переміститься в положення «нуль», що свідчить про відсутність крутного моменту.

Збільшення частоти обертання двигуна понад синхронний за рахунок подачі більшої кількості горючої суміші автоматично переводить електричну машину в генераторний (гальмовий) режим. Для електрогальмівних стендів типу КІ синхронна швидкість обертання ротора дорівнює приблизно 1500 хв^{-1} .

Навантаження на двигун і частота обертання за допомогою реостатного пристрою як і при його прокручуванні.

Для випробувань ДВЗ гальмо вибирають із умов, щоб він повністю поглинав енергію що виробляється двигуном у всім діапазоні потужності й частоти обертання. Інакше кажучи, характеристика гальма повинна відповідати номінальним показникам випробовуваного двигуна по потужності, крутному моменту й швидкості обертання.

Гальмовою характеристикою називається залежність гальмової потужності й моменту від частоти обертання вала гальма.

На рис. 3 представлена технічна характеристика електричного гальма з накладеними на неї зовнішніми швидкісними характеристиками «а», «b» і «с» трьох двигунів.

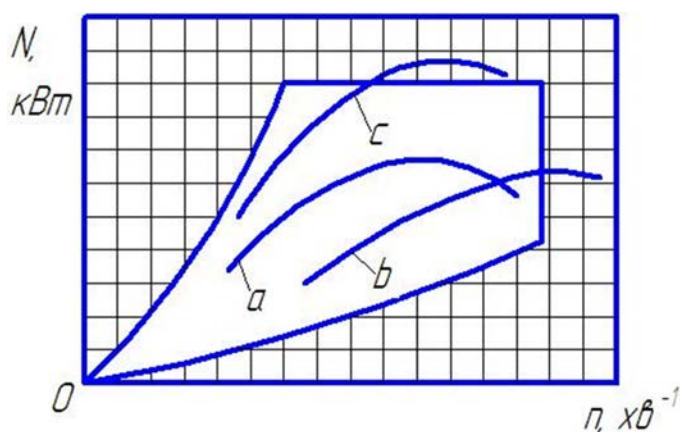


Рисунок 3 – Характеристика електричного гальма з накладеними ЗШХ «а», «b» і «с» трьох двигунів

двигуна, якщо його зовнішня швидкісна характеристика розташовується у середині робочого поля характеристики гальма. З рис. 3 видно, що характеристика гальма відповідає лише двигуна з характеристикою «а». потужність двигунів з характеристиками «b» і «с» не буде повністю поглинатися гальмом: для дви-

Потужність, що поглинається електричним гальмом визначатиметься найбільшою силою струму в ланцюзі ротора, що може бути допущений нагріванням обмотки ротора при повному збудженні машини. Іншими словами, нагрів електричної гальмової машини, як і в інших типах гальм, служить обмеженням її граничної потужності, що поглинається на заданому режимі.

Гальмо вважається придатним для випробування даного

гуна «b» гальмо не відповідає по частоті обертання, а для двигуна «с» – по потужності.

Електричні гальма відповідають всім основним вимогам, пропонованим до гальмових установок.

Розглянуті в роботі гальмові установки типу КІ при доводочних і дослідницьких випробуваннях автотракторних двигунів практично не застосовуються через неможливість здійснювати гальмування двигуна при низькій частоті обертання (генераторний режим електродвигуна має місце при $n \geq 1500 \text{ хв}^{-1}$).

Найбільш широке поширення одержали гальмові установки, виконані за схемою Вард-Леонарда. Цю схему називають ще генератор-двигуном (схема Г-Д).

Електричне гальмо, виконаний по системі Г-Д (рис. 4), складається із двигуна Д постійного струму з незалежним збудженням і двигуногенераторної групи (умформера), у яку входять двигун М (асинхронний або синхронний) і генератор Г постійного струму з незалежним збудженням для живлення двигуна Д. Електричні машини М і Г з'єднані між собою за допомогою муфти й постійно обертаються в одному напрямку. Для виміру крутного моменту M_K двигун Д має балансирну підвіску.

Керування системою Г-Д виробляється ручками Р1 і Р2. За допомогою ручки Р1 змінюється порушення генератора Г, що викликає зміну напруги на затискачах двигуна Д. Завдяки цьому відбувається зміна частоти обертання двигуна Д пропорційно напрузі на його затискачах. За допомогою ручки Р2 змінюється основний магнітний потік двигуна Д, що так само приводить до зміни його частоти обертання.

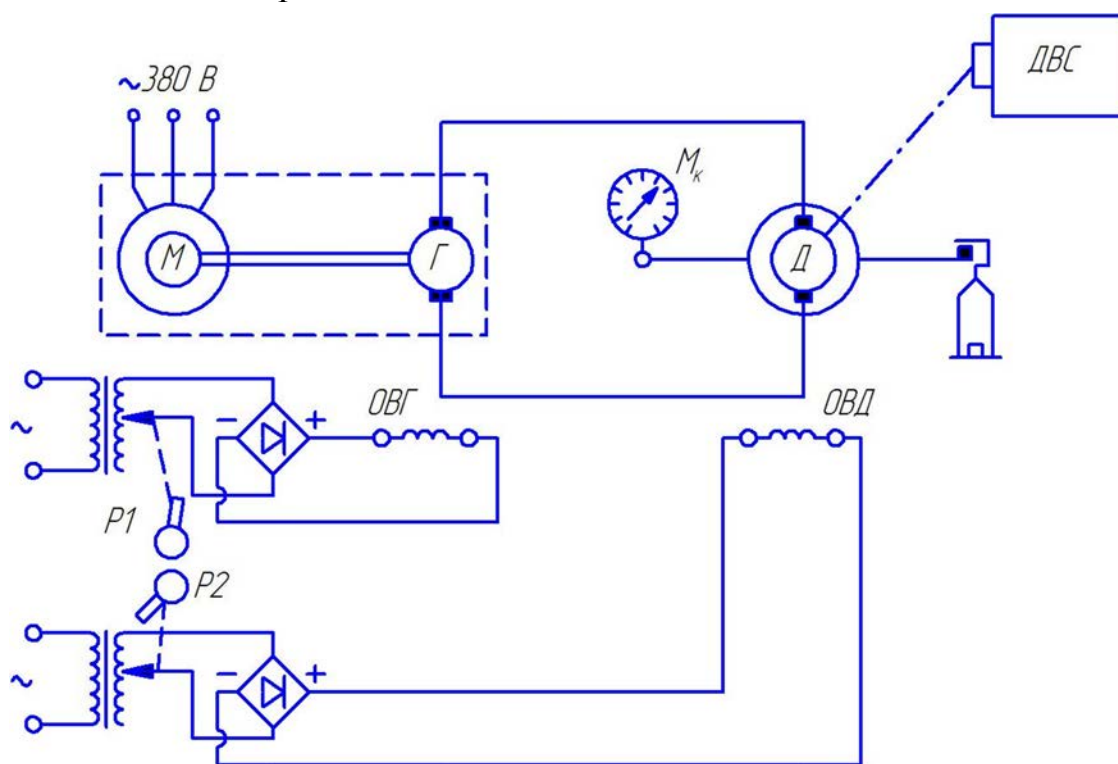


Рисунок 4 – Схема електричного гальма за системою Г-Д

Діапазон регулювання частоти обертання, за рахунок зміни збудження генератора G , становить звичайно 10:1, а з урахуванням ослаблення магнітного поля двигун D , за допомогою регулювання струму в обмотці ОЗД, може досягати величини 25:1.

У системі G - D всі електричні машини можуть працювати як у руховому, так і генераторному режимах.

При запуску й прокручуванні ДВЗ двигун M споживає електричну енергію з мережі й, працюючи як електродвигун, обертає генератор G постійного струму; при цьому напруга з його затискачів підводить до двигуна D , що приводить в обертання колінчатий вал випробуваного двигуна. При застосуванні системи G - D для навантаження ДВЗ, тобто як гальма, двигун D переходить у генераторний режим, а генератор G , стає електродвигуном і обертає двигун M зі сверхсинхронною швидкістю. Останній працює в режимі асинхронного генератора й рекуперирует електричну енергію в мережу, де вона корисно використовується.

Перевагами системи G - D (схеми Леонарда) є: можливість гальмування випробуваного двигуна, починаючи від мінімального його частоти обертання; широкий діапазон регулювання частоти обертання; плавність регулювання; економічність регулювання ($\eta = 0,75 - 0,8$); зручність керування; можливість одержання характеристики гальма потрібної форми й ін.

Недоліками гальмових установок по системі G - D є громіздкість і високі первісні витрати, а також більша сумарна потужність агрегатів, що складає більше 300% від потужності ДВЗ (у схемі використання дві машини постійного струму й трифазний електродвигун).

У теперішній час у гальмових установках із двигуном постійного струму замість електромашинного утворення електричної енергії (умформера) знаходять застосування тиристорні перетворювачі по системі кремнієвого керований вентиль-двигун (ККВ-Д).

Основними перевагами гальмової установки по системі ККВ-Д, швидкодія, малі габарити й вага, постійна готовність до роботи, мала потужність керування, надійність, необмежений термін служби, безшумність і ін.

1.1.2 Гідравлічне гальмо

У гідравлічному гальмі потужність, що розвивається випробовуваним двигуном витрачається на подолання тертя обертового диска у воду, що перебуває в корпусі гальма. На рис. 6 показана одна з конструктивних схем гальма, що складається з ротора, на вал якого насаджений один або кілька сталевих дисків з отворами.

Вал ротора встановлено у підшипниках 1 і з'єднується з валом двигуна за допомогою муфти 7. У корпусі 5(статора) закріплені дискові діафрагми 4, у проміжках яких обертаються диски ротора. При роботі двигуна вода, що перебуває в корпусі, захоплюється диском 3 і під дією відцентрової сили відкидається до периферії корпусу, утворюючи водяне кільце, де розташовані діафрагми 4. Сила тертя дисків о воду й води в діафрагму буде захоплювати корпус

убік обертання вала двигуна. Виникаючий від сил гідродинамічного тертя реактивний момент дорівнює крутному моменту двигуна.

Для виміру моменту корпус гальма розташовують у підшипниках 2 і до нього приєднують важіль, на кінці якого встановлюють ваговий механізм.

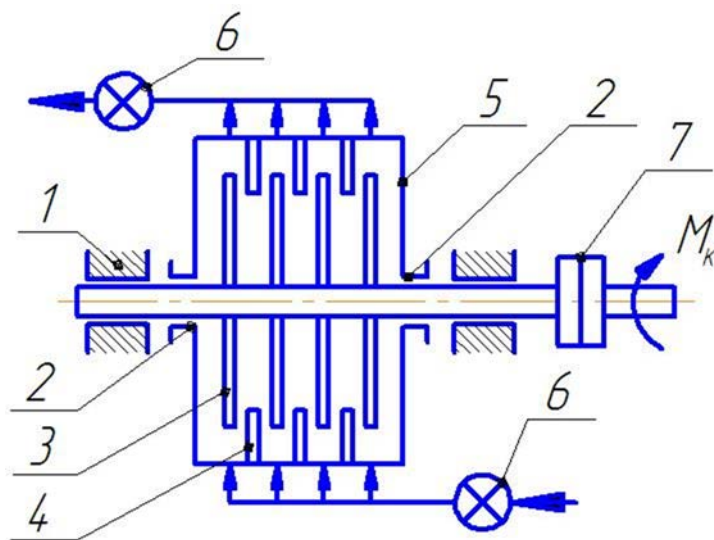


Рисунок 5 – Схема гідралічного тормоза

Потужність, що передана гідралічному гальму, витрачається на нагрівання води, що перебуває в корпусі. Для відводу виділеного при терті тепла постійно пропускають воду через гальмо за допомогою регулюючих вентилів 6.

Гальмівний момент регулюється кількістю води, що перебуває в гальмі. При незмінній частоті обертання зі збільшенням наповнення гальма водою буде поглинена більша потужність. Таким

чином, гальмо дозволяє плавно навантажувати двигун при будь-якому його швидкісному режимі.

Перевагами гідралічних гальм є компактність, простота конструкції й мала вартість їхнього виготовлення. Завдяки цьому вони знаходять застосування при випробуванні автотракторних двигунів. Як недоліки слід зазначити малий крутний момент при низькій частоті обертання, (нестійка робота гальма) при малих навантаженнях двигуна й несприятливих режимів його роботи (робота двигуна на занадто бідній або багатій суміші, неоптимальному куті запалювання й т.д.), інерційність, (новий режим встановлюється через порівняно великий час після регулювання), а також неможливість використовувати гальмо в режимі примусового прокручування двигуна.

1.2 Прилади для виміру частоти обертання й сумарного числа обертів

1.2.1 Тахометри

Відцентрові тахометри. Принцип дії тахометрів заснований на відцентровому ефекті.

При випробуванні ДВЗ механічні відцентрові тахометри як стаціонарні прилади не застосовують, внаслідок швидкого зношування великої кількості тертьових деталей осей, підшипників, шарнірів і зубчастих передач, що приводить до зростання погрішностей показань і потім до виходу всього приладу від ладу. Такі тахометри використовують для контролю швидкості обертання колінчатого вала.

Припустима погрішність контрольних тахометрів не перевищує 0,5–1,0%.

Для виміру частоти обертання вала двигуна застосовують тахометри ТС-120, ТС-160, ТС-200 з межами виміру $50 \dots 10000 \text{ хв}^{-1}$.

Магнітоіндукційні тахометри є зручними для безперервного контролю частоти обертання, прості й надійні в експлуатації.

Дії тахометра засновано на силувій взаємодії поля постійного магніту й вихрових струмів, що індуктуються в обертовому металевому (алюмінієвому) тілі в магнітному полі.

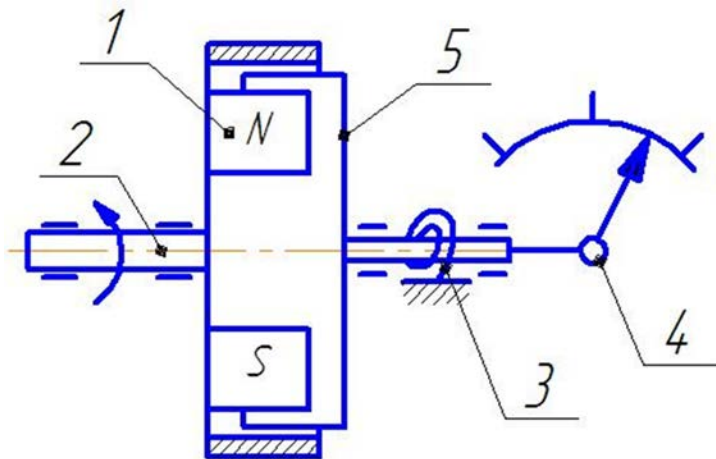


Рисунок 6 – Схема магнітоіндукційного датчика

При обертанні постійного магніту 1 (рис. 7), насадженого на вісь 2, його магнітне поле перетинає алюмінієвий ковпачок 5, у результаті чого в його тілі виникають вихрові струми, які, взаємодіючи з магнітним полем, захоплюють циліндричний ковпачок у бік обертання магніту. Вісь ковпачка з'єднана зі стрілкою показника 4 і протидіючою спіральною пружиною 3.

Похибка магнітоіндукційних тахометрів не перевищує 1,5-2,0%.

З-за неможливості вести виміри дистанційно такі тахометри не знайшли широкого застосування при стендових випробуваннях двигунів.

Електричні тахометри. На відміну від відцентрових і магнітоіндукційних ці тахометри дозволяють передавати показання практично на будь-яку відстань.

Електричний тахометр (рис. 8.) складається з генератора постійного або змінного току й відповідний електровимірювальний прилад, шкала якого показана в хв^{-1} . Істотним недоліком цих тахометрів є невелика довжина дуги шкали електровимірювального приладу, внаслідок чого при великому діапазоні швидкостей виходить дуже велика ціна розподілу шкали.

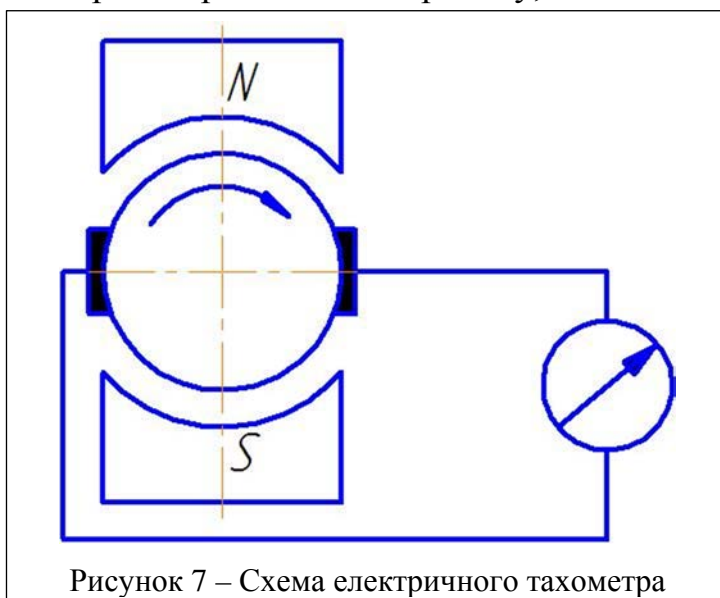


Рисунок 7 – Схема електричного тахометра

Тому для виміру частоти обертання автотракторних двигунів використовують електричні тахометри типу ТЕ з більш складною конструкцією вимірювального механізму, що представляє собою сполучення синхронної передачі (генератор-електродвигун) і показника – магнітоіндукційного тахометра (рис. 9).

У цих тахометрах датчиком служить трифазний генератор змінного струму із частотою, пропорційної швидкості обертання ротора. Напруга, що виробляється датчиком подається до приймача 2, у якому синхронний електродвигун 3. На кінці вала електродвигуна, ротор якого обертається з тією же кутовою швидкістю що й колінчатий вал двигуна, укріплений магнітний кут 4, що представляє собою магнітоіндукційний тахометр.

Дистанційні електричні тахометри (ТЕ) мають високу точність (похибка 0,2 – 0,5%), порівняно прості й надійні в експлуатації.

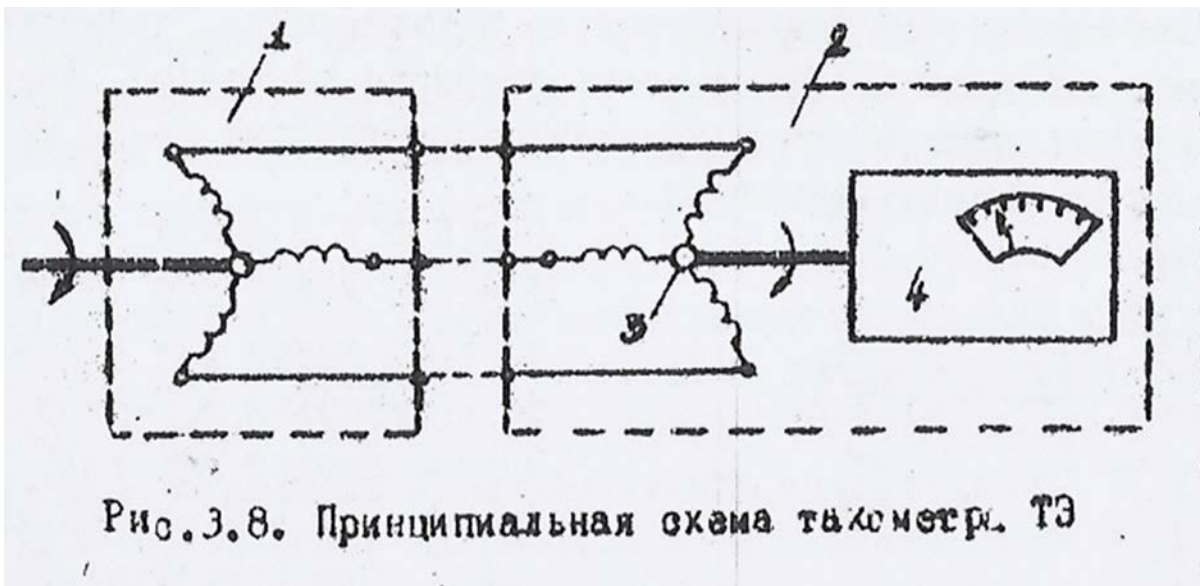


Рис. 3.8. Принципиальная схема тахометра ТЭ

Межі виміру – від 250 до 4000 xv^{-1} . Вони досить широко застосовуються при випробуванні ДВЗ. Датчик тахометра встановлюється на кінці колінчастого валу або гальма й приводиться в рух за допомогою черв'ячної або шестерної передачі. Приймач, що включає в себе синхронний електродвигун і магнітоіндукційний тахометр розташовується на пульті керування.

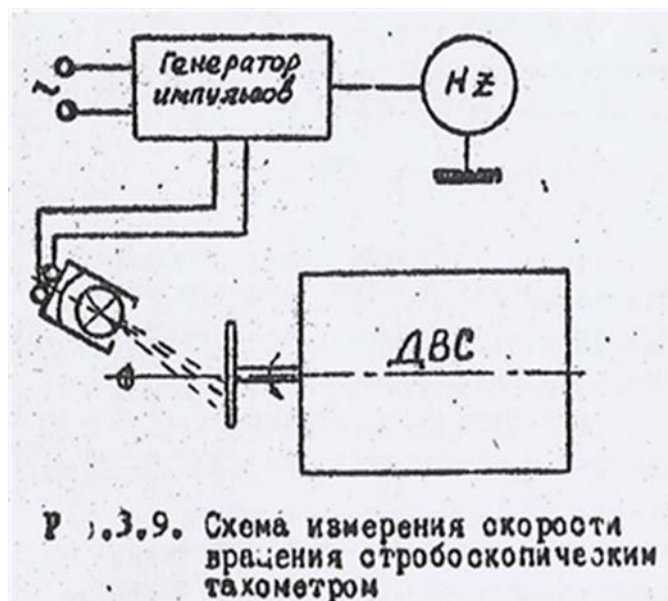


Рис. 3.9. Схема измерения скорости вращения стробоскопическим тахометром

Стробоскопические тахометри – є дуже точними приладами для визначення частоти обертання. Похибка частоти не перевищує 0,1%, межі виміру швидкості обертання – 1000 – 50000 xv^{-1} . Такі тахометри застосовують у науково-дослідницьких лабораторіях з випробувань автотракторних двигунів,

А також у стробоскопічних установках для контрольної перевірки різних тахометрів.

Принцип виміру швидкості обертання полягає в наступному.

Обертовий диск, пов'язаний з колінчастим валом двигуна, (рис. 10) освітлюється джерелом світла. Якщо період імпульсного освітлення збігаються з періодом обертання диска, то останній для людського ока здається нерухомим.

При розбіжності частоти імпульсів світла із частотою обертання вала двигуна зображенням на диску буде обертатися з відносною швидкістю, пропорційної різниці між періодом імпульсів і періодом оберту колінчастого вала.

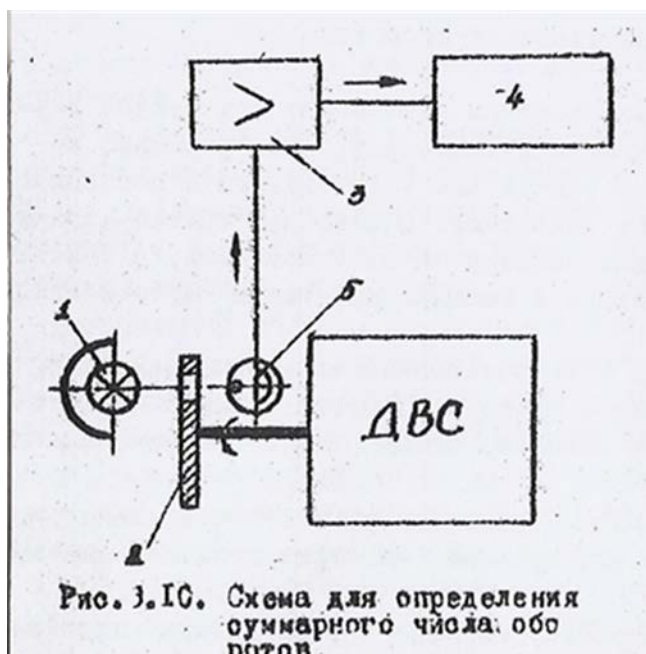
Швидкість обертання вимірюються по шкалі частоти генератора електричних імпульсів, що проградуєрована в одиницях швидкості обертання. Частота спалахів джерела світла може плавно регулюватися.

При випробуванні карбюраторних двигунів стробоскопічний тахометр може також безупинно вимірювати частоту обертання внаслідок того, що частота генератора підбирається не візуально по «обертанням» відмітки на диску, а строго задається електричними сигналами, що виникають у момент проскакування іскри між електродами свічі запалювання одного із циліндрів двигуна.

Електронні тахометри (частотоміри) такі як і стробоскопічні в цей час знаходять широке застосування при випробуванні ДВЗ. Вони являють собою електронний частотомір, у схему якого включений спеціальний датчик (індуктивний, фотоелектричний, електроконтактний), пов'язаний з колінчастим валом двигуна і дає короткочасний електричний імпульс, при кожному оберті вала.

1.2.2 Сумарні лічильники обертів

Всі розглянуті вище тахометри показують миттєве значення швидкості обертання. Магнітоіндукційні, електричні й електронні тахометри досить зручні для встановлення й підтримки заданого швидкісного режиму двигуна. Однак при знятті характеристики двигуна, як правило користуються не миттєвим, а середнім за час виміру витрати повітря й палива значенням частоти обертання.



Це пов'язане з тим, що всі основні обумовлені величини, як витрата повітря й палива й частоти обертання, повинні вимірюватися за той самий проміжок часу. Щоб результати вимірів були найбільш достовірними.

Для визначення середньої за час виміру частоти обертання вала двигуна служать сумарні електронні, електромеханічні й механічні лічильники обертів.

Сумарні лічильники обертів містять у собі датчик електричних імпульсів і власно лічильник цих імпульсів. Датчиком імпульс-

сів є електроконтакти, фотоелемент із підсилювачем і ін.

Розглянемо принцип роботи сумарного лічильника обертів з фотоелементним датчиком. Світловий імпульс від освітлювача 1 (рис. 11) через отвір на диску 2, пов'язаного з колінчастим валом, попадає на фотоелемент 5. У ланцюзі фотоелемента виникає електричний сигнал, що підсилюється підсилювачем 3 і надходить на лічильник імпульсів 4. Якщо на диску є один отвір, то за кожний оберт вала на лічильник буде надходити один імпульс.

Лічильник обертів включається на час виміру t , таким чином, буде показувати сумарне число обертів Δn за час відліку τ .

У цьому випадку частота обертання підраховується по досить простій формулі

$$n = \frac{\Delta n}{\tau} \cdot 60 \text{ хв}^{-1},$$

де Δn – кількість обертів по сумарному лічильнику за час виміру, об;

τ – тривалість виміру, с.

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 14846-81 вимір частоти обертання колінчастого вала повинне виконуватись з точністю $\pm 0,5\%$.

До механічних лічильників обертів ставляться тахоскопы, які нараховують оберти за строго певний час, що задається годинниковим механізмом, розташованим у корпусі приладу.

Тому що тривалість виміру постійна, то шкала приладу проградуєрована для частоти обертання в хв^{-1} .

1.3 Прилади для виміру витрати палива

Відповідно до методу виміру сумарної кількості палива по масі (ваги) або обсягу, що пройшли через мірний пристрій, розрізняють ваговий і об'ємний способи виміру витрати палива.

Коротко розглянемо ці два способи.

1.3.1 Ваговий спосіб

Для виміру витрати палива використовують звичайні ваги (рис. 12).

Перед виміром посудину наповнюють паливом шляхом установки триходового крана в положенні 1 «затока», потім кран переводять у положення 2 «завмер» і ведуть спостереження за рухом стрілки ваг. По мірі витрати палива двигуном, як тільки стрілка ваг перекриє один з розподілів шкали, включають секундомір. У момент перекриття стрілкою ваг розподілу шкали, що відповідає витраті заданої дози палива, секундомір зупиняють.

Знаючи дозу палива (масу) і час, за яке витрачене паливо, визначають його годинну витрату по формулі

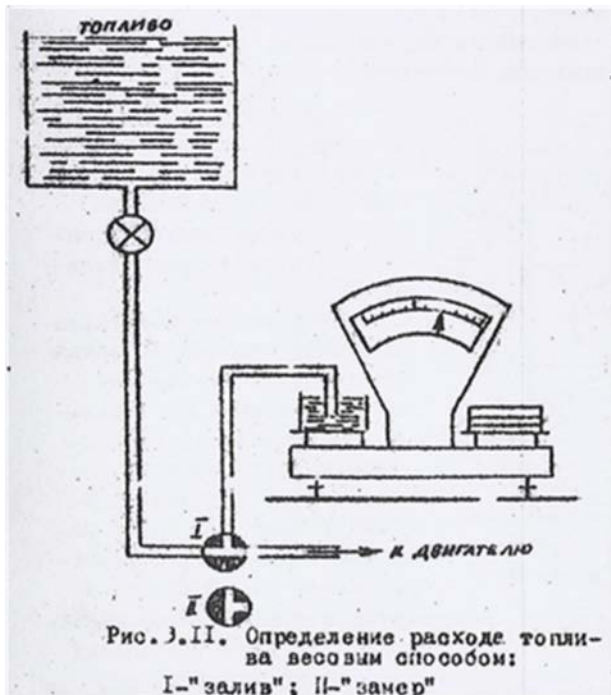
$$G_T = \frac{\Delta G_T}{\tau} \cdot 3,6, \text{ кг/год},$$

де ΔG_T - вимірювана доза палива, г;

τ – час витрати обраної дози.

Перевагою вагового способу є його висока точність і нечутливість до виміру температури й тиску палива. Недоліком цього способу можна відзначи-

ти складність вагового пристрою і його порівняно більша вартість. Одночасно з виміром палива повинні вироблятися виміри й запис всіх інших параметрів двигуна.



1.3.2 Об'ємний спосіб

Схема виміру витрати палива об'ємним способом показана на рис. 13.

Визначення витрати палива зводиться до визначення часу, протягом якого витратиться паливо з мірних скляних колб ($\Delta V_1, \Delta V_2, \Delta V_3$), об'єм яких відомий.

При відповідних положеннях триходового крана виробляється наповнення паливом колб і вимір його витрати.

Вагова витрата палива, обумовлена цим способом, розраховується по формулі

$$G_T = \frac{\Delta V \cdot \rho_T}{\tau} \cdot 3,6 \text{ кг/год},$$

де ΔV – об'єм мірної колби, см^3 ;

τ – час витрати палива з мірної колби, с ;

ρ_T – щільність палива при випробуванні, кг/м^3 .

Об'ємний спосіб у порівнянні з ваговим є найбільш простим і тому широко застосовується при вимірі витрати палива автотракторних двигунів.

Основними недоліками способу є порівняно низька точність виміру й постійно присутня при вимірах погрішність, пов'язана з виміром щільності палива під час випробування двигуна внаслідок зміни тиску й температури на вході у двигун, що не завжди може бути врахована.

Відповідно до ДЕРЖСТАНДАРТУ 14846-81 вимір витрати палива виробляється з точністю 1%.

1.4 Прилади для виміру витрати повітря

1.4.1 Ротаційні лічильники типу РГ

На рис. 14 надана схема виміру витрати повітря за допомогою об'ємного лічильника РГ. Лічильник складається з камери 1 і двох обертових у них роторів 2 із профілем у вигляді вісімок.

Під час роботи двигуна в камері лічильника створюється перепад тиску, під дією якого виникає обертовий момент на валах роторів. При своєму обертанні кожний з роторів при повному оберті пропускає половину об'єму повітря \mathcal{V} , що надходить у камеру. Таким чином, обидва ротори за кожний оберт пропускають об'єм повітря, що дорівнює повному об'єму камери.

Оскільки об'єм камери відомий, то загальна кількість повітря, що пройшло через лічильник, пропорційна кількості обертів ротора.

Для визначення кількості обертів ротора за деякий проміжок часу, а значить і витрати повітря, застосовують сумарні лічильники обертів, описані в розділі 1.2.2 «Сумарні лічильники обертів».

У цьому випадку вагова витрата визначається за формулою

$$G_B = \frac{\Delta V_B \cdot \rho_B}{\tau_B} \cdot 3600 \text{ кг/год,}$$

де ΔV_B – кількість повітря, що пройшло через лічильник, м^3 ;

τ_B – час виміру повітря, с ;

ρ_B – щільність повітря, кг/м^3 .

Застосовувана в лабораторії ДВЗ схема для визначення витрати повітря (рис. 14) працює в такий спосіб.

При обертанні текстолітового диску 7, пов'язаного з ротором 2 за допомогою черв'ячного ротора, його металеві стрижні 6 будуть замикати електричні контакти 8. У момент замикання контактів спрацьовує електромеханічний лічильник імпульсів 9, що рахує загальну кількість замикань (обертів ротора 2) за час виміру. Встановлення на текстолітовому диску великої кількості металевих стрижнів підвищує точність виміру витрати повітря.

Ресивер 3, встановлюваний між ротаційним лічильником РГ і двигуном, служить для згладжування пульсації тиску, що виникають при роботі двигуна. Об'єм ресивера вибирають виходячи з літражу й оборотності двигуна. Для забезпечення нормальної роботи лічильника ємність ресивера повинна бути великою. Тому на практиці звичайно застосовують ресивери порівняно невеликого об'єму ($\sim 200 V_K$), постачені гумовим демпфером 4, що значно зменшує пульсації й охороняє систему від ушкодження при зворотних спалахах у карбюраторі.

Переваги лічильників наступні. Ротаційні лічильники РГ практично не вносять похибку у величину витрати повітря внаслідок їх малого гідравлічного опору. Лічильники РГ мають більший діапазон пропускної здатності, що дуже важливо при вимірі витрати повітря в умовах різних режимів роботи двигуна.

До недоліків ротаційних лічильників варто відносити деяку складність конструкції й чутливість до забруднення третьових поверхонь роторів; при забрудненні збільшуються сили тертя й зростає похибка виміру.

1.4.2 Прилади для виміру миттєвої витрати повітря

При лабораторно-дослідницьких випробуваннях іноді доводиться безупинно контролювати кількість повітря, що надходить у двигун, змінити коефіцієнт наповнення й т.п. У цьому випадку застосовують витратоміри миттєвого значення, принцип яких заснований на вимірі перепаду тиску газу, що протікає через трубопровід.

Витратоміри бувають змінного й постійного перепаду тиску.

Витратоміри змінного перепаду (рис. 15, а) вимірюють перепад тисків на мірній ділянці труби, де встановлений дросельний елемент 2 (діафрагма, сопло, труба Вентурі). У кожний момент часу перепад тисків залежить від швидкості повітря, тобто його витрати. Перепад вимірюють диференціальними манометрами 3, тому що його величина, незважаючи навіть на великий тиск в трубі 1, виходить незначною.

Витратоміри постійного перепаду – ротаметри (рис 15, б) засновані на наступному. При русі повітря через витратомір у напрямку зазначеному стрілкою, у кільцевому зазорі між поплавцем 2 і стінкою вертикальної конічної

трубки 1 утвориться перепад тиску, що залежить від швидкості (витрати) повітря й від величини зазору. Під дією цього перепаду поплавець піднімається нагору. При цьому зазор збільшується, перепад тиску зменшується й поплавець стає на рівні, де його вага врівноважується перепадом тиску. Величину витрати повітря визначають по положенню поплавця щодо шкали 3, нанесеної на скляну трубку.

Ротаметри застосовують у тих випадках, коли витрати повітря не значні. До приладів постійного перепаду ставляться також поршневі витратоміри за розглянутим вище принципі. На відміну від ротаметра, ці прилади встановлюють на горизонтальних трубопроводах. У вимірах повітря двигуна вони поки не знаходять застосування.

1.5 Прилади для виміру температури

Для виміру температури повітря на вході у витратомір і води в системі охолодження застосовують термометри манометричні, термометри опору і ртутні. Температуру масла в картері двигуна вимірюють за допомогою перших двох типів термометрів.

Манометричні термометри засновані на використанні залежності тиску рідини або газу, що знаходяться у термобалоні, від температури. Датчик (термобалон) установлюється в місці виміру температури й за допомогою капілярної трубки діаметром 0,2-0,5% мм з'єднується із пружинним манометром, шкала якого проградуєвана у °С. Похибка виміру не перевищує $\pm(1,5-2,5)\%$.

Термометри опору складаються з датчика опору й приладу, що безупинно вимірює опір, що залежить від температури.

Датчиком опору служить відрізок металевого дроту, намотаної на каркас із ізоляційного матеріалу. Як матеріал для дроту найбільше широко використовується мідь і платина.

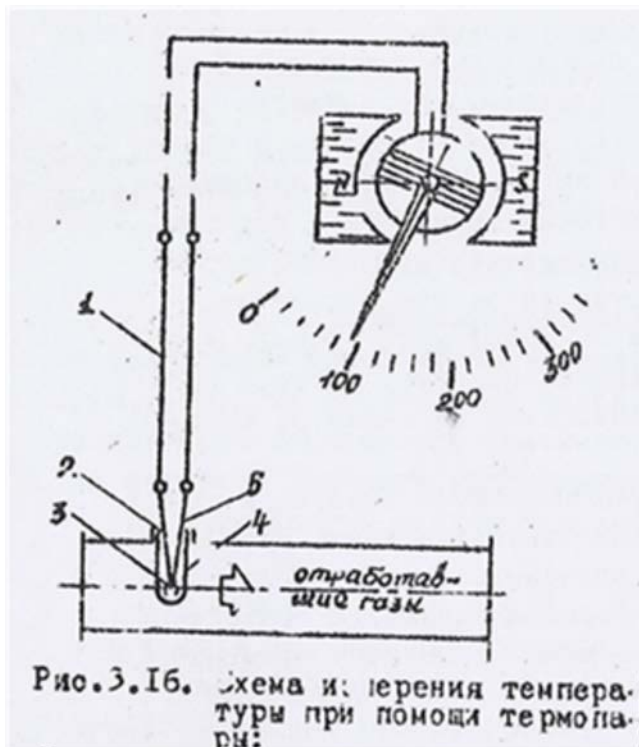


Рис. 3.16. Схема вимірювання температури при допомозі термопар:

Мідні термометри опору застосовують у діапазоні температур від -50°C до $+180^{\circ}\text{C}$, а платинові – у межах від -200 до $+650^{\circ}\text{C}$. Приладами для термометрів опору служать вимірювальні мости й лагометри.

Термопари (рис. 16) виготовляють за принципом термоелементів. Бувають термопари, виготовлені із двох різних металів і з напівпровідникових матеріалів. При вимірі температур у двигуні застосовують термопари: хромелькопель (ХК) і хромельалюмель (ХА) з межами виміру відповідно $0...800^{\circ}\text{C}$ і $0...1300^{\circ}\text{C}$. Термо ЕДС, що виникає в спаї, вимірюють за

допомогою високочутливих приладів: мілівольтметрів магнітоелектричної системи й потенціометрів.

ДЕРЖСТАНДАРТ 14846-81 передбачає точність виміру температур: охолодної води $\pm 2^{\circ}\text{C}$, повітря $\pm 1^{\circ}\text{C}$, відпрацьованих газів $\pm 20^{\circ}\text{C}$, масла $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

1.6 Питання для самопідготовки

– Які гальмові пристрої застосовуються для випробування двигунів? Перелічіть їхні переваги й недоліки.

– Поясніть принцип виміру крутного моменту, випробуваного двигуна.

– Як працює гальмова установка із трифазним асинхронним двигуном? Назвіть її основні недоліки.

– Як працює гальмова установка із двигуном постійного струму (система Г-Д)? назвіть переваги й недоліки цієї системи.

– Поясніть принцип дії приладів для виміру частоти обертання, сумарного числа обертів.

- Поясніть принцип дії приладів для виміру витрати повітря. Назвіть переваги й недоліки цих приладів.
- Які існують способи виміру витрати палива, їхньої переваги й недоліки?
- Які вимоги пред'являють до гальмових установок? Що таке характеристика гальма?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 2

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОГО ХОДУ КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГУНА

Ціль роботи: Зняти характеристику холостого ходу, оцінити паливну економічність і прийманість двигуна.

1.1 Специфіка роботи автомобільного двигуна в міських умовах. Система холостого ходу.

Особливості експлуатації автомобілів у містах полягають у порівняно низьких швидкостях руху й коротких відстаней перевезень, частих змінах напрямку й швидкості руху, що супроводжуються багаторазовими гальмуваннями й розгінками при частих перемиканнях передач.

Дослідження показали, що тривалість роботи двигуна вантажного автомобіля із прикритою дросельною заслінкою становить близько 70% усього часу роботи, а двигуна легкового автомобіля порядку 90%. При цьому близько 50% експлуатаційного часу двигун працює на холостому ходу.

Під холостим ходом, взагалі, варто розуміти роботу двигуна без навантаження від мінімально стійкої частоти обертання ($n_{x \min}$) до гранично припустимої ($n_{x \max}$).

При цьому індикаторна потужність N_i , що розвивається в циліндрах двигуна, повністю витрачається на подолання потужності механічних втрат N_m , тобто $N_i = N_m$, ($N_e = 0$).

Частим і найбільш характерним випадком роботи двигуна на холостому ходу є його робота на мінімально стійкій частоті обертання при прикритій дросельній заслінці.

Прикладами роботи двигуна на холостому ходу є:

- робота двигуна на мінімально стійкій частоті обертання при всіх змушених короткочасних зупинках автомобіля;
- робота двигуна при русі автомобіля по інерції або при русі під ухил, коли для зниження експлуатаційної витрати палива доцільно відключати двигун від силової передачі;
- робота двигуна під час прогріву після запуску;

– робота двигуна при русі автомобіля в момент перемикання передачі.

З огляду на великий час роботи двигуна на холостому ходу, дуже важливим питанням є паливна економічність. З метою одержання найкращої паливної економічності на цьому режимі необхідно забезпечувати усталену роботу двигуна з мінімально можливою частотою обертання колінчастого вала двигуна.

При прикритій дросельній заслінці, у зв'язку з малим розрідженням у дифузорі різко скорочується витікання палива з розпилювача головної дозуючої системи. Внаслідок цього горюча суміш, що надходить у циліндри двигуна, сильно розбавляється залишковими газами (кількість яких доходить до 50% від ваги робочої суміші), що приводить до звуження меж займистості робочої суміші, оцінюваних коефіцієнтів надлишку повітря. При такому складі робочої суміші (і відносно низьких тисках і температурах у момент подачі іскри) двигун працює нестійко й часто глухне через нестабільне запалення робочої суміші й нестійкий процесу згоряння.

Основна причина цього полягає у взаємозв'язку між енергією, необхідною для надійного запалення робочої суміші й енергії іскрового розряду. Робота двигуна на холостому ходу із прикритою дросельною заслінкою викликає збільшення енергії, необхідної для надійного запалення робочої суміші, внаслідок сильного розбавлення горючої суміші залишковими газами й зниження тиску і температури в циліндрі двигуна, однак при цьому падає напруга іскрового розряду у зв'язку з малою швидкістю обертання колінчастого вала двигуна й, отже, зменшується його потужність.

Таким чином, з прикриттям дросельної заслінки енергія, необхідна для запалення, зростає, а енергія в іскровому розряді зменшується. Це в значній мірі й спричиняє нестабільне запалення робочої суміші й нестійке горіння, що приводить до нестійкої роботи двигуна.

Щоб уникнути цих недоліків необхідно компенсувати погіршене запалення, що й досягається збагаченням горючої суміші до $\alpha = 0,6 - 0,8$ за допомогою додаткової системи карбюратора – системи холостого ходу, що використовує розрядження не в дифузорі, де воно майже дорівнює нулю, а в за дросельному просторі, де воно досягає максимуму.

На рис. 17 наведена одна з розповсюджених систем холостого ходу.

Під дією розрядження в просторі за дросельною заслінкою паливо через жиклер 4 головні дозуючі системи й жиклер 2 холості ходи надходить у канал 12, де змішується з повітрям, що надходить сюди через жиклер 1. Емульсія палива й повітря, що утворюється, через отвори 9 і 10 надходить у змішувальну камеру карбюратора й потім у циліндри двигуна. При закритій дросельній заслінці 6 витікання емульсії відбувається тільки через отвір 9, розташований за дросельною заслінкою, прохідна площа якого регулюється гвинтом 5; через отвір 10, що лежить вище дросельної заслінки в систему холостого ходу надходить повітря, що знижує розрідження в каналі 12 і тим самим зменшує надходження палива через жиклер 2. По мірі відкриття дросельної заслінки 6 отвір 10 попадає в зону розрідження й витікання емульсії буде відбуватися через обидва

отвори 9 і 10 у більшій кількості. Це забезпечує плавне наростання частоти обертання до того моменту, коли в роботу вступить головна дозуюча система й тоді через жиклер 2 холості ходи почне надходити повітря.

За допомогою регулювального гвинта 5 і упорного гвинта 8, що обмежує закриття дросельної заслінки, виконується регулювання мінімально стійкої частоти обертання холостого ходу. При цьому зменшення площі прохідного отвору 9 гвинтом 5 скорочує кількість емульсії, що надходить у змішувальну камеру,

і одночасно неї збіднює. Упорним гвинтом 8 на важелі 7 регулюється тільки кількість суміші на холостому ході.

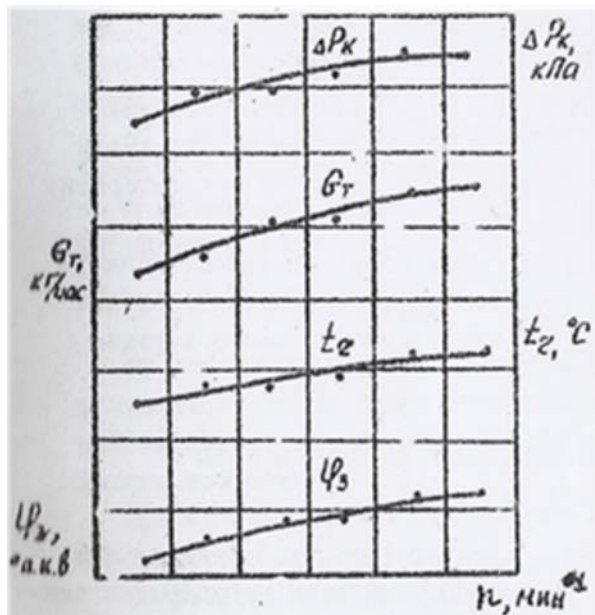


Рис. 4.2 Характеристика холостого ходу карбюраторного двигателя

1.2 Характеристика холостого ходу карбюраторного двигуна

Характеристика холостого ходу карбюраторного двигуна являє собою залежність витрати палива G_T за годину й інші показники двигуна (розрядження у впускному трубопроводі, кута випередження запалювання й температури відпрацьованих газів) від частоти обертання колінчастого вала при роботі двигуна без навантаження (рис. 17).

При плавному протіканні залежності годинної витрати палива забезпечується гарний перехід двигуна на навантажувальні режими, а при наявності різких вигинів на ній спостерігається погана прийманість двигуна внаслідок неправильного підбору регулювань системи холостого ходу й головної дозуючої системи.

Під прийманістю двигуна розуміється здатність його до зміни частоти обертання колінчастого вала. При гарній прийманості двигун швидко набирає оберти при різкому відкритті дросельної заслінки, а при її закритті до упору скидає оберти й стійко продовжує працювати з мінімальною частотою обертання.

При роботі двигуна на холостому ходу зовнішнє навантаження відсутня й , отже, його середній ефективний тиск і ефективна потужність дорівнюють нулю, а питома ефективна витрата палива, затрачувана на $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ дорівнює нескінченності. У цих умовах для оцінки економічності роботи двигуна можна використовувати наступний метод.

Кількість палива, що витрачається двигуном протягом години G_T , можна віднести до одного циклу роботи чотиритактного двигуна.

$$G_{T \text{ цикл}} = \frac{G_T}{30n} \text{ кг/цикл},$$

або в міліграмах

$$G_{T \text{ цикл}} = \frac{G_T}{30n} \cdot 10^6 \text{ мг/цикл},$$

Відносячи циклову витрату палива до робочого об'єму двигуна $i \cdot V_k$, одержуємо питому циклову витрату палива, у допомогою якої можна зрівняти витрати палива на холостому ходу у різних двигунів

$$g_{e \text{ цикл}} = \frac{G_{T \text{ цикл}}}{iV_n} = \frac{G_T}{30niV_n} \cdot 10^6 \text{ мг/цикл.л}$$

Для різних карбюраторних двигунів питомі циклові витрати палива на холостому ходу становлять 15-20 мг/цикл.л.

На параметри характеристики холостого ходу великий вплив робить величина роботи тертя. Це впливає з основного визначення режиму холостого ходу, що характеризується витратою індикаторної роботи тільки на покриття внутрішніх втрат.

Тому, якщо витрата палива на холостому ходу становить досить значну величину і її не можна зменшити за рахунок відповідних регулювань, то причину цього варто шукати насамперед у підвищеній роботі тертя.

1.3 Порядок зняття характеристики холостого ходу карбюраторного двигуна

Після запуску двигуна необхідно його прогріти до оптимального теплового режиму й перевірити правильність підбору регулювання системи холостого ходу. Для цього прикривають дросель до упору й визначають частоту обертання двигуна. Якщо вона не відповідає мінімальній частоті обертання для даного двигуна зменшують або збільшують n . Потім плавно обертають регулювальний гвинт 5 у тому або іншому напрямку, намагаючись підвищення частоти обертання двигуна. Якщо при цьому n не збільшується ні при збіднінні, ні при

збагаченні суміші, то це означає, що регулювання системи холостого ходу в карбюраторі підібрана правильно. В іншому випадку, домогтись найбільшої частоти обертання, знову її знижують до мінімальних стійких n за допомогою упорного гвинта дросельної заслінки повторюють цю операцію доти, поки частота обертання не буде змінюватися при зміні якості суміші (або положення регулювального гвинта 5). Після цього перевіряється прийманість двигуна шляхом різкого відкриття й закриття дроселя.

Якщо при цьому частота обертання збільшується повільно або двигун після прикриття дросельної заслінки до упору зупиняється, то варто трохи збагатити або збільшити початкове відкриття дросельної заслінки.

Двигун із правильно відрегульованою системою холостого ходу повинен стійко працювати на мінімальній частоті обертання холостого ходу $n_{x \min}$, причому коливання числа $n_{x \min}$, не повинне перевищувати 5%.

Після закінчення установки мінімально стійкої частоти обертання холостого ходу й стабілізації теплового режиму двигуна, про яку можна судити по сталій температурі відпрацьованих газів, можна приступати до зняття характеристики холостого ходу.

Це роблять починаючи з мінімальної стійкої частоти обертання $n_{x \min}$, і за допомогою упорного гвинта дросельної заслінки збільшують неї з інтервалом через 200 хв^{-1} до частоти обертання, рівної 60% від номінальної n .

$$(n_{x \max} = 0,6 n_{\text{ном}})$$

Щоб уникнути зміни режиму роботи двигуна в процесі виміру необхідних величин він повинен на кожному швидкісному режимі, до початку вимірів, проробити якийсь час для стабілізації теплового стану.

При знятті характеристики холостого ходу вимірюють наступні величини:

- частота обертання двигуна $n, \text{ хв}^{-1}$;
- час витрати обраної дози палива $\Delta G_T, \text{ г}$;
- розрідження у впускному трубопроводі $\Delta P_K, \text{ кПа (мм.рт.ст.)}$;
- температуру відпрацьованих газів, у впускному трубопроводі $t_n, \text{ }^\circ\text{C}$;
- кут випередження запалювання $\varphi_z, \text{ град, п.к.в.}$;
- температуру води на виході із двигуна $t_{\text{ввих}}, \text{ }^\circ\text{C}$;
- температуру масла в картері двигуна $t_m, \text{ }^\circ\text{C}$;
- тиск масла $P, \text{ МПа}$.

Отримані результати представляють у вигляді залежностей $G_T, \Delta P_K, \varphi_z$ від частоти обертання двигуна (рис. 17).

По закінченню зняття характеристики холостого ходу упорний гвинт дросельної заслінки встановлюють у первісне положення.

1.4 Питання для самопідготовки

- Що таке холостий хід двигуна?

- Який відсоток часу становить режим холостого ходу в умовах експлуатації?
- Приклади роботи двигуна на холостому ходу.
- Який з показників роботи двигуна є найбільш важливим для холостого ходу?
- Чому головна дозуюча система не в змозі забезпечити усталену роботу двигуна на холості ходи з мінімальною частотою обертання?
- Поясніть призначення системи холостого ходу й отвору 10.
- Що називається характеристикою холостого ходу й прийманістю холостого ходу?
- Яким чином оцінюється паливна економічність на холостому ходу?
- Порядок зняття характеристики холостого ходу. Які величини вимірюються при знятті характеристики холостого ходу?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 3

РЕГУЛЮВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КАРБЮРАТОРНОГО ДВИГУНА ПО КУТУ ВИПЕРЕДЖЕННЯ ЗАПАЛЮВАННЯ

1.1 Задачі роботи

1. Вивчення методики одержання характеристики.
2. Експериментальне зняття характеристики й одержання необхідних практичних навичок.
3. Визначення найвигідніших (оптимальних) кутів випередження запалювання для різних швидкісних і навантажувальних режимів роботи двигуна.

1.2 Методичні рекомендації

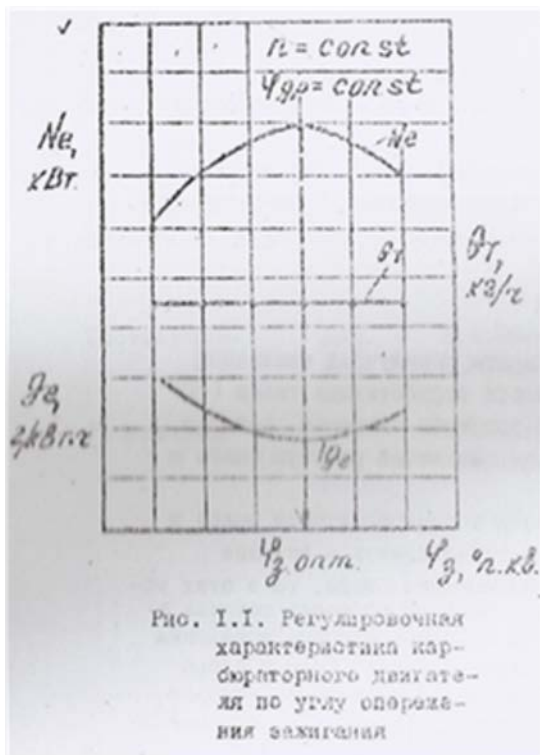
Для одержання максимальної потужності, найкращої паливної економічності й мінімальної токсичності відпрацьованих газів (ВГ) необхідно забезпечити ефективність процесу згоряння, що залежить від моменту подачі іскри, що запалює робочу суміш у циліндрі двигуна.

Через те, що процес згоряння паливної суміші у двигуні відбувається не миттєво, а триває впродовж $30...60^\circ$ по куту повороту колінчастого вала, то в цих умовах для більш повного перетворення теплоти згоряння палива в механічну роботу необхідно, щоб основний процес виділення теплоти відбувався поблизу ВМТ при найменшому об'ємі камери згоряння. Для виконання цієї умови потрібна суміш запалювати з деяким випередженням до приходу поршня у ВМТ.

Кут повороту колінчастого вала від моменту подачі іскрового розряду у свічці запалювання у ВМТ прийнято називати *кутом випередження запалювання* φ_3 .

Оптимальний кут випередження запалювання $\varphi_{3, \text{опт}}$ для даного режиму роботи двигуна характеризується максимальною потужністю й мінімальною питомою витратою палива.

Характеристика по куту випередження запалювання являє собою залежність зміни ефективної потужності N_e , годинної G_T і питомої ефективної g_e витрат палива від кута випередження запалювання φ_3 , зняту при постійній частоті обертання, незмінному положенні дросельної заслінки й постійній витраті палива.



На рис. 18 показана типова характеристика по куту випередження запалювання. При куті випередження $\varphi_{3, \text{опт}}$ крива N_e має максимум, а крива g_e – мінімум.

Можливість зміни моменту запалювання в карбюраторному двигуні дозволяє керувати процесом згоряння, добиваючись найкращого його протікання на різних режимах роботи двигуна, чим забезпечується одержання найбільшої потужності й найкращої паливної економічності.

Умова протікання процесу згоряння паливо повітряної суміші у двигуні працюючому в широкому діапазоні швидкісних і навантажувальних режимів, змінюються так сильно, що у випадку незмінного

моменту запалювання на ряді режимів можуть значно погіршитися всі показники двигуна.

Залежно від кута випередження запалювання процес згоряння може відбуватися різним образом, даючи при цьому й різні індикаторні діаграми (площа яких характеризує корисну роботу газів).

При найвигіднішому запалюванні $\varphi_{3, \text{опт}}$ дійсна діаграма (крива 1 на рис 19, а) майже збігається з теоритичною, у якій через мінімальні паливні втрати має місце найбільший ступінь перетворення теплоти в корисну роботу. У цьому випадку процес згоряння відбувається при найменшому об'ємі камери згоряння (починається згоряння за $20...40^\circ$ до ВМТ і закінчується за $10...15^\circ$ після ВМТ). При цьому тепловіддача в стінки і з випус-

кними газами найменша, а двигун має найкращі потужностні й економічні показники.

При ранньому запалюванні $\varphi_{з.р} > \varphi_{з.опт}$ (крива 2 на рис 19, а) значна частина процесу (виділення теплоти) відбувається до ВМТ у результаті чого максимальні тиски й температура зростають, що приводить до підвищення втрат, пов'язаних з віддачею теплоти в стінки камери згоряння, витоком газу із циліндра через поршневі кільця, збільшенням тертя між циліндром і поршнем, втратами теплоти через дисоціацію продуктів згоряння.

Крім того, через виділення великої кількості теплоти до ВМТ зменшується ступінь наступного розширення продуктів згоряння, а відповідно знижується й можливість переходу теплоти в роботу. Все це разом узятє призводить

при ранньому випередженні запалювання до зменшення потужності й погіршенню економічності двигуна. При занадто ранньому запалювання ($\varphi_z \gg \varphi_{z, \text{опт}}$) процес згоряння встигає повністю закінчитися до приходу поршня у ВМТ, даючи при цьому характерну неправильну індикативну діаграму з петлею (рис 19, б). У цьому випадку теплових втрат у стінки циліндрів і втрати потужності на здійснення поршнем додаткової негативної роботи стиску згорілих продуктів.

Збільшення випередження запалювання може викликати детонацію й передчасне запалення від розжарених поверхонь (найчастіше від перегрітих електродів свічі запалювання).

При пізньому запалюванні $\varphi_z < \varphi_{z, \text{опт}}$ (крива 3 на рис. 19, а) потужність двигуна також падає через погіршення використання теплоти в циліндрі. В цьому випадку значна частина процесу згоряння переноситься на лінію розширення, що зменшує можливість переходу теплоти в роботу (значна частина теплоти втрачається в стінки циліндра й відноситься з відпрацьованими газами внаслідок підвищення їхньої температури). Занадто пізні запалювання може приводити до перегріву двигуна.

Таким чином, найкращі показники роботи двигуна досягаються лише при оптимальному куті випередження запалювання. На величину $\varphi_{z, \text{опт}}$ значною мірою впливає частота обертання й навантаження двигуна. Характер впливу режиму роботи двигуна показаний на рис. 20.

При зростанні частоти обертання оптимальний кут запалювання збільшується (рис. 20, а). Це викликано тим, що зі збільшенням частоти обертання час на процес згоряння настільки сильно скорочується, що, незважаючи на збільшення завихрень у камері згоряння, що підвищують швидкість поширення фронту полум'я, для своєчасного згоряння треба запалювати робочу суміш раніше.

Зниження навантаження двигуна за рахунок прикриття дросельної заслінки (рис. 20, б) призводить до збільшення оптимального кута випередження запалювання, пояснюється падінням швидкості поширення фронту полум'я, що викликано зменшенням щільності заряду й більшим розбавленням горючої суміші залишковими газами.

Для того, щоб в експлуатації забезпечити зміну випередження запалювання залежно від швидкісного й навантажувального режимів роботи двигуна, у переривач-розподільнику встановлюється відцентровий автомат, а на його корпусі вакуумний регулятор випередження запалювання.

Зміна коефіцієнта наповнення η_v по регульовальній характеристиці кута випередження запалювання можливо тільки внаслідок впливу підігріву горючої суміші.

Зі зменшенням кута випередження запалювання від оптимального значення через перенос процесу згоряння на лінію розширення значно збільшуються теплові втрати в стінки циліндра і з відпрацьованими газами. Отже, росте ступінь підігріву суміші, що приводить до зменшення щільності заряду, але зменшення η_v при цьому незначно й практично його можна вважати незмінним по всій характеристиці.

Зміна кута випередження запалювання при знятті характеристики не впливає на коефіцієнт надлишку повітря α , тому що співвідношення надходячого повітря й палива в горючій суміші незмінно

Годинна витрата палива G_T при постійній частоті обертання й незмінному положенні дросельної заслінки залежить від величин η_v і α . Тому що коефі-

цієнти η_v і α практично не залежать від кута випередження запалювання, те годинна витрата палива G_T залишається постійною.

Вираз, що визначає величину питомої ефективної витрати палива для умов регульованої характеристики по куту випередження запалювання, можна представити у вигляді наступної залежності:

$$g_e = \frac{G_T}{N_e} * 10^3 = \frac{const}{N_e}, \text{ г/кВт.ч}$$

З виразу слідує, що g_e носить характер, зворотний кривій зміни потужності й, отже, при оптимальному куті випередження запалювання забезпечується максимальна потужність двигуна й одночасно мінімальна витрата палива. Зміна кута випередження запалювання в будь-яку сторону від його оптимального значення викликає збільшення питомих витрат палива внаслідок падіння потужності (див. рис 18).

Вплив кута випередження запалювання на токсичність відпрацьованих газів, показано на рис. 21.

Зі збільшенням кута випередження запалювання максимальна температура циклу й при цьому зростає вміст окислів азоту NO_x в ВГ.

Вміст окису вуглецю CO в ВГ практично не змінюється залежно від кута випередження запалювання, тому що утворення CO у продуктах згоряння в основному залежить від коефіцієнта надлишку повітря, а останній не залежить від φ_3 .

Кількість незгорілих вуглеводнів CH у ВГ змінюється від кута випередження запалювання складним образом, оскільки їхнє утворення залежить від запалення й розвитку початкового вогнища горіння, догорання робочої суміші в завершальній стадії процесу згоряння, від температури й надлишку кисню в ВГ у процесі випуску. По мірі зменшення кута випередження запалювання вміст CH зменшується внаслідок того, що більша частина процесу згоряння переноситься на лінію розширення, у результаті чого підвищується температура ВГ і в процесі випуску відбувається догорання, вуглеводнів.

1.3 Порядок зняття характеристики

При знятті характеристики по куту випередження запалювання переривач-розподільник повинен мати пристосування, що дозволяє при працюючому двигуні вручну змінювати кут випередження запалювання.

Для зміни величини кута випередження запалювання використовуються стробоскопічні пристрої. Одна з можливих схем такого пристрою показана на рис. 22.

До звичайної системи запалювання бензинового двигуна паралельно підключається додаткова котушка запалювання 1, що включається в дію тумблером 4. Струм високої напруги від котушки запалювання 1, підводиться до ізолюваного від маси двигуна металевому диску 2. На диску 2 нанесена шкала в градусах кута повороту колінчастого вала укріплена металева стрілка 3, що при положенні поршня першого циліндра у в.м.т. повинна перебувати проти нуля на шкалі диска 2. Між стрілкою 3 і диском 2 установлюється зазор 1-2мм.

У момент переривання переривачем 5 струму низької напруги між стрілкою 3 і диском 2 будуть виникати електричні іскри. При цьому по мітці шкали 2, проти якої проскакує іскра, можна судити про кут випередження запалювання.

У чотиритактному чотирициліндровому двигуні на кожний оберт двигуна будуть виникати дві іскри, зміщені на 180° .

У шестициліндровому двигуні при цих же умовах будуть виникати три іскри, зміщені на 120° .

Зняття регулювальної характеристики по куті випередження запалювання здійснюють у такий спосіб.

Після прогріву двигуна встановлюють за допомогою гальма частоту обертання двигуна при певному положенні дросельної заслінки (частіше при повному відкритті). Потім змінюємо положення корпуса переривача-розподільника за допомогою ручного пристрою збільшують кут випередження запалювання до появи ознак детонації (характерного металевого стукоту). Поворотом корпуса переривача-розподільника убік зменшення кута запалювання домагаються зникнення стукотів. Потім виставляють задану частоту обертання зміною навантаження на гальмо й після стабілізації теплового режиму по сигналу викладача роблять виміри наступних величин:

- часу τ , s , витрати обраної дози палива ΔG_T , g , і повітря ΔV_B , m^3 ;
- частоти обертання вала двигуна n , xv^{-1} ;
- сила $P_{вес}$ по гальму, H ($кгс$);
- температури води на виході із двигуна t_b , $^\circ C$;
- температура відпрацьованих газів, t_r , $^\circ C$;
- тиску масла P_m , $МПа$ ($кгс/см^2$).

Наступну точку характеристики одержують при більш пізньому (стосовно першої точки) запалюванні. Для цього зменшують кут випередження запалювання до помітної зміни $P_{вес}$ по гальму, виставляють задану частоту обертання за допомогою гальма й після стабілізації теплового режиму роблять зазначені вище виміри. Далі знову зменшують кут випередження запалювання. У міру зменшення кута випередження запалювання потужність двигуна (показання ваг гальма) буде спочатку зростати, а потім почне зменшуватися. Випробування продовжують від визначення 2-4 експериментальних точок після виявлення максимуму потужності.

При знятті даної характеристики необхідно розуміти, що надмірно ранні кути випередження запалювання можуть викликати появу детонації. Робота двигуна з явними ознаками детонації неприпустима. Тому, у процесі зняття цієї характеристики треба особлива увага обертати на роботу двигуна.

Після закінчення зняття останньої точки характеристики зміною положення корпуса переривача-розподільника встановлюється кут випередження запалювання $\approx 25 \dots 30$ до в.м.т.

Отримані результати представляють у вигляді залежностей N_e , G_T і g_e від кута випередження запалювання (див. рис. 18).

У висновку до роботи необхідно визначити оптимальні кути випередження запалювання для досліджених режимів роботи двигуна і пояснити характер зміни кривих N_e , G_T і g_e .

1.4 Питання для самопідготовки

1. Чому зі збільшенням і зменшенням кута випередження запалювання щодо оптимального його значення потужність двигуна знижується?

2. Чому з ростом частоти обертання кут випередження запалювання необхідно збільшувати?
3. Чому годинна витрата палива при знятті цієї характеристики майже не змінюється?
4. Як змінюється кут випередження запалювання зі зміною навантаження?
5. Чому при оптимальному куті випередження запалювання досягається максимальна потужність і мінімальна питома витрата палива?
6. Поясніть принцип виміру кута випередження запалювання.
7. Назвіть пристрої, що забезпечують зміну кута запалювання залежно від частоти обертання й навантаження двигуна. Який їхній принцип дії?
8. Як впливає кут випередження запалювання на зміст NO_x , CO і CH у ВГ?
9. Яка методика зняття регульовальної характеристики по куту випередження запалювання?

Список літератури

1. Автомобильные двигатели/ Под ред. М.С. Ховаха. – М.: Машиностроение, 1977. – 391 с.
2. Ленин И.М. Теория автомобильных и тракторных двигателей – М.: Машиностроение, 1969. – 368 с.
3. Райков И.Я. Испытания двигателей внутреннего сгорания. – М.: Высшая школа. 1975. – 320 с.