МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Автомеханічний факультет

Кафедра “Двигуни і теплотехніка”

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ, ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІН

«Конструкційні та експлуатаційні особливості систем і механізмів двигунів»,
«Екологічні показники ДВЗ в умовах експлуатації»,
«Випробування двигунів для визначення оптимальних регулювань систем»

Частина 1

для здобувачів вищої освіти за спеціальністю
142 «Енергетичне машинобудування»,
освітньо-професійною програмою
«Технічне обслуговування та діагностика автомобільних двигунів»

КИЇВ – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТРАНСПОРТНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Автомеханічний факультет

Кафедра “Двигуни і теплотехніка”

НАВЧАЛЬНО-МЕТОДИЧНИЙ ПОСІБНИК

ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ ПРАКТИЧНИХ, ЛАБОРАТОРНИХ ЗАНЯТЬ ТА САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТІВ З ДИСЦИПЛІН

«Конструкційні та експлуатаційні особливості систем і механізмів двигунів», «Екологічні показники ДВЗ в умовах експлуатації», «Випробування двигунів для визначення оптимальних регулювань систем»

Частина 1

для здобувачів вищої освіти за спеціальністю
142 «Енергетичне машинобудування»,
освітньо-професійною програмою
«Технічне обслуговування та діагностика автомобільних двигунів»

Затверджено

на засіданні Науково-методичної ради
Національного транспортного університету
протокол № _7_ від “_17_”_10__ 2024 р.
Проректор з навчальної роботи
Професор _____ Віталій ХАРУТА

КИЇВ – 2024

УДК 504.5:629.33
Навчально-методичний посібник для проведення практичних, лабораторних занять та самостійної роботи студентів з дисциплін «Конструкційні та експлуатаційні особливості систем і механізмів двигунів», «Екологічні показники ДВЗ в умовах експлуатації», «Випробування двигунів для визначення оптимальних регулювань систем». Частина 1, для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 142 «Енергетичне машинобудування», освітньо-професійною програмою «Технічне обслуговування та діагностика автомобільних двигунів» / Укладачі: Д.М. Тріфонов, А.О. Корпач, О.В. Сирота, Є.В. Шуба, Ю.В. Гаркуша, Р.О Потьомкін.–К.:НТУ, 2024.– 137 с.

У навчально-методичному посібнику наведені стислі теоретичні відомості щодо основних проблем традиційних автомобільних енергетичних установок та можливих шляхів їх вирішення, що спрямовані на поліпшення паливної економічності та зменшення викидів забруднювальних речовин з відпрацьованими газами ДВЗ та методичні рекомендації з виконання лабораторних і практичних робіт з оцінки ефективності використання окремих методів, зокрема методу відключення циліндрів і альтернативних палив для поліпшення паливної економічності та екологічних показників ДВЗ.

Посібник призначений для використання здобувачами вищої освіти всіх форм навчання при підготовці до лабораторних, практичних занять та самостійної роботи, які навчаються за вказаними спеціальностями і може бути корисним для студентів інших інженерних спеціальностей.

Укладачі: Дмитро ТРІФОНОВ, кандидат технічних наук, доцент,
Анатолій КОРПАЧ, кандидат технічних наук, професор,
Олександр СИРОТА, кандидат технічних наук, доцент,
Євгеній ШУБА, кандидат технічних наук, доцент,
Юхим ГАРКУША, кандидат технічних наук,
Руслан ПОТЬОМКІН, асистент кафедри.

Рекомендовано Методичною комісією автомеханічного факультету
протокол № 2 від «20» вересня 2024 року
Голова Методичної комісії факультету_____ Дмитро ЯЩЕНКО

© Дмитро ТРІФОНОВ, 2024 р.
© Анатолій КОРПАЧ, 2024 р.
© Олександр СИРОТА, 2024 р.
© Євгеній ШУБА, 2024 р.
© Юхим ГАРКУША, 2024 р.
© Руслан ПОТЬОМКІН, 2024 р.
© Національний транспортний університет, 2024 р.

ЗМІСТ

ВСТУП 6

1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ АВТОТРАНСПОРТУ ТА ШЛЯХІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДВЗ 8

1.1 Основні конструктивні зміни двигунів сучасних автомобілів, механізмів і систем, що забезпечують його роботу 10

1.2 Регулювання робочого об'єму ДВЗ шляхом зміни кількості працюючих циліндрів 12

1.3 Будова і принцип роботи двомасового маховика 17

1.4 Використання вторинних енергетичних ресурсів в ДВЗ 34

1.4.1 Рекуперація кінетичної енергії відпрацьованих газів ДВЗ 34

1.4.2 Рекуперація теплової енергії відпрацьованих газів ДВЗ 38

1.4.3 Пристрої, що безпосередньо перетворюють теплову енергію в електричну. 38

2. АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ, ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ, ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ 44

2.1 Альтернативне автомобільне паливо 45

2.2 Біопаливо 48

2.2.1 Рідке біопаливо 51

2.2.2 Газоподібне біопаливо 56

2.3 Використання альтернативних видів палива в ДВЗ 59

3. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ І ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ 67

4. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ 68

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ 69

6. ВИМІРЮВАНІ ВЕЛИЧИНИ 71

7. ОБРОБКА І ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ 74

8. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЦИЛІНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА Opel C30 NE З СИСТЕМОЮ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ 75

Лабораторно-практична робота № 1 НАВАНТАЖУВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА 6-ТИ ЦИЛІНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА 84

Лабораторно-практична робота № 2 НАВАНТАЖУВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА 6-ТИ ЦИЛІНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА З КОМБІНОВАНИМ МЕТОДОМ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИ РОБОТІ НА 3-Х ЦИЛІНДРАХ 86

Лабораторно-практична робота № 3 ВПЛИВ МЕТОДУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ 89

9. ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО БІОПАЛИВА..... 91

Лабораторно-практична робота № 4 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ З КАРБЮРАТОРНОЮ СИСТЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ 95

Лабораторно-практична робота № 5 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ З СИСТЕМОЮ ВПОРСКУВАННЯ І ЗВОРОТНІМ ЗВ’ЯЗКОМ 98

Лабораторно-практична робота № 6 ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТИЛОВОГО ЕФІРУ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДИЗЕЛЯ 102

Лабораторно-практична робота № 7 ТОКСИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГУНА МЕМЗ-245 З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ ЗАЛЕЖНО ВІД ВЕЛИЧИНИ ДОБАВКИ ВОДНЕВМІСНОГО ГАЗУ 105

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ 108

Додаток А 109

Додаток Б 130

Додаток В 134

Додаток Г 135

Додаток Д 136

Додаток Е 137

ВСТУП

Транспортна галузь є однією з базових економіки України, має розвинуту мережу автомобільних шляхів, що створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг та економічного розвитку національної економіки країни. На сьогоднішній день стан транспортної галузі не повною мірою відповідає сучасним вимогам ефективного впровадження енергозберігаючих технологій та забезпечення пріоритетності вимог екологічної безпеки, що обумовлено низьким рівнем впровадження сучасних технологій і реалізації інноваційної політики в транспортній галузі. У зв'язку цим, проблема підвищення ефективності експлуатації автомобільного транспорту відноситься до числа особливо значимих, що підтверджується Національною транспортною стратегією України на період до 2030 року.

Транспорт є одним із найбільших споживачів первинних енергетичних ресурсів (ПЕР) в економіці країн. Транспортні засоби стають все більш важливими в сучасному світі і з кожним роком кількість автомобілів на дорогах збільшується, що призводить до зростання викидів забруднювальних речовин в навколишнє середовище. Традиційні двигуни, що працюють на викопних паливах, сприяють зростанню викидів забруднювальних речовин, а також впливають на зміну клімату. Сучасні технології та розробки дають можливість замінити не тільки традиційні викопні палива на більш екологічні (альтернативні), наприклад, біопаливо, електрику і водень, а й традиційні енергетичні установки - двигуни внутрішнього згорання (ДВЗ) - на більш екологічно чисті альтернативи, наприклад пневматичні, електричні, гібридні та інші. Перехід на альтернативні енергетичні установки для транспортних засобів (ТЗ) є важливим кроком у напрямку більш екологічно чистої та стійкої транспортної системи. Крім того, використання альтернативних енергетичних установок та/або альтернативних палив може зменшити залежність країни від викопного палива, що сприяє підвищенню енергетичної безпеки та зниженню економічних витрат.

У зв'язку з цим, переведення частини автомобільного парку на палива, що отримані з альтернативних сировинних ресурсів, стає неминучим і полягає в:

-створенні та експлуатації альтернативних енергетичних установок для автомобільного транспорту, для вирішення екологічних проблем транспортної енергетики;

-розширенні використання нетрадиційних (альтернативних) енергоносіїв і палив на їх основі.

Альтернативне паливо – це рідке та газове паливо, яке є альтернативою (заміною) відповідним традиційним видам палива і яке виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини, згідно з законом України.

Під альтернативними видами палива розуміємо паливо, що отримано з відновлюваних джерел енергії. Існують також інші види палива, як, наприклад, *зріджений* (*скраплений) нафтовий газ* (пропан-бутанові фракції)

або *природний газ* (метан), які є похідними викопного палива, але в багатьох країнах також вважаються паливом, що є альтернативним нафтовому походженню. Крім того, як паливо для автомобілів можна використовувати електроенергію або водень, які можна отримати за рахунок як викопних, так і поновлюваних джерел енергії. Проте, розробка енергетичних установок, що використовують ці види палива, зокрема й паливні елементи, перебуває ще на ранньому етапі, до того ж паливо, що використовується ними, переважно виробляють за рахунок викопних джерел енергії (генерування електроенергії або ж отримання водню).

Згідно з "проривним" варіантом розвитку світової енергетики на автомобільному транспорті, очікується інтенсивний розвиток таких технологій, як електро- та гібридні автомобілі, включаючи автомобільні транспортні засоби, енергетичні установки, які працюють на водні.

Для моніторингу розвитку проривних енергозберігаючих технологій на автомобільному транспорті пропонуються такі індикатори:

-вартість акумуляторних батарей і водневих паливних елементів для електромобілів;

-можливий пробіг електромобілів без підзарядки;

-частка у світовому автопарку електромобілів та енергетичних установок, що працюють на водні.

До видів автомобільного транспорту на альтернативних видах палива включають транспортні засоби:

-на стиснутому природному газі,

-на зрідженому (скрапленому) нафтовому газі,

-на водневому паливі,

-на паливній добавці, що отримують із рослинної олії або тваринного жиру,

-з гнучким вибором палива (Flexible-fuel vehicle),

-гібридні,

-електричні (електромобілі),

-електромобілі, що використовують водень як паливо для роботи електродвигуна (паливні елементи),

-електромобілі, що використовують сонячну енергію

Розрахунки засвідчують, що близько 30% загальної потреби в паливі може бути заміщена біопаливом.

1. АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ПРОБЛЕМ АВТОТРАНСПОРТУ ТА ШЛЯХІВ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ РЕЧОВИН З ВІДПРАЦЬОВАНИМИ ГАЗАМИ ДВЗ

Транспорт став невід'ємною частиною сучасного життя і одним з ключових секторів з точки зору споживання енергії. Двигун внутрішнього згорання (ДВЗ) є одним з найбільш ефективних і універсальних джерел механічної енергії, що застосовується в автомобілях, будівельної та сільськогосподарської техніках, стаціонарних енергетичних установках та ін. Разом з тим його використання породжує цілий ряд проблем, пов'язаних насамперед із низькою енергоефективністю і забрудненням навколишнього середовища.

Автомобільний транспорт є основним джерелом забруднення повітря в більшості великих міст, що може викликати серйозні наслідки для здоров'я людини. Близько 50% населення світу живе в містах, які охоплюють лише 0,4% земної поверхні, і, за прогнозами, до 2050 року в містах житимуть майже 70%. У багатьох європейських містах промислове забруднення повітря витісняється забрудненням від транспортних засобів. У більшості міст рівень забруднення повітря перевищує рекомендовані максимальні рівні, встановлені Всесвітньою організацією охорони здоров'я для захисту здоров'я людей.

ДВЗ є основними енергетичними установками для наземного транспорту у сфері пасажирських та вантажних перевезень. В найближчі десятиліття неможливо буде уникнути використання цих енергетичних установок у силових агрегатах більшості транспортних засобів (ТЗ), навіть враховуючи зростання сегментів електро- і гібридних автомобілів.

У 2023 році електричні автомобілі на акумуляторних батареях (BEV) стали третім за популярністю вибором покупців на автомобільному ринку Європейського союзу, що склало 14,6% ринку, перевершивши дизель, який залишався стабільним на рівні 13,6%. Гібридно-електричні автомобілі (HEV) посіли друге місце, зайнявши 25,8% ринку. Бензинові автомобілі зберегли лідерство на рівні 35,3%. (рис. 1)

За перші п'ять місяців 2024 року (січень-травень) реєстрація бензинових автомобілів у ЄС зросла до 35,5% (у порівнянні з 2023 роком майже на 0,6%).

Зростаючий попит на транспортні засоби, збільшення автомобільних перевезень, доступність викопного палива та висока його енергетична щільність дають змогу сучасним ДВЗ стати основними енергетичними установками для світового транспортного парку в найближче десятиліття. ДВЗ споживають значну частку нафтопродуктів і водночас є активним, постійно діючим фактором хімічного та теплового шкідливого впливу на довкілля. Максимальної шкоди навколишньому середовищу завдає хімічний фактор, спричинений забруднювальними речовинами (ЗР), що містяться у відпрацьованих газах. (ВГ) двигуна внутрішнього згорання. Можна стверджувати, що **екологізація** (*розробка і реалізація рішень, що*

забезпечують позитивний вплив на збереження природних ресурсів і довкілля) можлива, зокрема, і завдяки зниженню витрати палива нафтового походження під час експлуатації ТЗ.

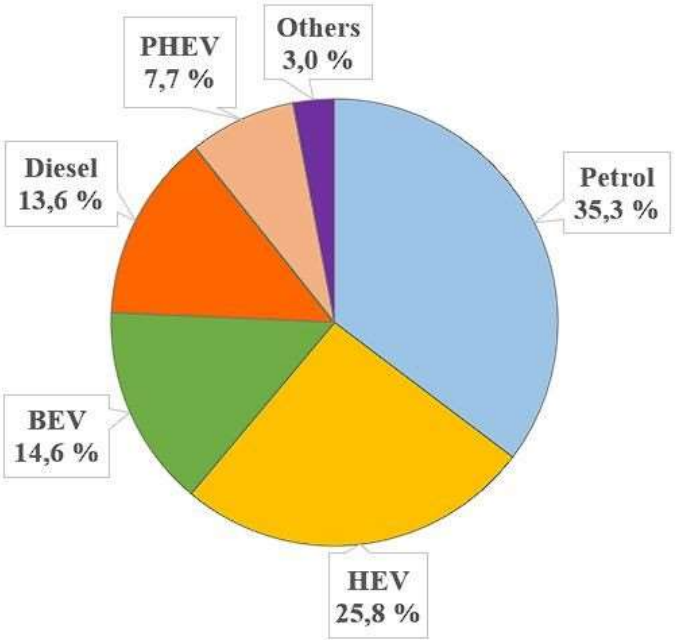


Рисунок 1 - Число нових реєстрацій автомобілів у ЄС за видами джерел енергії для автомобілів (за 2023 рік)

Як найпоширеніші джерела паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) для транспортних засобів застосовують невідновлювані ресурси, передусім нафтового походження. Економія ПЕР і, як наслідок, зменшення емісії ЗР у ВГ може бути реалізована в кількох напрямках:

-вдосконаленням конструкції ДВЗ та механізмів і систем, що забезпечують його роботу;

-вдосконаленням робочого процесу ДВЗ;

-зниженням теплових і механічних втрат при роботі ДВЗ;

-утилізацією (рекуперацією) частини вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР), які виникають у великих обсягах під час роботи ДВЗ;

-застосуванням альтернативних палив, як основного, або як частини суміші з традиційним паливом;

-установкою додаткових пристроїв, які дають змогу мінімізувати негативний вплив автомобіля на екологію довкілля, передусім зменшити емісію забруднювальних речовин у відпрацьованих газах, які утворюються ДВЗ.

На сьогодні майже вичерпані можливості зміни (модифікації) конструкції механізмів і систем, що забезпечують роботу двигуна, для поліпшення його енергоефективності, або їх застосування є економічно недоцільним.

1.1 Основні конструктивні зміни двигунів сучасних автомобілів, механізмів і систем, що забезпечують його роботу

У зв'язку з постійно зростаючими вимогами до охорони довкілля, зниження витрати палива та до конструкції двигуна, що є найважливішим елементом автомобіля, висуваються жорсткі вимоги щодо організації процесів згоряння, сумішоутворення, охолодження, змащення і випуску відпрацьованих газів.

Особливістю сучасного двигуна є впровадження в його роботу електронних систем управління (ЕСУ). Це можна пояснити тим, що їх застосування дає змогу домогтися значного поліпшення експлуатаційних властивостей двигуна за рахунок вбудованих в ЕСУ програм оптимізації.

Основними заходами із застосуванням електронних систем управління для бензинових двигунів є ті, що зазначені на рис. 2.

Крім цього, можливі й інші вдосконалення двигунів, зокрема застосування турбонаддуву та охолодження повітря, що надходить до циліндрів двигуна; зменшення допустимих зазорів між сполученими парами.

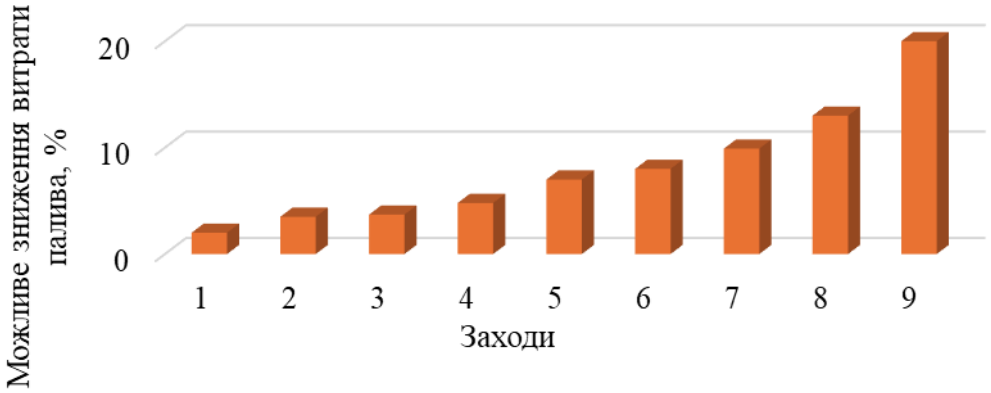


Рисунок 2 - Ефективність різних заходів, які дозволяють знизити витрату палива:

1 - електронне регулювання системи охолодження; 2 - регульовані фази газорозподілу; 3 - рециркуляція відпрацьованих газів; 4 - змінний ступінь стиснення; 5 - відключення циліндрів; 6 - робота двигуна на бідних (гомогенних) сумішах; 7 - регульований (механічний) привод клапанів; 8 - привод клапанів з електронним управлінням; 9 - безпосереднє впорскування бензину.

Головними удосконаленнями системи охолодження є: застосування двоконтурних систем, що дають змогу допускати вищу температуру для блока циліндрів, що знижує втрати на тертя; використання, як регуляторів температури, електронних термостатів; включення до системи як додаткового або основного електричного насоса, який дає змогу циркулювати охолоджувальній рідині незалежно від частоти обертання колінчастого вала.

У звичайному двигуні фази газорозподілу визначаються формою кулачка розподільчого вала і залишаються незмінними в усіх діапазонах роботи двигуна. Однак, постійні фази газорозподілу не дозволяють

створювати оптимальні процеси сумішоутворення. Щоб варіювати фази газорозподілу, необхідно змінювати положення розподільчого вала відносно колінчастого, для чого застосовуються спеціальні системи. Принцип дії приводу повороту розподільчого вала, для зміни фаз газорозподілу, може бути механічний, гідравлічний, електричний і пневматичний.

Рециркуляція відпрацьованих газів (ВГ) полягає в перепуску їхньої частини в систему впуску двигуна і подальшому поверненню в циліндри. Оскільки ВГ містять після процесу згорання досить велику кількість CO_2 і H_2O, максимальні температура і тиск під час згоряння палива знижуються. У результаті цього зменшується викид оксидів азоту - NO_x.

Ступінь стиснення необхідно змінювати для поліпшення тягово-економічних показників і зниження показників викидів ВГ: зменшувати, щоб уникнути детонації під час роботи на високій частоті обертання колінчастого вала двигуна та збільшувати на малій, щоб зменшити витрату палива.

Відключення циліндрів, зважаючи на необхідність збереження достатньої рівномірності обертання колінчастого вала, застосовується здебільшого на багатоциліндрових двигунах. У разі застосування відключення циліндрів на чотирициліндрових двигунах, для зниження вібрацій застосовують двомасовий маховик.

Застосування системи зміни фаз газорозподілу створює оптимальні умови роботи двигуна тільки при повному відкритті дросельної заслінки. За інших режимів роботи двигуна потік повітря обмежує дросельна заслінка, оскільки вона визначає кількість повітря, що надходить у двигун, на підставі якого електронна система керування визначає кут випередження запалювання і кількість палива, що надходить у циліндри двигуна. Щоб виключити з конструкції двигуна дросельну заслінку, необхідно відкривати впускний клапан тільки на час, необхідний, щоб досягти потрібного наповнення циліндра горючою сумішшю. Таке завдання вирішується застосуванням зміни ходу клапанів. Для розв'язання цього завдання розроблено та застосовують різні конструкції з відкриття клапанів; механічний привід, електричний привід та електрогідравлічний привід.

Більшою мірою поліпшити тягово-економічні показники забезпечує система безпосереднього впорскування. Обмеженість застосування цієї системи обумовлюється такими причинами:

-по-перше, загальноприйняте нині впорскування палива у впускний трубопровід спрощує конструкцію самої форсунки;

-по-друге, більше часу відводиться на приготування паливно-повітряної суміші;

-по-третє, при цьому спрощується конструкція головки блока циліндрів.

Відмінною рисою цієї системи є контроль і управління всіма робочими процесами через численні датчики (датчик температури вхідного повітря, датчик тиску, кисню, детонації, положення колінчастого вала, датчик фаз газорозподілу і т. ін.). Отриману з датчиків інформацію блок управління порівнює з параметрами, записаними в програмі оптимізації, і якщо вони не

збігаються, блок змінює режим роботи систем до тих пір, поки не настане збіг параметрів. Система безпосереднього впорскування дозволяє готувати як гомогенну, так і гетерогенну суміш. Внаслідок цього знижується витрата палива під час роботи на різних режимах.

Запалювання суміші сучасних бензинових двигунів здійснюється застосуванням потужніших індивідуальних котушок і свічок запалювання тривалого використання, при цьому спостерігається відмова від динамічного переривання низької та розподілу високої напруги на користь статичних систем запалювання, а також застосування запалювання паливоповітряної бензинової суміші від стиснення.

1.2 Регулювання робочого об'єму ДВЗ шляхом зміни кількості працюючих циліндрів

Одним із найважливіших питань у пошуку альтернатив вдосконалення ДВЗ з іскровим запалюванням є пошук шляхів щодо зниження споживання палива та зменшення забруднювальних викидів у навколишнє середовище.

Економічність поршневих двигунів внутрішнього згорання багато в чому залежить від режимів їхньої роботи. Оптимальних економічних показників ДВЗ досягають під час роботи на номінальному або близькому до нього режимах, але на часткових навантаженнях і холостому ходу ефективність роботи двигунів помітно погіршується.

Досвід експлуатації транспортних засобів показує, що основу експлуатаційних режимів становлять *режими холостого ходу і малих навантажень*. При повсякденній їзді по місту автомобіль, як правило, використовує лише 30 відсотків від максимальної потужності двигуна. При цьому дросельна заслінка майже *закрита*, і двигун змушений здійснювати значну механічну роботу на закачування свіжої порції повітря. Це призводить до збільшення, так званих, насосних (механічних) втрат. Під механічними втратами розуміють втрати на всі види механічного тертя та здійснення газообміну.

Однією з технологій задля зменшення механічних втрат, що досить швидко розвиваються, є система відключення частини циліндрів, яка здатна деактивувати кілька циліндрів у певних режимах роботи ДВЗ для забезпечення його відповідності сучасним екологічним вимогам.

Відключення частини циліндрів дає змогу знизити насосні (механічні) втрати, збільшити тиск і рівномірність розподілу повітряного заряду по робочих циліндрах, що і забезпечує зменшення кількості споживаного палива. При цьому - економія палива може становити від 8 до 25 %. Потрібно зазначити, що застосування таких систем особливо ефективне в двигунах, що мають багато циліндрів і великий об'єм.

Експлуатація автомобіля в умовах міста характеризується особливостями, які пов'язані зі значним перенавантаженням вулиць і приміських доріг, що призводить до суттєвого зниження середньої швидкості руху автомобіля і збільшення часу роботи ДВЗ у режимі холостого ходу. За

таких умов основними режимами роботи автомобільних двигунів є часткові швидкісні та навантажувальні режими. В цих режимах паливна економічність бензинових двигунів значно погіршується. Серед основних причин погіршення паливної економічності двигуна в цих режимах є:

-зростання насосних втрат під час прикриття дросельної заслінки;

-погіршення робочого процесу в циліндрах внаслідок зростання вмісту залишкових газів;

-нерівномірний розподіл повітряного заряду по робочих циліндрах.

Дроселювання бензинових двигунів є однією з причин того, що питома витрата палива в режимі малих навантажень значно перевищує питому витрату палива в номінальному режимі.

Уникнути цього недоліку можна зміною кількісного методу регулювання потужності дроселюванням паливоповітряної суміші на більш досконалий, який дає можливість зменшити насосні втрати і поліпшити робочий процес двигуна в режимах холостого ходу і малих навантажень.

До теперішнього часу запропоновано багато методів регулювання потужності двигуна з іскровим запалюванням із частковим дроселюванням або таких, що забезпечують зменшення втрат на дроселювання, зокрема:

-система рециркуляції відпрацьованих газів;

-система плавного (безступінчастого) регулювання моменту відкриття і закриття клапанів та їх висоти підйому;

-клапани газорозподільчого механізму з електромагнітним приводом;

-терморегулювання (підігрів/охолодження) потоку повітря на впуску;

-зміна робочого об'єму двигуна шляхом зміни кількості циліндрів, що працюють;

-застосування наддуву;

-застосування термостата в системі охолодження ДВЗ, робота якого регулюється електронною системою управління двигуном та інші.

Ці методи можна застосовувати для кожного класу потужності двигунів. Вони відрізняються складністю конструкції та/або реалізації, вартістю, ступенем втручання в конструкцію двигуна і систем, що забезпечують його роботу та доцільністю застосування того чи іншого методу.

Одним із найбільш перспективних шляхів розв'язання задачі, що пов'язана з необхідністю підтримання низького рівня забруднювальних речовин у відпрацьованих газах ДВЗ незалежно від режиму роботи, є регулювання його робочого об'єму шляхом зміни кількості циліндрів, що працюють. Зокрема - в режимі максимальної потужності задіються всі циліндри двигуна, а в режимах часткових навантажень – частина, завдяки відключенню декількох циліндрів.

Зміна робочого об'єму досягається застосуванням системи автоматичного (електронного) відключення (деактивації) декількох циліндрів у режимах холостого ходу та малих навантажень ДВЗ.

Теорія питання. Деактивація циліндрів застосовується для зменшення споживання палива та забруднення довкілля ДВЗ під час роботи з малим

навантаженням. У режимі руху з малим навантаженням водій використовує не більш 30 % максимальної потужності двигуна. За таких умов дросельна заслінка майже закрита, і частина механічної енергії двигуна витрачається на подолання аеродинамічного опору впускного трубопровода. Це призводить до погіршення ефективності ДВЗ через так звані «насосні втрати» - збільшення аеродинамічного опору у впускному тракті двигуна, який оцінюється різницею між атмосферним тиском P_0 і середнім тиском у циліндрі $P_ц$. Ця різниця незначна в режимі повних навантажень через майже відсутність аеродинамічного опору і становить величину менше 1% середнього індикаторного тиску *Pi*. Зі зменшенням навантаження аеродинамічний опір зростає. Тому, частка аеродинамічних втрат на середніх навантаженнях досягає біля 5%, а на малих навантаженнях до 20%. У результаті аеродинамічні втрати на дроселювання погіршують експлуатаційну економічність двигуна в середньому до 20%. Крім цього при значному дроселюванні спостерігається погіршення рівномірності розподілу повітряного потоку по циліндрах.

Деякі двигуни великої потужності потребують настільки сильного дроселювання в режимах малих навантажень, що тиск в циліндрі у верхній мертвій точці майже вдвічі менший, ніж у невеликому 4-циліндровому двигуні. Застосування деактивації циліндрів у режимах малих навантажень призводить до необхідності збільшення кількості повітря, що надходить до циліндрів, які працюють (за рахунок відкриття дросельної заслінки на більший кут), з метою збереження необхідної для обраного режиму потужності двигуна.

При відключенні частини циліндрів двигуна, питома ефективна витрата палива зменшується, що призводить до підвищення ефективності ДВЗ і, як наслідок, - до зменшення викидів забруднювальних речовин з ВГ. Зменшення питомої витрати палива досягається внаслідок зниження насосних втрат, при цьому кількість палива, на неефективні витрати, може бути зменшена на 8…25%.

Технічна реалізація. Деактивація циліндра може досягатися шляхом тримання впускних і випускних клапанів закритими для певного циліндра. Утримання впускних і випускних клапанів закритими створює так звану "повітряну пружину" в надпоршневому об'ємі - затримані відпрацьовані гази (що залишилися від згорання попереднього заряду) стискаються під час підйому поршня і тиснуть на поршень під час його руху донизу. Компресія і декомпресія відпрацьованих газів мають зрівноважувальний ефект - в цілому, додаткове навантаження на двигун, практично, відсутнє. Перехід між нормальною роботою двигуна і відключенням циліндрів також згладжується за допомогою зміни кута випередження запалювання, фаз газорозподілу і положення дросельної заслінки (завдяки електронному управлінню дросельною заслінкою). У більшості випадків деактивація циліндрів застосовується до двигунів з відносно великим робочим об'ємом, які особливо неефективні при малих навантаженнях. У випадку V12 можна відключити до 6 циліндрів.

Дві проблеми, які необхідно вирішити для всіх двигунів зі змінним робочим об'ємом, - це порушення теплового режиму роботи ДВЗ та його вібрація.

Щодо сутності методу відключення циліндрів. Максимальна потужність двигуна використовується під час експлуатації автомобіля лише впродовж нетривалого часу. Основну частину роботи ДВЗ складають режими холостого ходу і малих навантажень. Водночас максимальна паливна економічність досягається двигуном під час використання 70…80% своєї проектної потужності (ділянка А на навантажувальній характеристиці, рис. 3), тому в режимах малих навантажень ДВЗ мають, так званий, «недобір економічності».

Сутність відключення циліндрів (ВЦ) полягає в тому, щоб в режимах холостого ходу і малих навантажень відключити з роботи частину циліндрів, а інші, змусити працювати з більшим навантаженням, тобто на 70…80 % від максимально можливої потужності циліндрів, що залишилися в роботі.

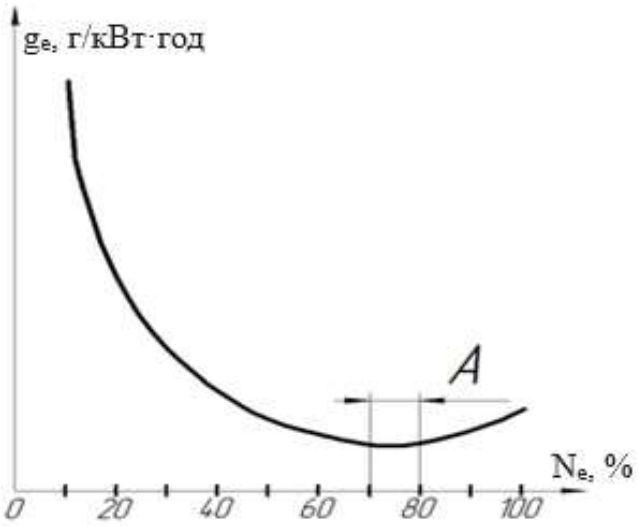


Рисунок 3 - Навантажувальна характеристика ДВЗ

Аналіз конструкцій двигунів з ВЦ. Ідея підвищення ефективності роботи поршневих двигунів шляхом відключення декількох циліндрів вперше зародилася в США в 1917 р. і передбачала деактивацію 6-ти циліндрів на 12-циліндровому двигуні. В Україні дослідження в галузі ВЦ у різний час велися, в тому числі, і в Національному транспортному університеті.

На сьогодні відомі такі основні способи ВЦ поршневих автомобільних двигунів:

1) вимкнення подачі палива в циліндри ДВЗ, які підлягають відключенню (*застосування методу можливе на етапі експлуатації ТЗ*);

2) вимкнення подачі палива разом із впливом на механізм газорозподілу (*застосування методу можливе на конструкторсько-технологічному етапі*);

3) деактивація декількох циліндрів шляхом зупинки деталей їхнього кривошипно-шатунного механізму (модульне вимкнення циліндрів)

(*застосування методу можливе на конструкторсько-технологічному етапі*).

Перший спосіб. Відомо, що частка втрат на газообмін у загальному об'ємі механічних втрат у ДВЗ становить 13...15%, тому застосування першого способу ВЦ має найменший ефект. Для збереження теплового режиму циліндрів, що відключаються, застосовують перепуск відпрацьованих газів у деактивовані циліндри. Однак, усі ці заходи є невиправданим ускладненням конструкції системи газообміну двигуна і на сучасних двигунах не знаходять застосування.

Другий спосіб. Цей спосіб конструктивно складніший за перший, але є більш ефективним. Пов'язано це насамперед із тим, що за цього способу повністю відсутні втрати на газообмін, а у відключених циліндрах відбувається стиснення-розширення повітря. Відключення циліндрів шляхом припинення роботи клапанів на сьогоднішній день є найпоширенішим серед усіх відомих способів.

Відключення циліндрів цим способом було вперше реалізовано на автомобілі Cadillac 1981 року.

Відключення циліндрів за другим способом має низку суттєвих недоліків:

1. Порушення теплового режиму відключених циліндрів, як наслідок їх нерівномірний знос і підвищення токсичності ВГ під час їх повторного увімкнення.

2. Проблеми з накопиченням моторної оливи у відключених циліндрах.

Крім того, цей спосіб, без суттєвого ускладнення конструкції, не дає можливості реалізувати вимкнення циліндрів з роботи по одному. Механічні втрати на тертя в циліндро-поршневій групі зберігаються.

Третій спосіб. Ще в 1948 р. теоретичні та експериментальні дослідження показали, що найбільш ефективним способом є відключення циліндрів по одному, а не групами. Це можливо реалізувати при застосуванні модульних енергетичних установок (МЕУ). У цьому варіанті енергетична установка складається з окремих двигунів (модулів), які підключаються до роботи в разі збільшення навантаження на силовий агрегат. Таким чином, повністю виключені механічні втрати у відключених двигунах (циліндрах).

Активні дослідження в цьому напрямку проводилися наприкінці 80-х років. МСУ складалася з двох включених послідовно роторно-поршневих двигунів. Експлуатаційна паливна економічність у міських умовах становила 30%. Ці дослідження показали ефективність регулювання навантаження в бензинових двигунах не за допомогою дроселювання, а шляхом зміни робочого об'єму. Серійно випущених двигунів з подібною системою на сьогодні немає.

Низка патентних документів показує можливу конструктивну реалізацію модульного відключення циліндрів у двигуні з КШМ. Колінчастий вал у цьому випадку ділиться на кілька частин, які з'єднуються між собою за допомогою спеціальних муфт. Однак практична реалізація цього методу становить великі труднощі. Перш за все, це конструктивна складність механізму з'єднання окремих частин, а також чітка синхронізація

між частинами, що підключаються. Необхідно також враховувати порушення врівноваженості енергетичної установки в цілому.

1.3 Будова і принцип роботи двомасового маховика

Що є маховик і навіщо він потрібен?

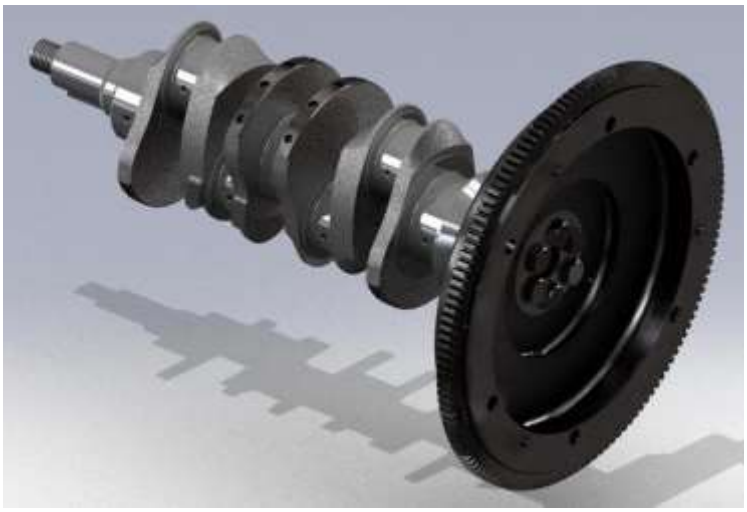
Під час розгляду конкретних функцій маховика виділяються такі характеристики:

-зменшення коливальних рухів при обертанні колінчастого вала.

-передача момента із двигуна на КПП. Крім цього, він є первинним диском зчеплення;

-відповідає за передачу момента зі стартера на колінчастий вал.

Інакше кажучи, маховик необхідний для виконання трьох важливих функцій: запуску двигуна зі стартера, передачі крутного момента на КПП і забезпечення рівномірної роботи колінчастого вала.



а)

Рисунок 4 - Одномасовий (звичайний)маховик

Як влаштований маховик?

Двомасовий маховик (DMF - Dual Mass Flywheel) є звичайним диском діаметром 30-40 см. На торці розташовуються зубці, завдяки яким досягається зчеплення ведучого диска (маховика) з валом стартера і подальше розкручування колінвала при запуску двигуна. Маховик розташований на вихідній частині колінвала двигуна, а з іншого боку до нього фіксується болтами корзина зчеплення або гідротрансформатор. Зазначимо, що будова маховика залежить від його приналежності до певної групи.

На сьогоднішній день виділяються три види маховиків:

1. **Суцільний**. Являє собою простий чавунний диск із зубцями на торці. Такі моделі поширені як на вітчизняних автомобілях, так і на іномарках, особливо економ-класу (рис. 4,а).

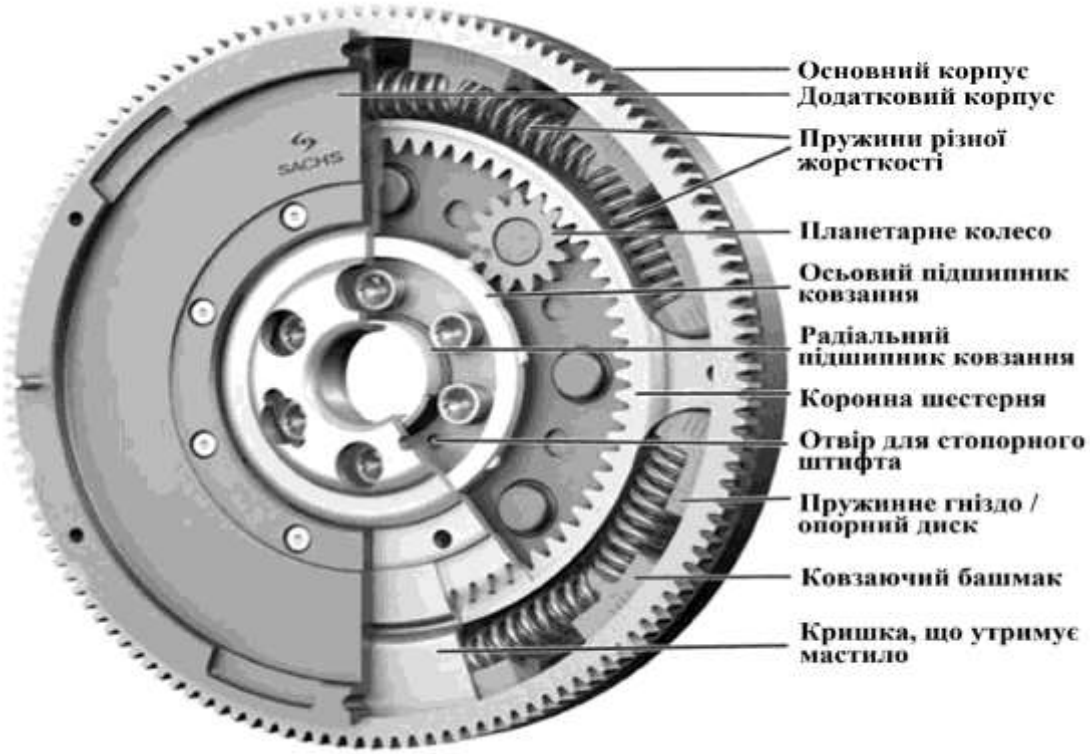
2. **Полегшений**. Як правило, полегшена версія привідного диска встановлюється або на авто з автоматичною КПП, або на моделі, що тюнінгують. Головна особливість такого диска - зменшена маса, внаслідок якої досягається зменшення інерції та збільшення ККД двигуна до 5%. Полегшений маховик є конструктивно спрощеним різновидом суцільного типу. Основним його призначенням є виконання ролі шестерні, яка обертається під час запуску стартером.

3. **Двомасовий або демпферний**. В даний час набув широкого поширення внаслідок своїх переваг - гасіння вібрації, усунення крутильних коливань колінвала, підвищення зносостійкості синхронізаторів, захисту трансмісії від перевантажень та зниження шуму. Конструктивно модель маховика ускладнена, порівняно з попередніми видами(рис. 4,б).

Зважаючи на переваги демпферного маховика, він є кращою і перспективною моделлю в наш час.

Особливості будови двомасового маховика

Конструктивні особливості полягають у наявності двох корпусів, один з яких встановлюється на колінвал з подальшим з'єднанням з колінвалом, а другий стискається з робочою поверхнею диска зчеплення (рис. 4,б). З'єднання між корпусами забезпечується за рахунок двох підшипників (осьового та радіального), які можуть вільно ковзати незалежно від роботи один одного. Також в середині встановлена демпфінгова система, що складається з пружин. Всі механізми оброблені спеціальним консистентним мастилом, воно забезпечує надійну роботу пружин та сепараторів між ними.



б)

Рисунок 4 - Двомасовий маховик

Демпферний маховик

У двомасовому маховику розташовується два пакети пружин. М'який пружинний пакет забезпечує м'якість запуску та зупинки, а за допомогою жорсткого пакета забезпечується демпфування коливань у робочих діапазонах обертів двигуна (рис. 5).

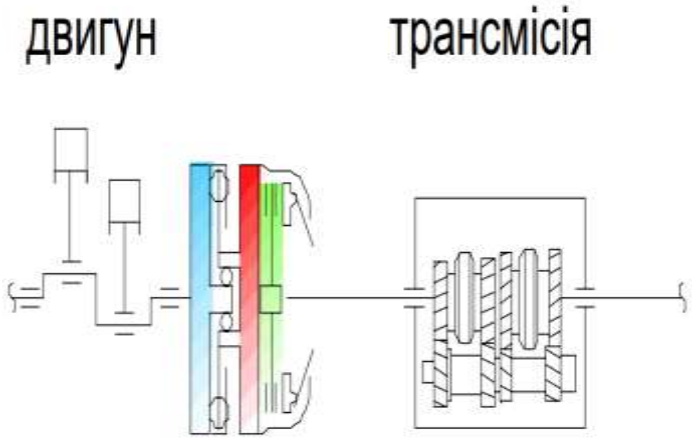
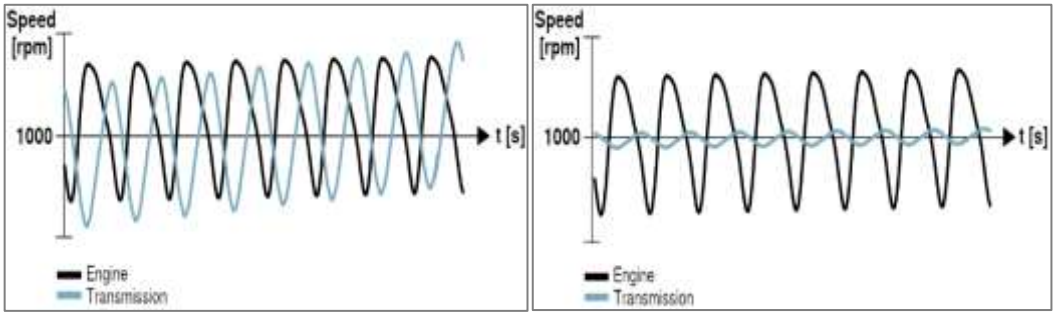


Рисунок 5 – Кінематична схема трансмісії з двомасовим маховиком

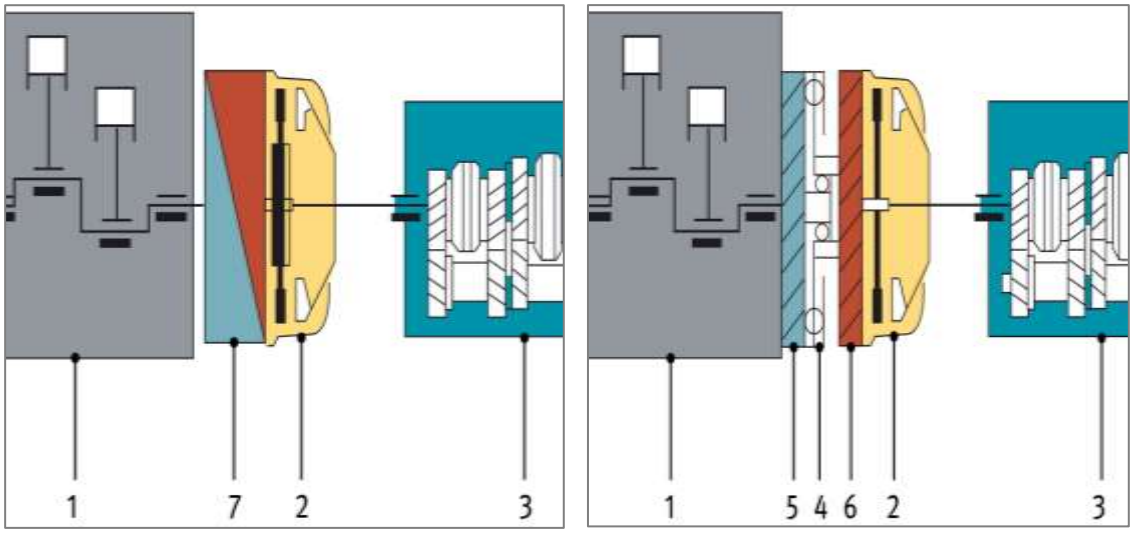
Принцип роботи

Принцип дії ефективний та простий одночасно. Через підвищення інерційного моменту мас на вхідному валу КПП резонансна кількість обертів стає меншою, ніж діапазон обертів ДВЗ. Завдяки цьому забезпечується гасіння коливальних рухів, що генеруються силовим агрегатом. Гасіння коливань досягається за рахунок демпферно-пружинної системи, яка не допускає зіткнень частин КПП. В результаті досягається зменшення навантаження на робочі елементи (рис. 6,7).



а) б)

Рисунок 6 – Передача крутильних коливань:
а - звичайним маховиком, б - за допомогою маховика (DMF)



а) б)

Рисунок 7 – Принцип роботи:
а - звичайного маховика, б - двомасового маховика (DMF)
1 – двигун; 2 – зчеплення; 3 – передача; 4 – демпфер кручення (обертання);
5 – первинна маса; 6 – вторинна маса; 7 – маховик.

Переваги двомасового маховика.

Установка в ДВЗ двомасового маховика дає переваги:
-перемикання передач стає більш зручним та м'яким.
-інерційний момент при перемиканні зменшується.
-збільшується ресурс ДВЗ та КПП.
-у картері зчеплення досягається економія простору, що є важливою перевагою компактних транспортних засобів.

Недоліки двомасового маховика.

.

По-перше, вартість досить висока.

По-друге, термін експлуатації значно менший, ніж у дисків зчеплення інших різновидів. Такий недолік обумовлений конструкцією та внутрішнім мастилом, яке протягом експлуатації зношується. В умовах експлуатації пробіг автомобіля може складати 350-400 тис. км.

Для збільшення ресурсу необхідної:
-не перевантажувати автомобіль;
-не утримувати важіль зчеплення в натиснутому стані, наприклад, при зупинці на світлофорі;
-не можна кидати важіль зчеплення на початку руху та перемикання передач;

-не рушати на підвищеній передачі;
-не допускати тривалої їзди на низьких оборотах, особливо автомобілів з дизелями. У цьому режимі крутильні коливання колінвала дуже високі, йде підвищене зношування пружин демпферної системи.

Двомасовий маховик - це елемент трансмісії автомобіля, який є не тільки передавальною ланкою між стартером і колінвалом, а й дає змогу максимально ефективно гасити вібрації та підвищення крутного моменту, що виникають під час роботи сучасних бензинових двигунів і дизелів. Своєю появою в середині 1980-х DMF зобов'язаний:

-збільшенню крутного моменту ДВЗ, що загрожує ривками в трансмісії та її прискореним зносом;
-посиленню екологічних норм, що призвело до створення ДВЗ (зокрема триціліндрових) з блоками з легких сплавів, які до того ж працюють на збідненій суміші і, як наслідок, більш вібронавантажених.

У таких умовах традиційні гасителі крутильних коливань (пружини) у веденому диску зчеплення вже не справлялися із завданням зберегти плавність роботи силового агрегату.

Знадобилася складніша конструкція.

-автовиробники комплектують трансмісії більшості автомобілів двомасовими маховиками для компромісу між екологічними вимогами і ресурсом ходової частини;
-двомасові маховики стали використовуватися з другої половини 90-х років на дизелях, а потім і на двигунах внутрішнього згоряння.
-двомасові маховики прекрасно поєднуються з різними КПП(механічними, автоматичними, варіаторами);
-заміна двомасового маховика на одномасовий може призвести до пошкодження колінвалу, зносу шестерень КПП і синхронізаторів, менш плавного перемикання передач;
-рекомендується заміна маховика тільки в разі, якщо виробник регламентує цей варіант і пропонує відповідний набір з маховика і корзини зчеплення;
-перед перевіркою маховика слід протестувати навісне обладнання, системи запалювання та живлення;
-під час вибору маховика слід звертати увагу на упаковку, відповідність коду, дату виробництва, люфт і якість обробки поверхонь;
-неполадки та поломки двомасового маховика можуть бути визначені за характерними ознаками.

Таблиця 1

Порівняння характеристик одно- та двомасових маховиків

Аспект	Одномасовий маховик	Двомасовий маховик
Структура	Одна тверда маса	Містить первинну та вторинну маси, з’єднані пружинами
призначення	Передає потужність двигуна на трансмісію	Гасить коливання крутного моменту та вібрації, покращує керованість
Гасіння вібрації	Обмежене гасіння вібрації, може передавати більше вібрацій двигуна	Забезпечує значне зволоження, знижує вібрацію та шум
Довговічність	Як правило, міцний і довговічний	Підлягає зношенню та може потребувати заміни з часом
Технічне обслуговування	Вимагає менше обслуговування	Може знадобитися технічне обслуговування або заміна зношених компонентів
Вартість	Як правило, нижча вартість	Часто вища вартість через складність
Вартість заміни	Нижча вартість заміни	Вища вартість заміни завдяки складній конструкції
Продуктивність	Може не забезпечити плавне водіння	Забезпечує більш плавну та тиху роботу
вага	Як правило, важче	Як правило, легші, ніж одномасові маховики
Сумісність	Сумісність із широким спектром програм	Особливо для певних транспортних засобів і програм
Переваги	Простота, економічність	Зменшення вібрації, покращена керованість
Недоліки	Передає більше вібрацій, менш ефективно гасить	Вища вартість, потенційні вимоги до обслуговування

Робота двигуна внутрішнього згоряння (ДВЗ)

Переважна більшість дорожніх транспортних засобів обладнана ДВЗ. При роботі ДВЗ на колінчастому валу виникають крутильні коливання. У процесі згоряння відбувається надзвичайно швидке підвищення тиску усередині циліндра під час **робочого ходу**, що призводить до максимального збільшення крутного моменту на виході. Тиск, що створюється в циліндрах, прикладає зусилля до верхньої частини поршня, яке передається через шатун і призводить до обертального руху колінчастого вала. Пульсуючий крутний момент, створюваний циліндрами, викликає вібрації на колінчастому валу.

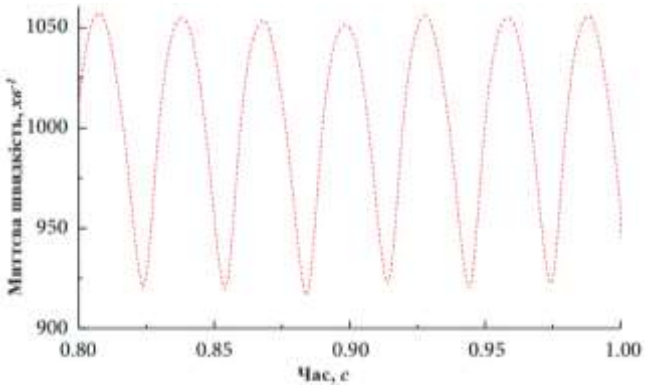


Рисунок 8 - Амплітуда обертів двигуна на холостому ходу (низьких) обертах

У двигуні зі зворотно-поступальним рухом поршня перепад тиску в циліндрі протягом чотирьох циклів створює нерівномірний крутний момент на колінчастому валу. Пульсуючий крутний момент, створюваний на колінчастому валу, також призводить до пульсування частоти обертання двигуна (рис. 8).

Крутний момент на колінчастому валу створюється силою, прикладеною до шатунної шийки через шатун. Крутний момент *T [Н·м]* є добутком сили *F [Н]* на довжину плеча важеля *a [м]*.

$$T = F \cdot a$$

Щоб збільшити величину крутного моменту, необхідно збільшити силу, довжину плеча важеля або обидва (рис. 9,10).

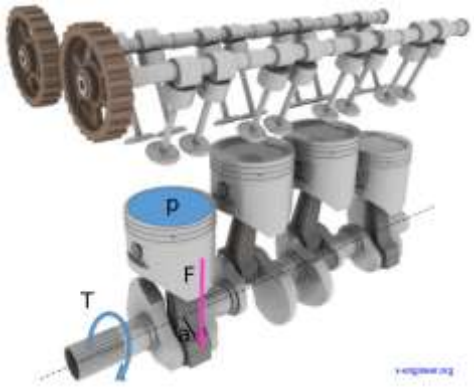


Рисунок 9 - Функція обчислення крутного моменту двигуна залежно від тиску в циліндрі

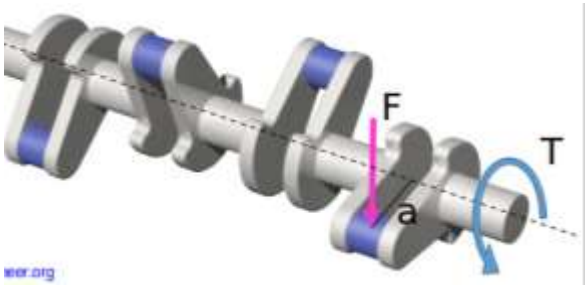


Рисунок 10 - Крутний момент на колінчастому валу

Наприклад, якщо вирівняти частоту обертання двигуна на холостому ходу з часом вибірки 100 мс або менше, видно, що частота обертання двигуна не постійна і становить близько 975 хв$^{-1}$, а швидко коливається в діапазоні від 925 до 1050 хв$^{-1}$.

Всі ці обертальні вібрації передаються далі в трансмісію і можуть вплинути на довговічність її компонентів. Ці вібрації можуть викликати деренчання шестерні і вібрації при включенні та виключенні трансмісії, які створюють значний шум і знижують довговічність.

Простий маховик

На кожному силовому циклі згоряння паливоповітряної суміші значно прискорює колінчастий вал. Під час трьох інших циклів (впуск, стиск і випуск) колінчастий вал іноді сильно, а іноді і менш сильно сповільнюється. Щоб двигун, в основному, працював плавно на більш низьких обертах, відцентрова маса маховика, певною мірою, згладжує ці нерівномірності частоти обертання (рис.4,а).

Чотири циліндровий чотиритактний двигун внутрішнього згоряння має інтервал запалювання 180°. Наприклад, якщо 4-циліндровий двигун працює з частотою 3000 хв$^{-1}$, то відбувається 6000 запалювань за хвилину, що відповідає 100 запалюванням за секунду. Тому, нерівномірність частоти обертання двигуна дуже незначна.

Чим нижче оберти двигуна, тим чіткіше проявляються нерівномірності частоти обертання двигуна у вигляді крутильних коливань. При 1200 хв$^{-1}$ відбувається приблизно 40 запалювань на секунду, що означає, що запалювання відбувається лише кожні 25 мс. Нерівномірність частоти обертання двигуна і, отже, крутильні коливання дуже помітні в цьому діапазоні обертів двигуна.

Якщо ці крутильні коливання передаються на коробку передач без демпфування, в коробці передач і трансмісії виникають резонансні вібрації. У свою чергу, ці резонансні вібрації викликають гучні звуки або «деренчання» шестерень коробки передач. Крім того, більш високі резонансні вібрації можуть в довгостроковій перспективі призвести до пошкодження компонентів коробки передач і трансмісії. Зниження обертальних коливань колінчастого вала можна досягти за допомогою **маховика**.

Маховик - це механічний компонент, призначений для накопичення (зберігання) енергії обертання (кінетичної енергії). Маховики чинять опір змінам швидкості обертання завдяки своєму моменту інерції.

Кількість енергії, накопиченої в маховику, пропорційна квадрату його швидкості обертання та його масі.

$$W_м = \frac{I_м \cdot \omega_м^2}{2},$$

де:

$W_м$ – кінетична енергія, яку накопичує маховик Дж [кг·м^2],

$I_м$ – момент інерції маховика,

$\omega_м$– кутова швидкість маховика, [рад/с].

Чим вище інерція або кутова швидкість маховика, тим вище запасена енергія.В корпусі двигуна внутрішнього згоряння маховик кріпиться на кінці колінчастого вала.

Як це працює:

-під час робочого ходу двигуна маховик накопичує кінетичну енергію;

-під час тактів впуску, стиску і випуску маховик вивільняє кінетичну

енергію.

Таким чином, підвищення крутного моменту гасяться під час робочого ходу і розподіляються протягом всього циклу роботи двигуна. Цей ефект застосовується до всіх циліндрів двигуна. Чим більше кількість циліндрів в двигуні, тим плавніше вихідний крутний момент та потужність.

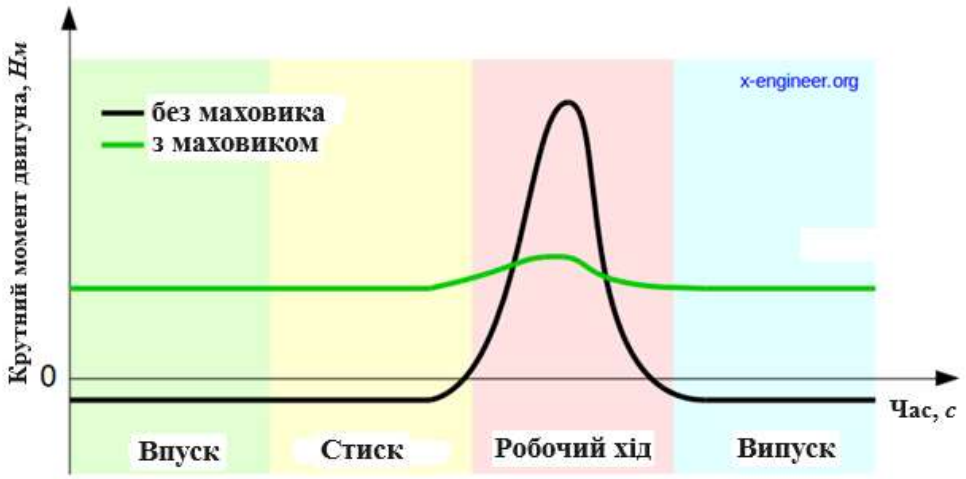


Рисунок 11 - Крутний момент двигуна під час 4-тактного циклу

Тип двигуна дизель або бензиновий, кількість циліндрів, об'єм двигуна і питома потужність двигуна (кВт/л) роблять істотний вплив на обертальні коливання колінчастого вала. Наприклад, безнаддувні (атмосферні) бензинові двигуни великої потужності мають низький крутний момент на низьких обертах. Крім того, його рухомі частини, поршні, шатуни, колінчастий вал мають велику масу, що означає велику інерцію і, отже, більш керовані підвищення частоти обертання. У сукупності ці фактори дозволяють регулювати пульсації (коливання) вихідного крутного моменту за допомогою стандартного маховика.

Зменшення масогабаритних розмірів ДВЗ і зниження частоти обертання колінчастого вала

Найважливішим завданням автомобільної промисловості в останні роки є зниження споживання палива та викидів CO_2. Однією з ефективних заходів для досягнення цієї мети є використання ще більш низьких обертів двигуна для управління автомобілем. Для досягнення цієї мети крутний момент збільшується без втрати потужності. Це дозволяє двигуну працювати лише ненабагато вище обертів холостого ходу і, отже, в надзвичайно економічному діапазоні. Одна із задач полягає в тому, щоб забезпечити достатню ізоляцію трансмісії, навіть, при таких низьких обертах двигуна.

Стрімкий розвиток автомобільних технологій за останні кілька десятиліть призвело до появи двигунів з ще більш високою продуктивністю, паралельно із збільшеним попитом на комфорт. Концепції автомобілів із зменшеною вагою та кузова, оптимізовані для аеродинамічної труби, тепер дозволяють вловлювати інші джерела шуму. Крім того, цьому сприяють

ощадливі концепції, двигуни з надзвичайно низькими оборотами і коробки передач нового покоління, що використовують легкі масла.

Щоб поліпшити витрату палива і зменшити викиди забруднювадьних речовин у ВГ, останні розробки стратегії двигунів включали в себе *зменшення масогабаритних розмірів* двигуна і *зниження частоти обертання колінчастого вала*:

-зменшення масогабаритних розмірів ДВЗ означає, що загальна об'ємна потужність двигуна знижується за рахунок зменшення кількості циліндрів (наприклад, з 6 циліндрів до 4 циліндрів), але при збереженні крутного моменту (рис.12, рис.13), потужності, ефективності (зазвичай з використанням наддуву впускного повітря, технологій регульованого підйому клапанів, безпосереднього впорскування палива і т.і.)

-зниження частоти обертання колінчастого вала означає, що максимальний крутний момент двигуна досягається при більш низьких обертах колінчастого вала двигуна (наприклад, з 2500 до 1500 хв$^{-1}$), що досягається, наприклад, за допомогою двоступеневого турбонаддуву, електричних повітряних компресорів і т.і.

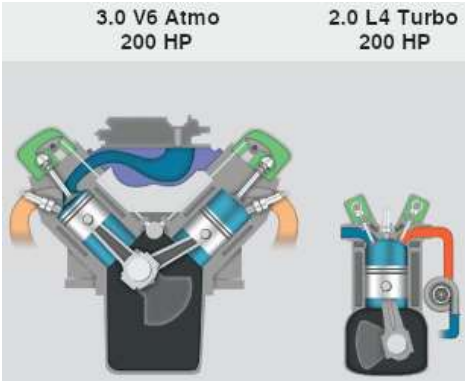


Рисунок 12 - Зменьшення розмірів з V6 до L4

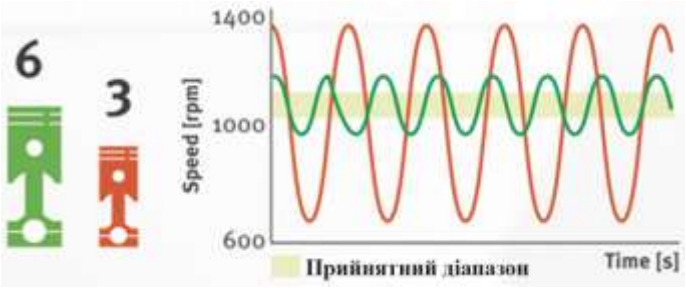


Рисунок 13 - Вплив кількості циліндрів на частоту обертання колінчастого вала

Таким чином, зменшення масогабаритних розмірів і зниження частоти обертання колінчастого вала - це процеси, при яких робоча точка співвідношення швидкості і навантаження зміщується в більш ефективну зону за рахунок зниження потужності двигуна при збереженні продуктивності при повному навантаженні за рахунок підвищення тиску.

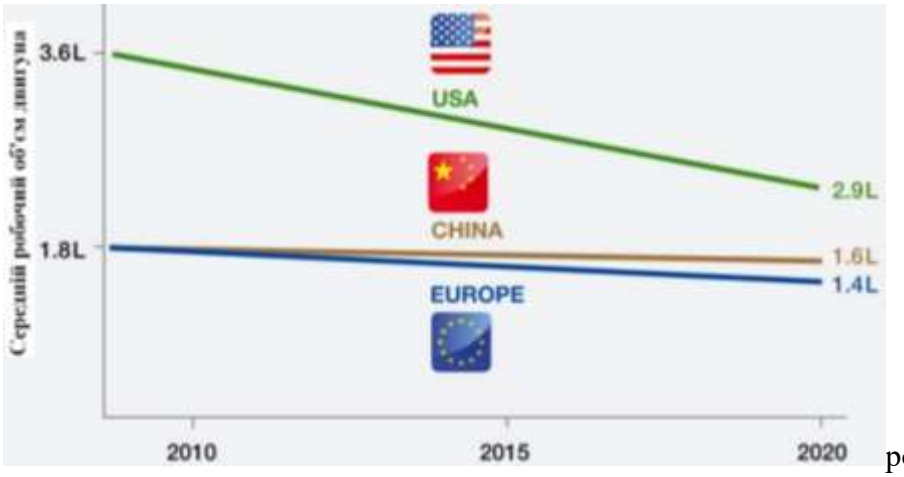


Рисунок 14 - Тенденція до скорочення масогабаритних розмірів двигуна

Поєднання меншої інерції рухомих компонентів з більш високим крутним моментом на низьких обертах колінчастого вала двигуна виникають більш високі вібрації при обертанні колінчастого валу. Побічний ефект цієї стратегії полягає в тому, що більші коливання створюються на колінчастому валу двигуна, які також передаються в трансмісію автомобіля.

Робота двомасового маховика і компоненти двомасового маховика

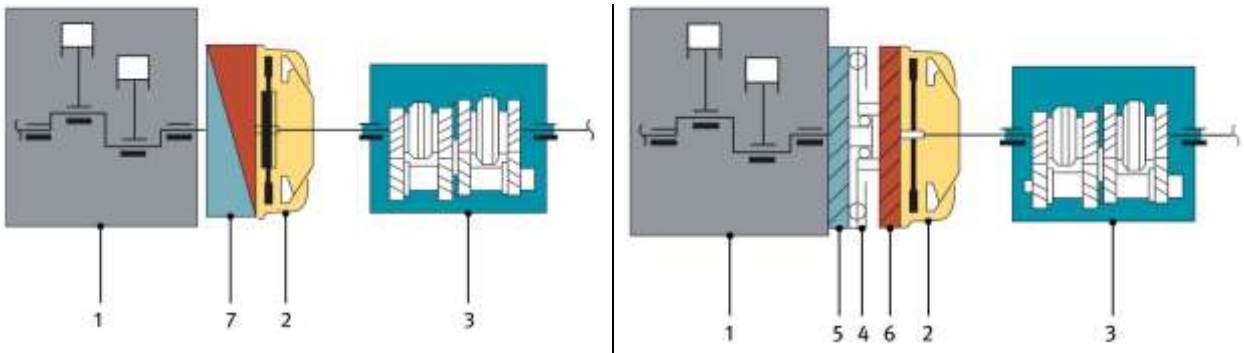
Існують різні технології демпфування обертальних коливань колінчастого вала. Всі ці технології можна розділити на три основні категорії:

1. **Активне демпфування**: в цьому випадку використовується активний компонент (демпфер), який може створювати силу, протилежну силу вібрації колінчастого вала; таким чином, вібрації гасяться, що призводить до плавного обертання колінчастого вала; цей метод забезпечує найкращі показники зниження вібрації, але пов'язаний з високою вартістю; крім того, активний компонент потребує зовнішнього джерела енергії і не забезпечує необхідну надійність для застосування в автомобілебудуванні.

2. **Напівактивне демпфірування**: аналогічно технології активного демпфування, але з меншими вимогами до зовнішнього живлення.

3. **Пасивне демпфування**: передбачає використання пасивного компонента, який не вимагає зовнішньої енергії, але може забезпечити зменшення пульсацій (коливань) колінчастого вала (вихідного крутного моменту); найпоширеніші пристрої зазвичай складаються з пружини та демпфера, це найекономічніше рішення з досить хорошими характеристиками зі зниження вібрації, що передається в трансмісію.

Одним з ефективних і економічних рішень для зменшення обертальних (крутильних) коливань є використання **DMF**, що є скороченням від **двомасового маховика**. Двомасовый маховик (DMF) є пасивним демпфуючим компонентом, і його основна функція полягає в ізоляції трансмісії від вібрації, створюваної двигуном внутрішнього згоряння. Цей метод також покращить загальні шумові характеристики автомобіля і понизить витрату палива.



а) б)

Рисунок 15 - Принцип роботи маховика а - звичайного маховика; б- двомасового маховика

1 – двигун, 2 – зчеплення, 3 – коробка передач, 4 – демпфер кручення (обертання), 5 – первинна маса, 6 – вторинна маса, 7 – маховик

У порівнянні зі звичайним маховиком, який має одну масу, стандартний DMF складається з **первинної маси** і **вторинної маси** (рис. 15). Дві маси роз'єднані і з'єднані за допомогою системи пружин і амортизаторів. Обидві маси спираються на шарикопідшипник з глибоким пазом або підшипник ковзання, тому вони можуть обертатися відносно один одного. Швидкість пружини і характеристики демпфірування мають вирішальне значення для визначення експлуатаційних характеристик двомасового маховика.

Основна маса (рис. 16) щільно прикріплена болтами до колінчастого вала, до неї прикріплена зубчаста передача стартера (1), і вона приводиться в рух двигуном. Він охоплює разом з первинної кришкою (6) порожнину, яка утворює канал дугового пружини.

Основними компонентами системи пружина-демпфер є дугові пружини (3). Вони встановлені в направляючих в каналах дугових пружин і економічно ефективно відповідають вимогам, що пред'являються до "ідеального" торсионному демпфера. Направляючі забезпечують правильний напрямок пружин під час роботи, а мастило навколо пружин зменшує знос між ними самими, що направляють і каналами.

Між первинною і вторинною масою крутний момент передається через фланець (5). Фланець приклепаний до вторинної маси (7) так, що його крила розташовані між дуговими пружинами.

Додаткова маса допомагає збільшити момент інерції маси з боку коробки передач. Вентиляційні отвори забезпечують ефективне відведення тепла, що утворюється при терті зчеплення. Оскільки DMF має вбудовану пружинно-амортизуючу систему, зазвичай використовується жорсткий диск зчеплення без амортизатора кручення.

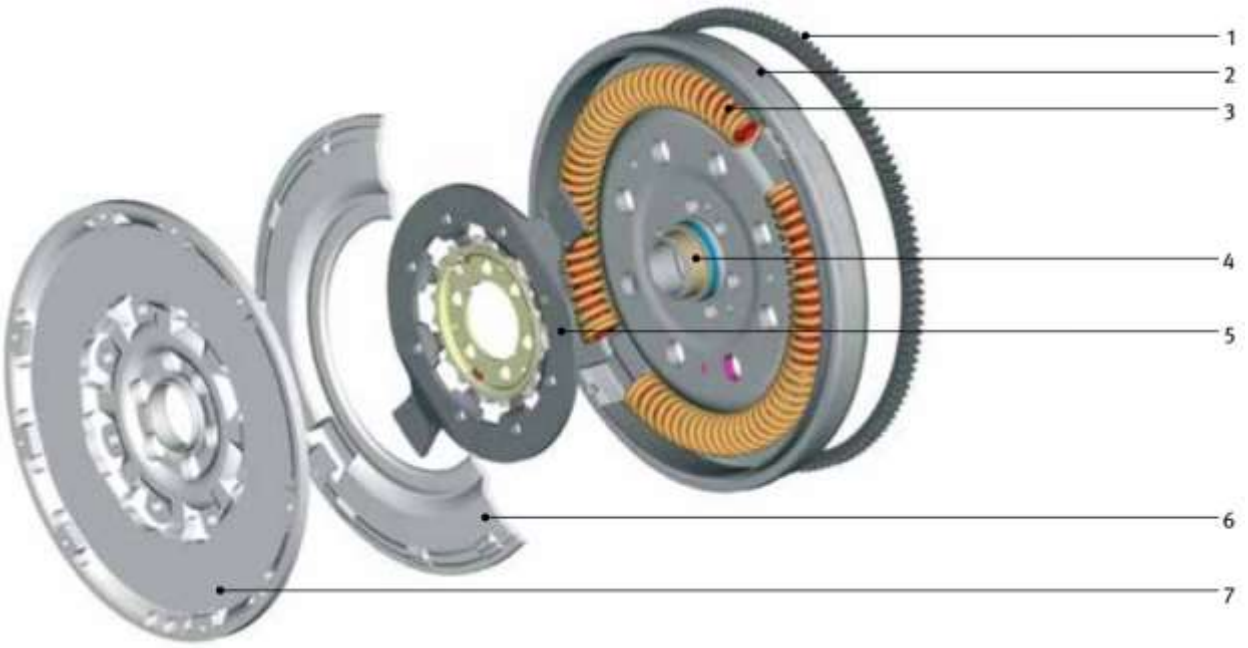


Рисунок 16 - Стандартний двомасовий маховик:
1 – кільцева передача стартера. 2 – первинна маса. 3 – дугові пружини. 4 – підшипник ковзання. 5 – фланець. 6 – кришка первинної обмотки (поперечний переріз). 7 – вторинна маса.

В автомобілі зі звичайним маховиком і диском зчеплення з демпфіруванням кручення крутильні коливання в діапазоні холостого ходу практично без змін передаються на коробку передач і викликають зіткнення крайок зубів шестерні (деренчання коробки передач). З іншого боку, пружинно-демпферна система DMF відфільтровує крутильні коливання, викликані двигуном. Це запобігає стуку компонентів коробки передач один об одного – «деренчання» не виникає, і вимоги до більш високого комфорту повністю задовольняються.

Принцип дії двомасового маховика простий і ефективний. Із-за додаткової маси на вхідному валу коробки передач діапазон вібраційного моменту, який, зазвичай, складає від 1200 до 2400 $хв^{-1}$ з оригінальними демпферами кручення, переміщається в більш низький діапазон резонансних частот обертання. Це забезпечує ефективне гасіння вібрації колінчастого вала двигуна, навіть, на холостих обертах.

Двомасовий маховик (DMF) дозволив ізолювати обертальні коливання ДВЗ від решти трансмісії. Були усунені небажані «деренчливі» звуки коробки передач. Також стало можливим керувати автомобілем на дуже низьких обертах двигуна за рахунок збільшення мінімального обертаючого моменту, що, отже, знизило витрата палива.

Існує безліч інших робочих моментів, які також необхідно враховувати при проектуванні двомасового маховика (DMF).

По-перше, двигун повинен бути запущений, а потім зупинений в кінці поїздки і, можливо, також на світлофорі. Сам рух починається з рушання автомобіля з місця. Зміни положення важеля дросельної заслінки, а також

перемикання передач призводять до зміни навантаження в трансмісії, або автомобіль рухається без навантаження. Це лише деякі з додаткових робочих точок, в яких існує високий попит на комфорт.

У всіх цих робочих точках DMF істотно знижує рівень шуму, вібрацію при обертанні і загальний комфорт автомобіля (рис. 17).

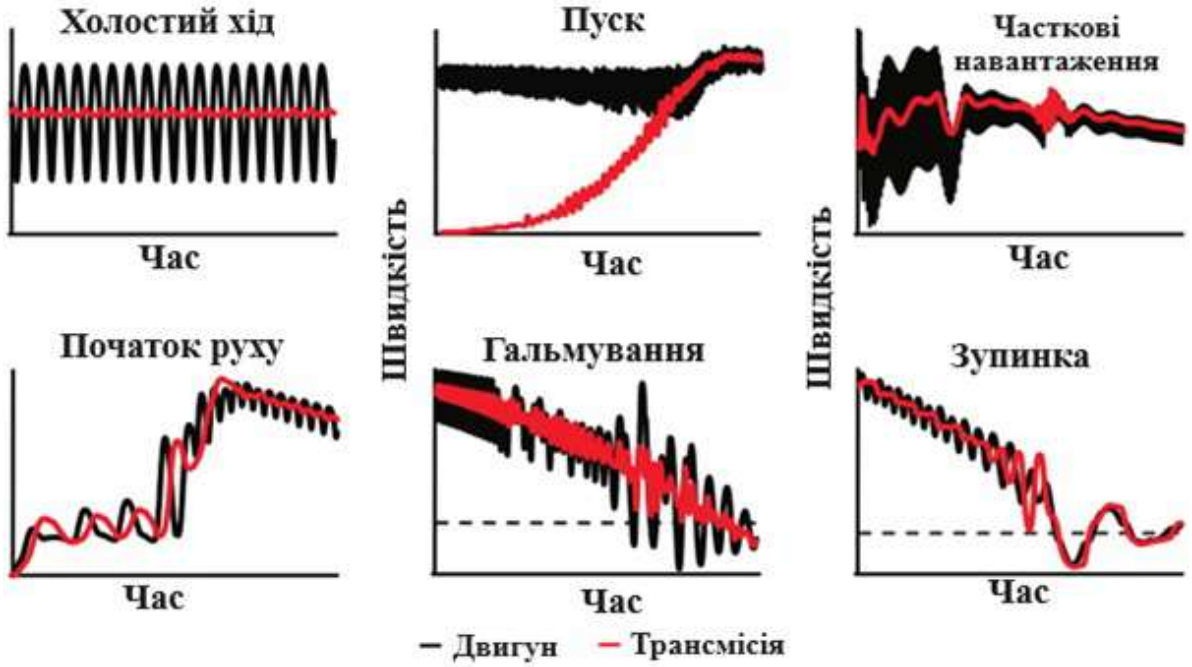


Рисунок 17 - Вплив двомасового маховика DMF на комфорт автомобіля

Первинна маса з'єднана з колінчастим валом ДВЗ. Основна маса DMF і колінчастого валу об'єднуються разом, утворюючи єдине ціле за інерцією. У порівнянні зі звичайним маховиком основна маса DMF значно більш гнучка, що допомагає знизити навантаження на колінчастий вал. Крім того, основна маса – разом з первинної кришкою – утворює канал дугового пружини, який зазвичай розділений на дві секції, розділені обмежувачами дугової пружини (рис. 18).

Основна маса являє собою сталевий штампований елемент з достатнім масовим моментом інерції (рис. 19). В певних випадках він може бути виготовлений з чавуну. Для пуску двигуна кільцева шестерня стартера встановлюється на основній масі. Залежно від типу DMF, на нього наноситься або зварюванням, або холодним пресуванням.

Рисунок 18 – Пружина двомасового маховика:
1 – первинна кришка, 2 – дугового пружинний упор, 3 – основна маса

Рисунок 19 - Двомасовий маховик – первинна маса:
1 – кільцева передача стартера,
2 – первинна маса

Кришка приварюється до основної маси з утворенням герметичної камери, що містить вигнуті пружини, напрямні пружин і мастильний матеріал.

Крутний момент двигуна передається від первинної маси до **вторинної маси** через дугові пружини і привідну пластину (рис. 20). Завдяки підшипнику між первинної і вторинної масою можливо незалежне радіальне переміщення мас. Як і у випадку з жорстким (одномасовим) маховиком, потужність передається через зчеплення, яке прикріплено болтами до вторинної маси. Вирішальна відмінність, однак, полягає в тому, що крутний момент двигуна тепер в значній мірі вільний від вібрації при обертанні, тобто він модулюється. Із-за цього в більшості випадків можна обійтися без диска зчеплення з демпфіруванням при крученні, якщо використовується DMF.

Вторинна маса являє собою компонент з чавуну. Одна сторона оброблена для формування поверхні тертя диска. Вторинна маса передає крутний момент двигуна на зчеплення, а потім на коробку передач і колеса.

Рисунок 20 – Двомасовий маховик – вторинна маса
1 – поверхня болтів кріплення зчеплення, 2 – поверхня тертя диска зчеплення, 3 - вентиляційний отвір для відводу тепла, 4 – отвір для заклепки

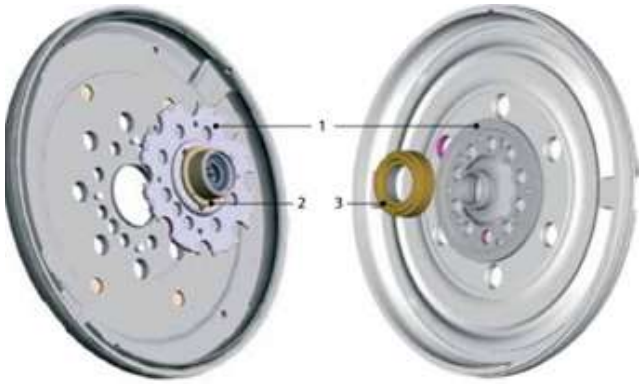


Рисунок 21 – Двомасовий маховик – підшипник
1 – опорна вежа, 2 – підшипник ковзання, 3 – шарикопідшипник

Підшипник в первинній масі служить обертовим з'єднанням із вторинною масою (рис. 21). Він повинен поглинати не тільки радіальні зусилля, пов'язані з вагою вторинного маховика, й зчеплення, але і осьові зусилля, створювані зусиллям розчеплення при розчепленні.

У двомасовом маховику використовуються два різних типи підшипників:

-шарикопідшипник: коли почалася розробка DMF, можна було використовувати великі шарикопідшипники з-за відносно простої конструкції внутрішніх компонентів; однак постійно зростаючі вимоги до гасіння вібрації при обертанні призвели до необхідності використання додаткових компонентів в DMF; з цієї причини довелося створити додатковий простір для конструкції; це призвело до систематичного зменшення діаметра шарикопідшипника (рис. 22); маленькі шарикопідшипники дозволяють встановлювати додаткові гасителі вібрації при обертанні незалежно від місця і, таким чином, підвищувати ефективність DMF.

-підшипник ковзання: у порівнянні з шарикопідшипниками підшипники ковзання займають менше місця і мають більш просту конструкцію; зважаючи на низькі енергетичні втрати, вони можуть використовуватися повсюдно і, при необхідності, можуть бути сконструйовані таким чином, щоб забезпечувати осьове переміщення (рис. 23).

Рисунок 22 – Шарикопідшипник

Рисунок 23 – Підшипник ковзання

Основна маса оснащена поворотною маточиною, на якій встановлено шарикопідшипник великого розміру. На основній масі встановлений фланець маточини з посадковим місцем підшипника (повернений або витягнутим). Посадочне місце підшипника можна відрегулювати для установки невеликої шарикопідшипника, як показано тут, або підшипника ковзання.

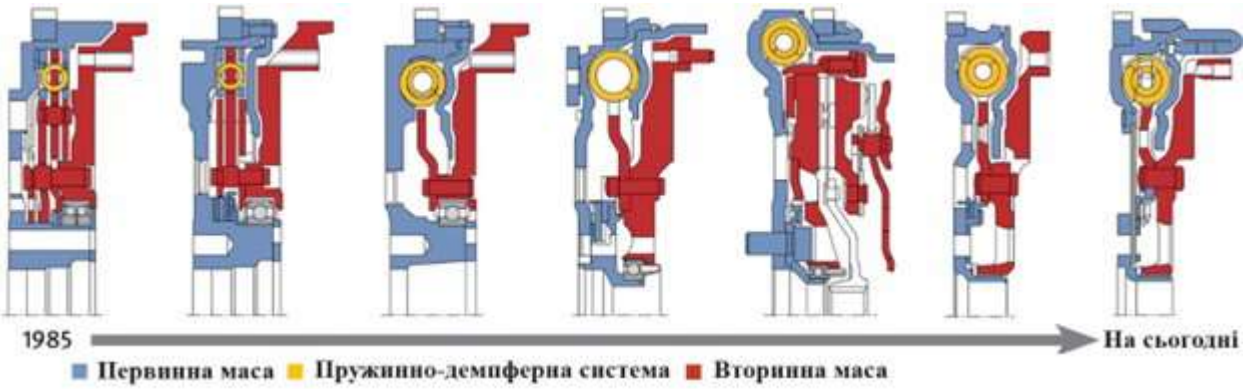


Рисунок 24 – Еволюція дизайну

Основна сторона двомасового маховика (показана синім кольором) складається з сформованих деталей з листового металу, що утворюють канал пружини, і литий маточини (рис.24). Вторинна сторона двомасового маховика (показано червоним кольором) складається з литого диска, на який передається крутний момент від фланця. Вторинна сторона встановлена на первинній стороні над шарикопідшипником. Серцем системи є система дугових пружин.

Гнучкий маховик

Колінчастий вал прогинається під дією високого тиску згоряння всередині циліндрів двигуна. Це призводить до прогину колінчастого валу і розгойдування осі маховика, який закріплений болтами на кінці колінчастого вала (рис.25). Між підшипниками і колінчастим валом виникає механічне напруження, що викликає вібрації. Якщо не фільтрувати, результатом є ревучий шум, створюваний двигуном, осьова вібрація маховика і потенційно підвищена вібрація на важелі зчеплення.

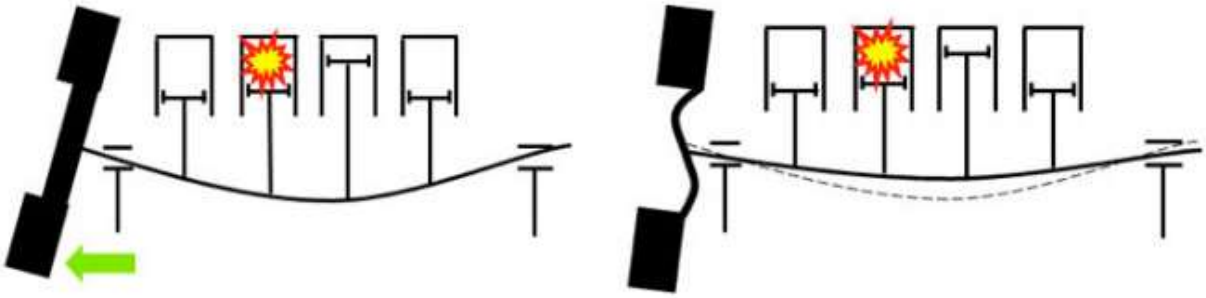


Рисунок 25 – Переваги гнучкого маховика

Гнучкий маховик «фільтрує» осьові коливання, що передаються через колінчастий вал двигуна. Це досягається за рахунок додавання гнучкої пластини з боку двигуна до маси маховика (рис. 26). Деформація колінчастого вала триває, але вона не передається на маховик завдяки гнучкій пластині.

Переваги гнучкого маховика:

-знижений шум двигуна при високих оборотах двигуна;

-зменшене напруга при згині на колінчастому валу;

-знижений рівень вібрації на педалі зчеплення.

а) б)

Рисунок 26 – Гнучкий маховик
а– сторона колінчастого вала, б – сторона зчеплення

1.4 Використання вторинних енергетичних ресурсів в ДВЗ

Використання вторинних енергетичних ресурсів (ВЕР) - один із перспективних напрямів підвищення ефективності енергетичних установок із тепловими двигунами. Потенціал енергозбереження за рахунок використання ВЕР дуже великий і може становити до 40 % від витрати первинних (ПЕР).

Відомо, що з ВГ ДВЗ втрачається до 40% теплової енергії, отриманої від згоряння палива і їх температура може становити близько +350...700°С.

Чимало дослідників визнають, що рекуперація частини теплової енергії ВГ двигуна є однією з найбільш ефективних, що дозволяє знизити загальну питому витрату палива, забезпечуючи при цьому збільшення загальної потужності енергетичної установки і зменшення негативного впливу транспортного засобу на навколишнє середовище. Проведені дослідження [1], показали, що перетворення 6% теплової енергії ВГ в електричну дозволяє скоротити споживання палива до 10%.

Останні технологічні досягнення зробили системи рекуперації ВЕР економічно ефективними, а посилення екологічних та паливно-економічних стандартів до транспортних засобів і необхідними, так як дозволяють підвищити ефективність використання ПЕР транспортним засобом виходячи з його призначення і умов експлуатації.

У ВГ автомобільного ДВЗ міститься багато енергії. Її можна використовувати різними способами для підвищення загальної ефективності енергетичної установки.

Однією з тенденцій найбільш ефективного підходу до зменшення втрат у ДВЗ і як наслідок підвищення його енергоефективності є технології утилізації кінетичної та теплової енергії (WHR - waste heat recovery) відпрацьованих газів.

1.4.1 Рекуперація кінетичної енергії відпрацьованих газів ДВЗ

Можливі варіанти систем рекуперації кінетичної енергії відпрацьованих газів:

-на основі турбокомпресора, що забезпечує наддув (подача повітря під тиском у циліндри);

-на основі турбоелектрогенератора, (генерування електричної енергії);

-на основі турбоелектрокомпресора (електрична машина, може працювати як у моторному режимі, так і в генераторному (генерування електричної енергії)).

Майже всі провідні компанії одночасно зі створенням джерела додаткової енергії завдяки використанню енергії ВГ на основі турбокомпресора і турбоелектрогенератора, ведуть паралельні роботи зі створення турбоелектрокомпресора. Мета цього пристрою - допомогти завдяки електроприводу якнайшвидше розкрутити вал турбокомпресора в режимі розгону автомобіля. Ці два пристрої можуть бути як поєднані в одному пристрої, так і бути окремими системами.

Турбоелектрокомпресор складається з корпусу, турбінного і компресорного колеса, закріплених на спільному валу, та електричної машини, яка може працювати як у моторному режимі, так і в генераторному (рис. 27).

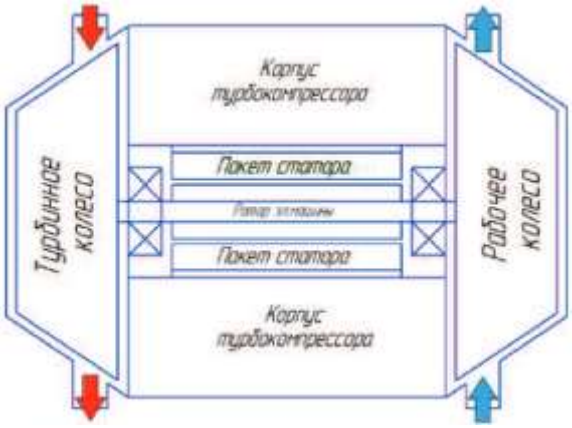


Рисунок 27 - Принципова схема турбоелектрокомпресора: (стрілками вказані напрями повітряних потоків, які здійснюють вплив на лопаті турбокомпресора і турбогенератора)

У турбоелектрокомпресорі завдяки використанню електричної машини (електродвигуна) усунуто основний недолік класичного турбокомпресора, що використовується на автомобілі, а саме нестабільна його робота в різних режимах функціонування двигуна і навантаженнях. Головне завдання електричного двигуна - це за необхідності долучитися до роботи турбокомпресора, що призводить до різкого збільшення частоти вала турбіни і, як наслідок, збільшення повітряної маси, яка надходить до циліндрів ДВЗ.

Турбоелектрокомпресор передбачає два режими роботи.

У першому режимі - за надлишку потужності турбіни над необхідною потужністю компресора, електрична машина працює в режимі генератора,

забезпечуючи відновлення рівня заряду бортової акумуляторної батареї автомобіля та/або за зарядженої АБ підживлює бортову електромережу автомобіля.

У другому режимі - за недостатньої потужності турбіни для роботи компресора, електрична машина працює в режимі мотора, використовуючи електричну енергію штатної АБ, щоб забезпечити необхідну швидкість обертання вала турбокомпресора, і таким чином - необхідну кількість повітряної маси, що надходить у циліндри ДВЗ.

На цей час представлено розробку компанії John Deere (рис. 28).

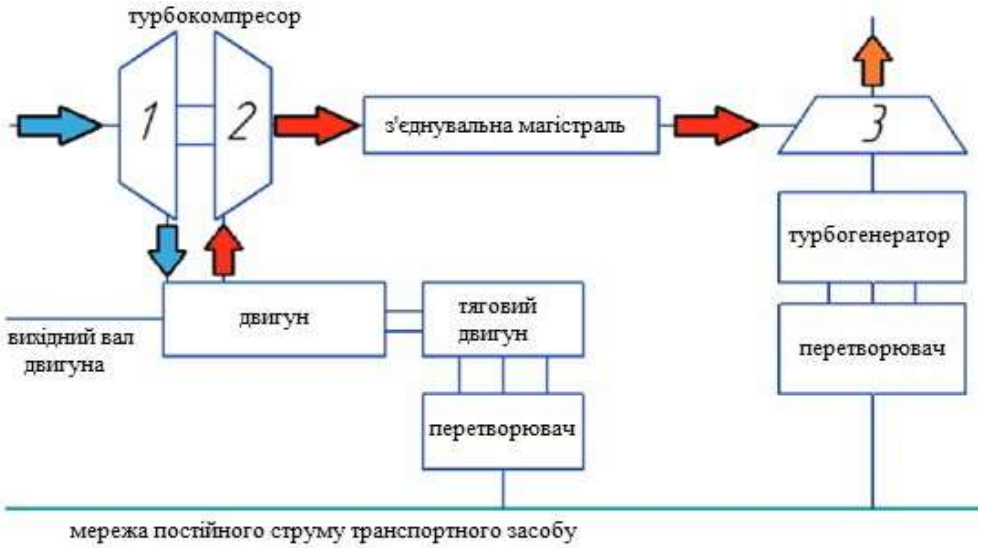


Рисунок 28 – Принципова схема роботи турбоелектрогенератора компанії John Deere: 1-турбінне колесо турбокомпресора; 2-компресорне колесо турбокомпресора; 3-турбінне колесо турбогенератора

Порядок роботи наведеної схеми такий: потік ВГ із ДВЗ забезпечує обертання турбінного колеса турбокомпресора і, відповідно, робочого колеса, що здійснює забір навколишнього повітря для подачі його в циліндри ДВЗ. Далі потік відпрацьованих газів спрямовується з'єднувальною магістраллю на турбінне колесо турбогенератора, яке забезпечує обертання вала ротора генератора.

Приведений в обертання турбогенератор починає генерувати напругу і віддавати її в бортову мережу автомобіля. У цій схемі обрано турбокомпресор зі змінною геометрією сопла для подачі потоку ВГ.

Конструкція досить проста, має високу ефективність, у ній застосовуються відомі технології виробництва комплектуючих турбогенератора, тому його вартість відносно невисока.

Сама компанія *John Deere* виділяє такі головні переваги цієї системи:

-збільшення ефективності використання палива на 10 %;

-збільшення енергопостачання транспортного засобу на 20%.

Іншою перспективною розробкою є пропозиція британської компанії Controlled Power Technologies (CPT).

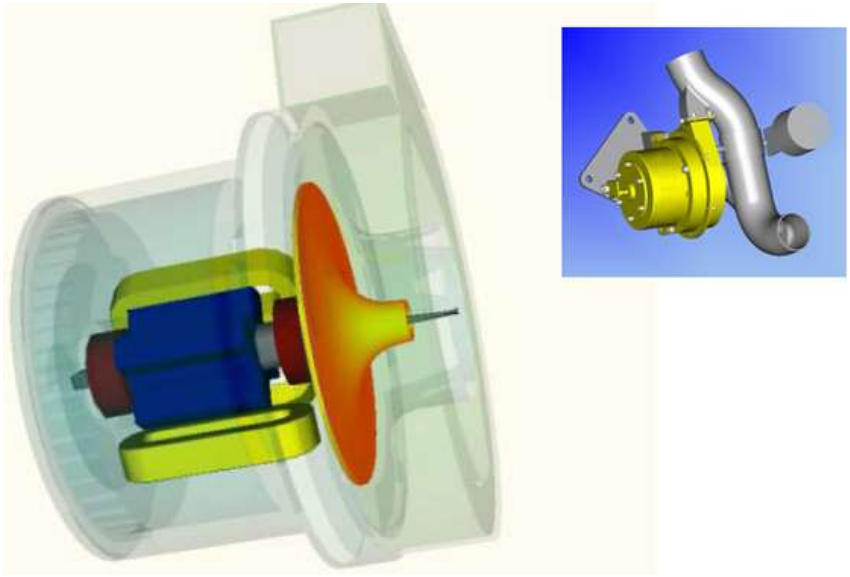


Рисунок 29 – Схема турбогенератора TIGERS

Турбогенератор *TIGERS* (Turbo-generator Integrated Gas Energy Recovery System) - що перетворює кінетичну енергію ВГ ДВЗ в електричну (рис. 29). На думку фахівців, ця розробка має значні перспективи використання на сучасних транспортних засобах і масовому впровадженні в подальшому.

Характеристики турбогенератора *TIGERS*:

-максимальна частота обертання: 80000 хв$^{-1}$;

-максимальна потужність: 6 кВт;

-ефективність роботи при вихідній напрузі 14,6 В: >70%;

-ефективність роботи при вихідній напрузі 340 В: >90%;

-сумарна маса: ~ 10 кг;

-габаритний розмір (довжина): ~ 150 мм;

-спосіб охолодження: охолоджувальна рідина.

Турбогенератор TIGERS здатний працювати за температури відпрацьованих газів понад +900º С. Конструктивно турбогенератор складається з турбінного колеса, якоря генератора, встановленого на валу з турбінним колесом, статора, перепускного клапана. Перепускний клапан отримує сигнали управління від своєї електронної системи (блоку), який своєю чергою отримує інформацію від блоку управління двигуном, з метою подачі на турбінне колесо необхідного потоку відпрацьованих газів і найбільш ефективної та безпечної роботи турбогенератора.

Загальні переваги турбогенератора TIGERS:

-компактність пристрою (довжина ~ 150 мм);

-генерована потужність 4,2 кВт при вихідній напрузі 14,6 В;

-можливість встановлення в будь-якому місці випускної системи транспортного засобу;

-повністю керований турбогенератор завдяки перепускному клапану, що розділяє і подає на лопаті турбінного колеса необхідну кількість потоку ВГ за різних режимів роботи двигуна і навантажень.

Розробка систем рекуперації кінетичної енергії ВГ компанії CPT, на відміну від системи рекуперації компанії John Deere, розраховані на установку на легкових автомобілях, тоді як John Deere на великогабаритний транспорт, вантажівки, спеціалізований транспорт і сільськогосподарську техніку.

Використання турбоелектрокомпресора і систем регенерації кінетичної та/або теплової енергії ВГ - це ефективний спосіб підвищити енергоефективність традиційної енергетичної установки (ДВЗ) і можливість скоротити витрату палива в середньому на 10…15 % в залежності від типу двигуна і палива. З урахуванням прогнозів фахівців про використання ДВЗ ще щонайменше років двадцять, використання вторинних енергетичних ресурсів відпрацьованих газів є актуальним як з економічної, так і екологічної.

1.4.2 Рекуперація теплової енергії відпрацьованих газів ДВЗ

Рекуперація теплової енергії ВГ двигуна вважається одним з найбільш ефективних засобів підвищення енергоефективності силової установки і може бути досягнута за допомогою численних методів [2 - 11]. Теплова енергія може бути повторно використана в одному і тому ж процесі або передана іншому тепловому, електричному або механічному процесу.

Теплова енергія ВГ може бути використана для вироблення електроенергії з використанням пристроїв, які безпосередньо перетворюють теплову енергію в електричну – термоелектричний генератор (ТЕГ), або проміжних пристроїв – які функціонують за циклами Ренкіна та Стірлінга.

Можливі варіанти систем рекуперації теплової енергії ВГ:

-на основі паротурбінної енергетичної установки, що застосовує цикл Ренкіна (Rankine cycle) для нагріву рідини, (генерування електричної енергії);

-на основі двигуна, що застосовує цикл Стірлінга для нагріву стінки теплообмінника, (створення електричної енергії).

-на основі термоелектричного генератора (принцип роботи ґрунтується на ефекті Зеєбека (Seebeck Effect)) для безпосереднього генерування електричної енергії.

-на основі теплового акумулятора з подальшою рекуперацією теплової енергії, наприклад, для передпускової підготовки холодного ДВЗ, підігріву повітря на впуску, обігріву салону автомобіля тощо. Для цього потрібен теплоізольований бокс для речовини, яка забезпечує зберігання теплової енергії тривалий час.

1.4.3 Пристрої, що безпосередньо перетворюють теплову енергію в електричну.

Методи прямого перетворення теплової енергії в електричну дозволяють отримувати електричну енергію, минаючи проміжну стадію – перетворення її в механічну роботу, тим самим спрощуючи конструкцію і

розширюючи функціональні можливості установки.Генерування електричної енергії можливо утилізацією теплової енергії ВГ, за допомогою термоелектричних генераторів (ТЕГ).Принцип функціонування ТЕГ ґрунтується на ефекті Зеєбека – перетворенні теплової енергії в електричну, що полягає у виникненні електрорушійної сили при наявності різниці температур в контактах замкнутого електричного ланцюга, що складається з різнорідних провідників. Генератор представляє собою пристрій, що включає в себе: теплоприймач, термоелектричний модуль і радіатор (рис. 30). Випускний трубопровід містить модулі (рис. 31) з термоелектричним матеріалом, які генерують постійний струм. При нагріванні одного боку термоелектричного модуля (ТЕМ) і охолодженні іншого боку, на контактах виникає напруга (ЕРС).

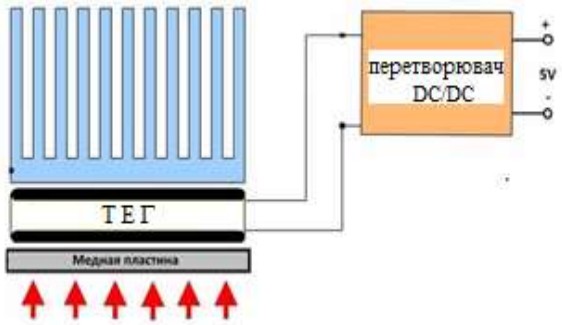


Рисунок 30 – Схема загального вигляду пристрою з термоелектричним генератором

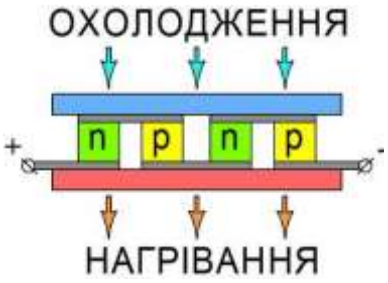


Рисунок 31 – Термоелектричний генераторний модуль в розрізі

Термоелектричні генератори є перспективною галуззю розвитку енергоефективних технологій на автомобільному транспорті. Разом з ростом коефіцієнта термоелектричної добротності, зростанням коефіцієнта корисної дії і зниженням питомої вартості за кВт встановленої потужності, термоелектричні генератори будуть знаходити застосування в серійних автомобілях.В недалекому майбутньому з розробкою нових напівпровідникових матеріалів його розраховують підняти до 20% і більше. Концерн BMW має намір вже найближчими роками почати використовувати ТЕГ при створенні серійного гібридного автомобіля.

Переваги:

-відсутність рухомих частин та складних механічних деталей;
-відсутність необхідності застосування рідин і газів під високим тиском;
-безшумність роботи;
-тривалий ресурс роботи без обслуговування;
-компактність та просте управління.

Недоліки:

-ефективність перетворення теплової енергії в електричну досить низька і становить близько 2...8%;
-висока вартість пристрою.

Пристрої, що перетворюють теплову енергію в механічну.

Рекуперація теплової енергії ВГ і перетворення її в механічну роботу можливі за допомогою термодинамічних циклів Ренкіна і Стірлінга. Дослідження пристрою для рекуперації теплової енергії ВГ, заснованого на

циклі Ренкіна, для двигуна вантажного автомобіля, показали, що цей пристрій може поліпшити паливну економічність на 12,5%. Проведені компанією Cummins дослідження також показали, що теплова ефективність двигуна вантажного автомобіля може покращитися на 5,4% за рахунок рекуперації теплової енергії ВГ. Компанією BMW була проведена робота по застосуванню парового циклу Ренкіна для збільшення ефективності ДВЗ, однак замість генератора був встановлений модуль, який передавав потужність на колінчастий вал. За даними BMW така система дозволяє знизити витрату палива до 15%.

На рисунку 32 приведена схема перетворювача теплової енергії ВГ в електричну, що об'єднує паросилову установку і генератор. Система заснована на генерації пари з використанням теплової енергії ВГ для отримання механічної енергії в результаті розширення пари. При розширенні в сопловому апараті пара набуває значної кінетичну енергію, яка в роторі турбіни перетворюється в механічну роботу. Механічна енергія турбіни перетворюється в електрогенераторі в електричну енергію. Після турбіни пара надходить в конденсатор, який представляє собою теплообмінник, в трубах якого циркулює вода, яка охолоджує пару.

З метою збільшення ефективності утилізації теплової енергії ВГ рядом авторів запропоновано використання органічного циклу Ренкіна. Органічний цикл Ренкіна - це технологія утилізації теплової енергії для виробництва електроенергії по замкнутому паровому циклу Ренкіна. Замість водяної пари застосовується органічна речовина.

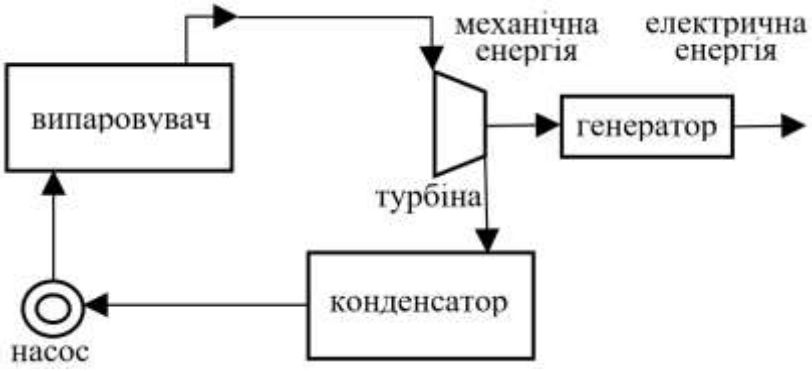


Рисунок 32 – Схема перетворювача теплової енергії ВГ в електричну, що об'єднує паросилову установку і генератор

Використання органічного циклу забезпечує наступні переваги:

- високий загальний ККД турбіни (до 85%);
- низькі механічні навантаження на турбіну через низьку швидкості обертання турбіни, що дозволяє застосувати пряме з'єднання з генератором;
- відсутність корозії в зв'язку з використання неагресивних органічних рідин;
- можлива експлуатація при низьких температурах навколишнього повітря;
- низький рівень шуму і тривалий термін роботи.

За результатами аналізу пристроїв для рекуперації теплою енергії ВГ, заснованих на циклі Стирлінга, найбільш перспективним представляється

застосування системи, яка складається з вільно-поршневого двигуна Стірлінга і лінійного генератора з постійним магнітом (рис. 33). У таких системах теплова енергія ВГ перетворюється в механічну двигуном Стірлінга, а лінійний генератор перетворює механічну енергію в електричну. Генератор може бути підключений до електричної мережі автомобіля або навантаженні за допомогою електричного перетворювача. Використання лінійного генератора замість традиційних систем перетворення механічної енергії в електричну дозволяє отримати деякі переваги: підвищення надійності системи, зниження шуму і вартості системи, що призводить до підвищення ефективності системи в цілому.

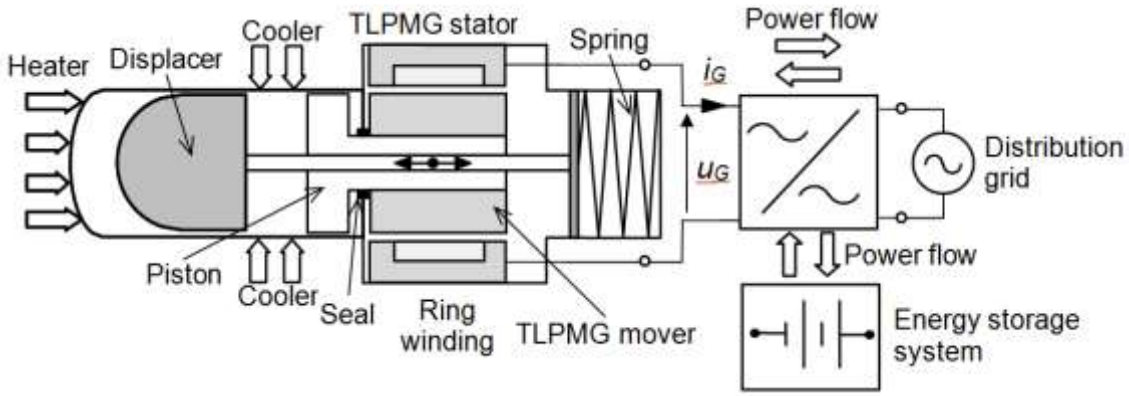


Рисунок 33 – Схема вільно-поршневого перетворювача енергії, що об'єднує двигун Стірлінга і однофазний TLPMG

Пряме використання теплової енергії відпрацьованих газів.

В умовах низьких температур навколишнього повітря теплова енергія може бути використана, наприклад, для обігріву салона автомобіля, акумуляторної батареї, підігріву повітря на впуску, палива та ін. Більшість систем рекуперації теплової енергії побудовані на основі теплових акумуляторів (ТА) з різними способами передачі теплоти без її перетворення. Такі системи, мають відносно низьку питому собівартість, здатні тривалий час зберігати накопичену теплову енергію і не створюють додатковий аеродинамічний опір в системі випускному ВГ. На сьогоднішній день розроблена і випробувана досить велика кількість технічних рішень у цьому напрямку, створено багато різноманітних нових типів і конструкцій ТА. Перспективним напрямом у галузі створення енергоємних ТА є використання в ТА теплоакумулюючого матеріалу (ТАМ), якій здатен акумулювати частину теплової енергії ВГ з метою подальшої її передачі споживачеві. ТА, який має ТАМ з фазовим переходом (ТАФП), порівняно з традиційними теплоємнісними, має високу щільність акумульованої енергії за рахунок використання прихованої теплоти фазового переходу. (рис. 34, рис. 35).

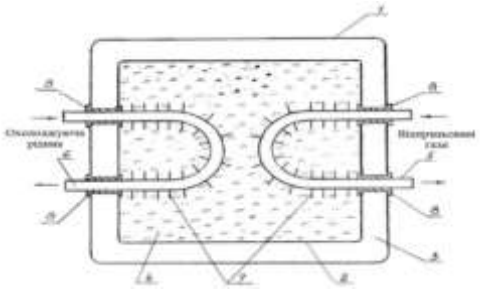


Рисунок 34 – Система передпускової теплової підготовки двигуна з ТАФП

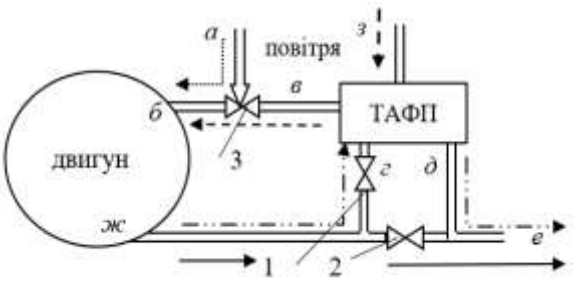


Рисунок 35 – Схема функціонування системи підігріву повітря на впуску з ТАПФ

Переваги прямого використання теплової енергії ВГ:

1. Рекуперація теплової енергії ВГ прямим її використанням через ТА не вимагає внесення суттєвих конструктивних змін в системи та механізми двигуна;
2. Не погіршує аеродинамічний опір у впускному та випускному колекторах;
3. Не вимагає залучення фахівців при проведенні робіт з технічного обслуговування ТА;
4. Простота конструкції системи рекуперації не погіршує надійність транспортного засобу.

Виходячи з аналізу сучасних науково-технічних джерел можна зробити наступні висновки:

1. Існує великий потенціал для поліпшення паливної економічності і екологічних показників ДВЗ за рахунок використання технологій утилізації частини теплової енергії ВГ.

3. Генератори, що використовують прямий метод перетворення теплової енергії в електричну, мають на теперішний час високу вартість і досить низьку ефективність, але в найближчому майбутньому ефективність може бути збільшена за рахунок використання нових технологій, що дозволить, враховуючи мали масогабаритні характеристики та простоту обслуговування стати досить ефективним та безальтернативним технологічним рішенням отримання електричної енергії на борту транспортного засобу.

4. Застосування систем, що працюють за циклом Ренкіна, для рекуперації теплової енергії ВГ двигуна утрудняється складністю конструкції, великими розмірами основних вузлів, а також через непридатність застосування в якості робочого тіла води в районах з низькими температурами навколишнього повітря.

5. Застосування двигуна Стірлінга для рекуперації теплової енергії ВГ двигуна, незважаючи на досить високу ефективність, ускладняється великою металоємністю, масогабаритними характеристиками, високою вартістю ущільнюючих елементів і робочого тіла та системи контролю та безпеки.

Питання для самоконтролю

1.Назвати основні конструктивні зміни в сучасних ДВЗ.

2. Пояснити, в чому суть регулювання робочого об’єму двигуна.

3.Назвати типи маховиків.

4. Що таке одномасові маховики

5.Будова і принцип роботи двомасового маховика.

6.Назвати вторинні енергоресурси для ДВЗ.

7. Що таке рекуперація кінетичної енергії відпрацьованих газів ДВЗ.

8. Способи рекуперації теплової енергії відпрацьованих газів ДВЗ.

2. АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ, ПРИНЦИПИ ВИКОРИСТАННЯ, ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ, ПРИКЛАДИ ЗАСТОСУВАННЯ

Енергетична безпека держави – це розвиток нетрадиційних джерел енергії. Задача економії невідновлювальних ресурсів в теперішній час стоїть дуже гостро. Тому пошук та застосування нових джерел енергії є ключовим питанням сучасної науки.

Транспорт став невід'ємною частиною сучасного життя і одним з ключових секторів з точки зору споживання енергії. Нестабільність світових цін на викопне паливо, скорочення його запасів, проблеми з транспортуванням змушують шукати альтернативні види палива. Застосування альтернативних видів палив повинно знижувати екологічний збиток, що наноситься навколишньому середовищу, який пов'язаний з застосуванням викопних палив. Розвиток ринку альтернативних видів палива має знизити залежність України від нафти та сприяти економічному зростанню та скороченню викидів парникових газів на транспорті. Зниження впливу автомобільного транспорту на забруднення атмосферного повітря є одним з найважливіших пріоритетів державної політики в галузі автомобільного транспорту.

Історія використання сучасних транспортних засобів налічує понад 130 років, а основним джерелом енергії було викопне паливо. Відтоді час від часу винахідники та дослідники з різних причин намагалися замінити викопне паливо альтернативним, наприклад, етанолом. Але вони не досягли особливого успіху через менш розвинені технології та відсутність великих проблем із забрудненням повітря та викидами парникових газів (порівняно з сьогоднішніми) як мотиваторів у той період, тому викопне паливо залишалося основним джерелом. Хоча останніми десятиліттями світ потерпає від забруднення повітря та глобального потепління, зокрема й через спалювання викопного палива. Крім того, технології, доступні в останні роки для виробництва двигунів транспортних засобів (ТЗ), є більш розвиненими, ніж раніше (130 років тому), що спричиняє створення різних типів двигунів ТЗ таких як: газові, електричні, гібридні електричні транспортні засоби, транспортні засоби на паливних елементах, багатопаливні тощо.

Тривалий час світовим паливно-енергетичним комплексом використовувалися енергоносії переважно нафтового походження. Однак в останні роки намітилася тенденція до зниження ролі нафти і нафтопродуктів у світовій економіці, що показує світова динаміка споживання первинної енергії. Якщо в 1979 році на долю нафти приходилося близько 50% усіх споживаних енергоносіїв, то в даний час її частка складає лише близько 35% і її відносне споживання продовжує неухильно скорочуватися. Це пояснюється зниженням темпів росту видобутку нафти, викликаним виробленням великих родовищ, незначним введенням в експлуатацію нових родовищ, помітним скороченням інвестицій у пошуково-розвідувальні роботи. Поряд зі зменшенням світових запасів нафти спостерігається

тенденція повсюдного підвищення цін на нафту і нафтові палива. Усе це створює передумови до більш широкого використання інших енергетичних ресурсів. Тенденція розвитку світового і вітчизняного автомобільного парку призводить до необхідності збільшення виробництва моторних палив. Таким чином, нафтопереробна промисловість розвивається в напрямку збільшення вироблення світлих нафтопродуктів (бензинів, керосинів, дизельних і реактивних палив). Безперебійну і мобільну роботу ДВЗ в умовах дефіциту того або іншого виду палива дозволяє забезпечити розробка і впровадження так званих «багатопаливних» двигунів, що працюють на різних нафтових паливах, а також заміна нафтових палив альтернативними.

В наслідок зазначених вище факторів перехід частини вітчизняного автомобільного парку на палива, одержувані з альтернативних сировинних ресурсів, стає неминучим. Один з радикальних шляхів зниження споживання рідкого палива полягає в розширенні використання нетрадиційних (альтернативних) енергоносіїв і палив на їхній основі, створенні й експлуатації енергосилових установок автотранспорту, призначених для роботи на них, що багато в чому вирішує екологічну проблему транспортної енергетики.

Шляхи вирішення проблеми енергозбереження та екологічної безпеки на транспорті, окреслені перспективні альтернативні напрямки (рис. 36), розгляд яких проводиться в даному дослідженні

Рисунок 36 – Перспективні напрями вдосконалення автомобільних енергоустановок

2.1 Альтернативне автомобільне паливо

Розв'язання енергетичної проблеми автомобільного транспорту можливе в першу чергу шляхом використання альтернативних видів палива, які повинні мати доступну вартість для масового споживача та базуватись на достатніх сировинних ресурсах.

Альтернативне паливо – це рідке та газове паливо, яке є альтернативою (заміною) відповідним традиційним видам палива і яке виробляється (видобувається) з нетрадиційних джерел та видів енергетичної сировини, згідно з Законом України.

Паливо визначається альтернативним, якщо воно:

-повністю виготовлене (видобуте) з нетрадиційних джерел і видів енергетичної сировини;

-є сумішшю альтернативного і традиційного видів палива в пропорціях, встановлених відповідно до державних стандартів;

-виготовлене (видобуте) з нафтових, газових, нафтогазоконденсатних родовищ непромислового значення, вичерпаних родовищ, з важких сортів нафти тощо і за своїми ознаками відрізняється від вимог до традиційного виду палива.

Альтернативні палива можуть бути підрозділені на три групи:

-*комерційні* (що застосовуються в даний час і мають подальшу перспективу їхнього використання) - компримірований стиснутий природний газ (метан), газ зріджений нафтовий (пропан-бутанова суміш), спирти як добавки до бензинів;

-*перспективні* - зріджений природний газ (метан), водень, спиртові палива, біогаз;

-*проблемні* - водобензинові емульсії, етери, металосуспензії.

Впровадження альтернативних палив досить тривалий процес і варто починати його поступово, відпрацьовуючи окремі технології на базі пілотних проектів. Сьогодні в світі найуспішніше реалізуються пілотні проекти з використання природного газу, водню і біопалива.

Пріоритетність того чи іншого не нафтового палива, як альтернативного, ще довгий час залишатиметься дискусійним питанням. З розширенням доступності альтернативних палив для споживача, розвитком їхньої інфраструктури, дедалі більшої актуальності в перехідному періоді набуватиме проблема багатопаливності, тобто можливості роботи двигуна на різних видах як традиційних, так і альтернативних палив.

Питання застосування альтернативних палив на транспорті є стратегічними й успішно вирішуються багатьма країнами у світі, оскільки дозволяють:

-розширити енергетичну базу;

-знизити залежність від стану природних ресурсів (у тому числі нафти) і коливань цін на них;

-зменшити забруднення навколишнього середовища.

Усі закордонні досягнення в області використання альтернативних палив базуються на довгостроковій стратегії впровадження альтернативних енергоносіїв на транспорті і чіткій законодавчій базі, що не тільки визначає екологічні вимоги, але і стимулює їхнє застосування.

Таким чином, необхідне створення, розвиток і впровадження нових прогресивних технологій, що забезпечують зниження споживання моторних палив нафтового походження, а також зменшення викидів забруднювальних речовин і парникових газів від автотранспорту в навколишнє середовище.

Впровадження на автотранспорті екологічно безпечних видів палива, таких як: *водень, біогаз, етанол, диметиловий ефір, зріджений природний газ зріджений вуглеводневий газ (пропан-бутанові суміші)* дозволяють значно скоротити викиди забруднювальних речовин.

В додатку Б представлені основні переваги і недоліки альтернативних палив в порівнянні з бензиновим і дизельним паливами.

Питання *застосування альтернативних палив на транспорті* є стратегічними й успішно вирішуються багатьма країнами у світі, оскільки дозволяють розширити енергетичну базу, знизити залежність від стану природних ресурсів (у тому числі нафти) і коливань цін на них, зменшити забруднення навколишнього середовища.

В теперішній час викопне паливо як і раніше забезпечує понад 80% світового попиту на енергію. Однак після їх інтенсивного використання протягом останніх двох століть запаси викопного палива (вугілля, нафти та природного газу) скорочуються, особливо якщо врахувати безперервне зростання світового попиту на енергію, зокрема в країнах, що розвиваються. Крім того, викопні види палива роблять значний вплив на забруднення навколишнього середовища як на місцевому (викиди CO, NO_x, SO_x та твердих частинок), так і на глобальному рівнях (через їх великих викидів CO_2 з подальшим парниковим ефектом). Для вирішення цих енергетичних та екологічних проблем просуванням сталий рішень, серед яких альтернативні палива для заміни традиційних викопних видів палива, є важливим кроком на майбутнє.

Традиційне паливо (нафтопродукти - бензини і дизельні палива). До середини 1990-х рр. частка нафтопродуктів по країнах Європейського Союзу становила понад 98%. Основне скорочення частки нафтопродуктів у структурі енергоносіїв відбувалося з середини 2000-х рр. У результаті частка нафтопродуктів у структурі енергоносіїв на транспорті в країнах Європейського Союзу скоротилася з 98 до трохи більше ніж 90%.

Нафтовий газ

Використання пропан-бутанової суміші в Європі на транспорті відносно поширене. Це дає змогу здійснювати значне скорочення викидів CO_2. Надалі, враховуючи значні екологічні, економічні та геополітичні обмеження для нарощування традиційних видів енергоносіїв на транспорті, роль пропан-бутанових сумішей на транспорті має зростати.

Однак зростання буде обмежене перспективами розвитку світового та європейського нафтового виробництва, оскільки ЗНГ - продукт нафтопереробної промисловості.

Зріджений нафтовий газ (ЗНГ) є зріджена газова суміш низького тиску, що складається в основному з пропану і бутану. Особливістю цих газів (пропану і бутану) є те, що вони зріджуються вже при тиску в 10…12 атм. Суміш 2,5 рази важча за повітря, а при незначному збільшенні тиску — переходить в рідкий стан. Використовується у звичайних бензинових двигунах внутрішнього згорання. Емісія CO_2 є нижчою, ніж у бензину. На бензиновий автомобіль може бути встановлена установка на ЗНГ, і автомобіль може стати двопаливним при збереженні бензобаку. Можливе перемикання між ЗНГ і бензином під час роботи.

Пропан і бутан, які містяться у нафтових і природних газах, можуть

отримуватись також і в процесі гідрування вугілля

Природний газ

Споживання природного газу на транспорті в Європі відносно невелике. У деяких країнах Європи передбачається перевести на природний газ до 10% автомобільного транспорту до 2025 року. Стимулами впровадження природного газу, як автомобільного палива, є зниження забруднювальних викидів у навколишнє середовище, підтримка уряду і вартість експлуатації автомобілів, що працюють на природному газі.

Природний газ, як паливо для транспортного засобу, буває двох видів:

-стиснений природний газ - СПГ (*CNG - compressed natural gas*);

-зріджений природний газ – ЗПГ *(LNG - liquefied natural gas)*.

Стиснений природний газ (*CNG*) — це паливний газ, який в основному складається з метану (CH_4), стисненого до менш ніж 1% об'єму, який він займає за стандартного атмосферного тиску. Його зберігають і розповсюджують у жорстких контейнерах під тиском 20…25 МПа, зазвичай у циліндричній або сферичній формі.

СПГ можна використовувати замість бензину, дизельного палива та зрідженого нафтового газу (LPG). У порівнянні з іншими видами палива, природний газ становить меншу загрозу у випадку розливу, оскільки він легший за повітря та швидко розсіюється при викиді.

Зріджений природний газ (*LNG*) — це природний газ (переважно метан CH_4, з деякою сумішшю етану C_2H_6), охолоджений до рідкого стану для зручності та безпеки зберігання або транспортування без тиску. Він займає приблизно 1/600 об'єму природного газу в газоподібному стані за стандартних умов температури та тиску (тиск близько 1 атм (0,101 МПа), 293 K (20 °C) і 0% вологості).

ЗПГ —зазвичай використовується для транспортних засобів середньої та важкої вантажопідйомності, які подорожують на великі відстані.

Зберігання природного газу також може бути незручним і дорогим. З точкою кипіння, яка значно нижча кімнатної температури, його потрібно зберігати у вакуумних кріогенних резервуарах.

Сучасні тенденції в паливній промисловості, такі як посилення екологічних вимог до палив, зростання обсягів споживання високооктанових бензинів, підвищення собівартості видобутку нафти, погіршення якості видобутої нафти і, як наслідок, подорожчання її переробки призводять до необхідності перегляду традиційних підходів до виробництва моторних палив. В першу чергу це стосується отримання високооктанових бензинів та використання палив і їх компонентів альтернативних нафтовим.

2.2 Біопаливо

Значне скорочення частки нафтопродуктів у структурі енергоспоживання на транспорті пов'язане насамперед із нарощуванням споживання біопалива.

Однак необхідно зазначити, що виробництво біопалива є економічно

доцільним лише в умовах субсидування або високих цін на нафту.

Міжнародна енергетична асоціація (ЕА) прогнозує, що до 2030 р. світове виробництво біопалива збільшиться до 150 млн.т. енергетичного еквівалента нафти. Щорічні темпи приросту виробництва складуть 7…9%. У результаті до 2030 р. частка біопалива в загальному обсязі палива в транспортній сфері світу досягне 4…6%. Рідкі види біопалива, які виготовляють із біомаси для використання в автомобільних двигунах, поділяють на 1-е, 2-е і 3-є покоління. 2-е і 3-є покоління називають також «просунутим» біопаливом:

-біопалива 1-го покоління виробляють із їстівних компонентів рослинної сировини, зокрема із зерна кукурудзи, цукрової тростини, бульби маніоки і т.д. або пальмової, рапсової, соняшникової та соєвої олії. На жаль, сьогодні у виробництві біопалива використовують рослини, відібрані шляхом тривалої селекції для виготовлення продуктів харчування чи кормів. Найпоширенішими видами біопалива 1-го покоління є біоетанол (80% від загального виробництва рідкого біопалива), біодизель, рослинні олії та біогаз;

-біопалива 2-го покоління використовують неїстівні залишки рослинної сировини (стебла пшениці, кукурудзи, деревину тощо) чи непродовольчі рослини. До них відносять так звані «енергетичні» культури: швидкоростучі багаторічні трави (наприклад, міскантус, деякі сорти проса тощо) чи дерева (верба, тополя та інші). Рідке біопаливо 2-го покоління виробляють способом термохімічної конверсії біомаси (біодизель) або бродіння (біоетанол із целюлозовмісної сировини). Здійснюється виробництво багатьох видів біопалива 2-го покоління, зокрема, біоводень, біометанол, диметилфуран, біодиметиловий ефір, суміш спиртів, біодизель;

-біопалива 3-го покоління, виготовляються з водоростей, перероблення яких дасть змогу отримати різні види палива з накопиченої біомаси (рис. 37).

Біоенергетичний потенціал мікроводоростей.

На думку фахівців, 3-є покоління біопалива вироблятимуть з водоростей. Їхню біомасу можна успішно переробляти за допомогою кожного з відомих способів. Особливість мікроводоростей у тому, що деякі їхні види здатні екскретувати цукри, вуглеводні або етанол назовні, у культуральне середовище, тобто енергетичні речовини можна отримати без порушення рослинних культур.

Вуглеводні мікроводоростей — приваблива альтернативна сировина для виробництва етанолу, оскільки вони не конкурують із поживним крохмалем або цукрами на продовольчому ринку.

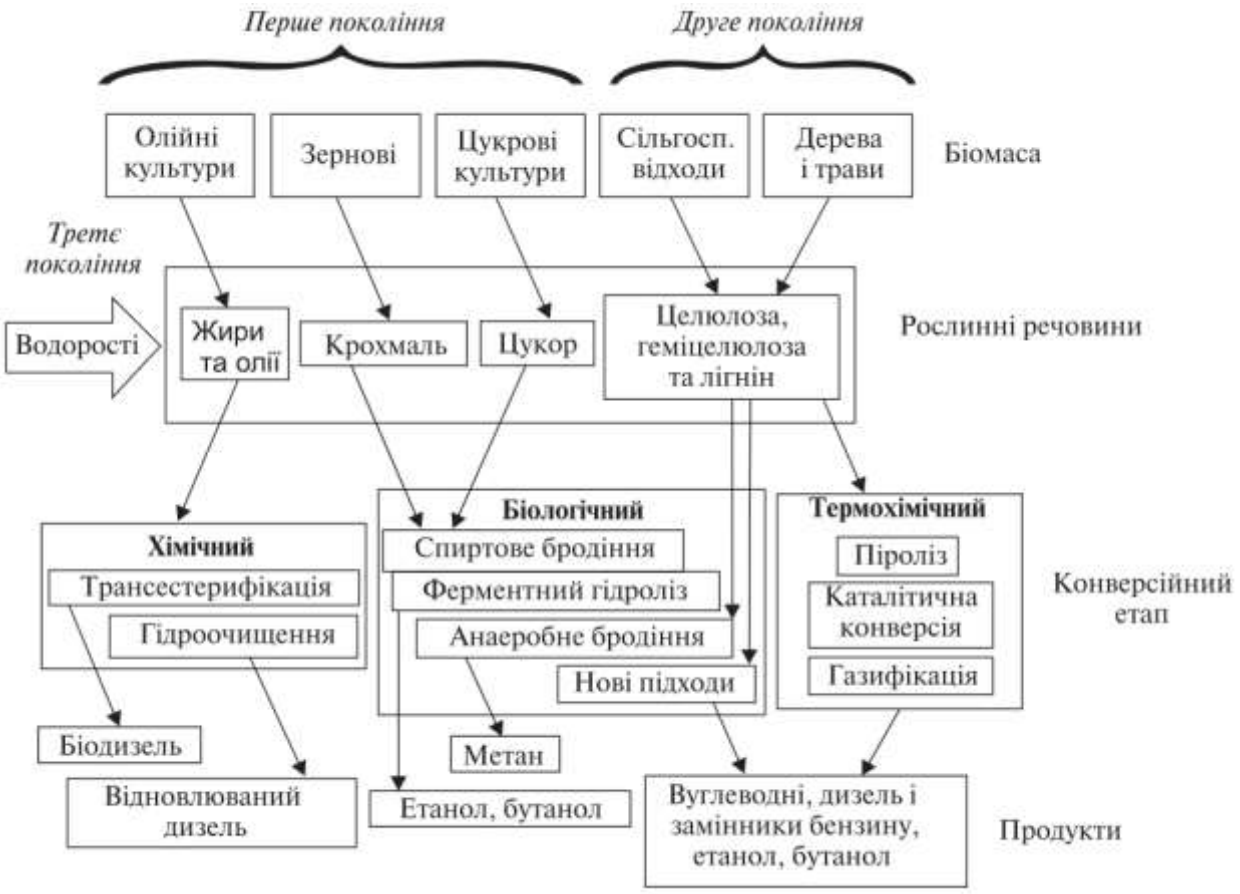


Рисунок 37 – Шляхи конверсії біомаси біопалива першого, другого і третього поколінь

Мікроводорість Botryococcus braunii Kütz — продуцент вуглеводнів

Дуже перспективним продуцентом поновлюваного джерела енергії — рідких вуглеводнів — є зелена колоніальна водорість Botryococcus braunii, вивченню якої протягом останніх десятиріч приділяють велику увагу. B. braunii поширена в прісних і солонуватих водах помірних і тропічних зон, містить близько 75% вуглеводнів від маси сухої речовини залежно від умов росту і різновидів водорості. Вуглеводні накопичуються всередині клітин, і водорості з великим їх вмістом спливають на поверхню водойм. Після збирання водоростей ці вуглеводні легко відділити способом екстракції будь-яким органічним розчинником або методом деструктивного відгону. Таким способом можна отримати речовину, що близька за своїм складом до дизельного палива і гасу. Вихід вуглеводнів за оптимальних умов культивування може досягати 60 т/га на рік.

Продукування етанолу живими мікроводоростями

Деякі мікроводорості здатні виробляти етанол, екскретуючи його назовні в культуральне середовище, звідки його можна зібрати, не пошкоджуючи тієї чи іншої рослинної культури. Таким чином, фотосинтетична акумуляція сонячної енергії, депонування CO_2 і продукування етанолу відбуваються під час одного процесу.

Біодизель із мікроводоростей

Через високий вміст ліпідів багато видів мікроводоростей можуть стати перспективним джерелом сировини для виробництва біодизелю. Це підтверджено даними про те, що з 1 га землі можна отримати 446 л соєвої олії або 2690 л пальмової, а з такої ж площі водної поверхні — близько 90000 л біодизеля.

Розрізняють для двигунів внутрішнього згорання:

-рідке біопаливо (етанол, метанол, пропанол, бутанол, біодизель)

-газоподібне біопаливо (біометан, деревний газ, диметиловий етер водень, аміак).

2.2.1 Рідке біопаливо

Родина спиртів включає:

-*метанол* (1 атом вуглецю — CH_3OH);
-*етанол* (2 атоми вуглецю — C_2H_5OH);
-*пропанол* (3 атоми вуглецю — C_3H_7OH);
-*бутанол* (4 атоми вуглецю — C_4H_9OH).

Метанол

Промислове культивування та біотехнологічну конверсію морського фітопланктону (мікроводоростей) розглядають як один із найперспективніших напрямів у галузі отримання біопалива.Наприкінці XX століття низка європейських країн спільно розробляла проект, орієнтований на створення промислових систем із використанням прибережних пустельних районів. Здійсненню цього проекту завадило загальносвітове зниження цін на нафту.Первинне виробництво біомаси здійснюється методом культивування фітопланктону в штучних водоймах, що створюються на морському узбережжі.Вторинні процеси являють собою метанове бродіння біомаси і подальше гідроксилювання метану з отриманням метанолу.

Основними доводами на користь використання мікроскопічних водоростей є такі:

-висока продуктивність фітопланктону (до 100 т/га на рік);

-у виробництві не використовуються ні родючі ґрунти, ні прісна вода;

-процес не конкурує із сільськогосподарським виробництвом;

-висока енерговіддача процесу на стадії отримання метану і на стадії отримання метанолу.

Етанол

Етанол - звичайний етанол, одержуваний у процесі переробки рослинної сировини для використання як біопаливо.

Етанол, паливо на спиртовій основі, виготовляється з відновлюваних матеріалів – кукурудза, ячмінь і пшениця. Сьогодні використовується кілька сумішей етанолу, але найпоширенішим є E10 (10% етанолу та 90% бензину). Інші суміші включають E15, який використовується в моделях, вироблених з 2001 року, і E85, «гнучке паливо», яке використовується в транспортних

засобах, які можуть працювати не тільки на бензині, а й на суміші 15% бензину і до 85% етанолу. Як і біодизель, культури, які використовуються для виробництва етанолу, компенсують будь-який CO_2 , який виділяється в процесі згорання. У результаті етанол може покращити якість повітря, зменшивши кількість забруднювальних речовин, які потрапляють в атмосферу. Однак виробництво етанолу є енергоємним. Під час цього процесу ресурси виснажуються, що негативно впливає на ціни та доступність продуктів харчування, а також з'являється більше можливостей для викидів CO_2. З точки зору економії палива (співвідношення між пройденою відстанню та паливом, спожитим транспортним засобом), етанол містить приблизно на третину менше енергії, ніж бензин, тобто транспортний засіб зазвичай проїжджає менше км на літр, ніж якби він використовував чистий бензин.Перший комерційний автомобіль, який використовує етанол як паливо був Ford Model T, що виготовлявся з 1908 по 1927 рік (рис. 38).

Рисунок 38 – Ford Model T Touring 1925 року

Він був оснащений карбюратором, що дозволяв використовувати бензин або етанол, або їх комбінацію.

Пропанол

Пропанол (пропіловий спирт) C_3H_7OH — одноатомний первинний спирт, безбарвна рідина з характерним спиртовим запахом. Іноді спирт називається просто пропанол, що не вірно, оскільки існує ізомерний ізопропіловий спирт.Пропанол має високе октанове число (118). Однак через високу вартість виробництва і низьку енергетичну цінність він широко не використовується, як паливо.

Бутанол

Бутанол (бутиловий спирт) C_4H_9OH — безбарвна рідина з характерним запахом сивушної олії.

Відомі:

-нормальний первинний бутиловий спирт $CH_3(CH_2)_3OH$;

-нормальний вторинний бутиловий спирт $CH_3CH_2CH(OH)CH_3$, ;

-ізобутиловий спирт $(CH_3)_2CHCH_2OH$, ;

-триметилкарбінол $(CH_3)_3COH$. Отруйний.

Під терміном «біобутанол» розуміють бутиловий спирт (бутанол), отриманий із рослинної сировини.

Сировина для виробництва бутанолу

Бутиловий спирт (бутанол) як і етиловий (етанол) може бути отриманий:

-бутанол (шляхом синтезу хімічної сировини);

-біобутанол I покоління (шляхом переробки цукру або крохмалю с.-г. рослинних культур);

-біобутанол II покоління (шляхом переробки целюлози рослин).

Бутанол, вироблений з біомаси, прийнято називати біобутанолом, хоча він має абсолютно ті ж характеристики, що і бутанол, отриманий з нафти (хімічної сировини). Сировиною для виробництва можуть бути цукрова тростина, буряки, кукурудза, пшениця, маніока, а в майбутньому і целюлоза.

В порівнянні з етанолом, існує декілька переваг бутанолу при використанні бутанолу як моторного палива:

-молекула бутанолу складається із чотирьох атомів вуглецю (в етанолу — два атоми), відповідно, більш розвинутий вуглецевий кістяк молекули дає більше енергії при спалюванні речовини (бутанол містить на 25% більше енергії, ніж етанол);

-бутанол менш гігроскопічний;

-бутанол менш леткий у порівнянні з етанолом і його суміші можуть на 100 % використовуватися у ДВЗ без їхньої модифікації;

-менш чутливий до зниження температури.

Бутанол не має корозійної властивості (на відміну від метанолу), добре підходить для сучасних транспортних засобів і двигунів; на відміну від існуючих біопалив, не вимагає значної зміни ДВЗ та обслуговуючої інфраструктури; потенційно може бути транспортований по трубопроводах, дозволяє використовувати існуючу інфраструктуру дистрибуції, не вимагаючи модифікацій установок для змішування, сховищ або заправок.

Транспортні засоби з гнучким вибором палива

У 1996 році Ford Taurus був першим транспортним засобом з гнучкою системою вибору палива , що міг працювати на етанолі (E85) і метанолі (M85) в поєднанні з бензином.Транспортний засіб з гнучким вибором палива обладнано багатопаливним двигуном, який може використовувати більше одного виду палива, які, як правило, змішані в одному баку, і суміш спалюється в камері згоряння разом. Ці транспортні засоби отримали назву FFV (Flexible-fuel vehicle). FFV відрізняються від транспортних засобів на двох видах палива (Bi-fuel vehicle), де два види палива зберігаються в окремих резервуарах. Найпоширенішими в продажу FFV на світовому ринку є етанол-FFV, основні ринки транспортних засобів зосереджено в США, Бразилії, Швеції і деяких інших європейських країнах. На додаток до

альтернативних видів палива для транспортних засобів, що працюють з етанолом, в США і Європі було проведено успішні тестові програми з метанольним паливом (M85 FFVs).

Максимальна доля етанолу в Сполучених Штатах і Європі обмежена 85% через кліматичні умови (у зв'язку з холодною погодою протягом зими), або до 100% (E100) в Бразилії, з теплішим кліматом. За температури нижчої за мінус 15°C палива E85 Flex потребують обігрівання блока двигуна. У холодну погоду додання більше чистого бензину в бак дозволяє знизити вміст етанолу нижче суміші від E70. Під час екстремально низьких температур паливо E85 краще не використовувати.

Таким чином, рідке паливо вважається кращим, ніж газоподібне не тільки тому, що воно має більш об'ємну щільність енергії, але й тому, що воно є найбільш сумісним з існуючими системами в двигунах, що дозволяє уникнути великого відходу від наявних технологій і заправочної інфраструктури.

Етанол вважається кращим, ніж метанол, завдяки стимулюючих програм та субсидій уряду (в США) та через націлення існуючих програм на сільське господарство. Швеція тестувала як M85 так і E85 Flexifuel-транспортні засоби, але в зв'язку з сільськогосподарською політикою, в результаті був зроблений акцент на етанол-орієнтовані транспортні засоби.

Для повноцінної та надійної роботи на бензоспиртових паливах при концентрації більше 19% може негативно вплинути на робочий процес двигуна. Для роботи на біоетанольних сумішах звичайні бензинові автомобілі потребують адаптації, зокрема, внесення змін до конструкції систем паливоподачі, управління двигуном, нейтралізації відпрацьованих газів, застосування стійких до спиртів матеріалів тощо. Використання спиртів та сполук на їх основі на серійних бензинових двигунах, без значних змін у конструкції, можливе лише при обмеженому додаванні їх до основного палива (бензину) до 19%.

Біодизель

Біодизель (або FAME — Fatty Acid Methyl Ester — жирні кислоти складних метилових ефірів), може вироблятися із різної сировини, наприклад, із насіння ріпаку, рослинних олій або відходів кулінарного жиру.

Перевагами біодизеля є його рідка форма і доступність у великих кількостях.

Поставки екологічного біодизеля переважно використовуються для домішування у дизельне паливо або в чистій 100% формі. Біодизель поставляється у вигляді різноманітних сумішей (наприклад, B5, який складається з 5% біодизеля та 95% стандартного дизельного палива), а також у чистому вигляді (B100).У порівнянні зі звичайним дизельним паливом, максимальне зменшення викидів CO_2 може досягати 85%. На відміну від повністю електричних транспортних засобів з нульовим рівнем викидів, транспортні засоби, що працюють на біодизелі, справді викидають вуглекислий газ (CO_2), але є й перевага. Будь-який CO_2, який виділяється, компенсується CO_2, який поглинається сировинними культурами, які

виробляють біодизель (наприклад, соєві боби), що робить його більш чистим замінником бензину чи дизеля.

Біодизельне паливо є найбільш економічним з альтернативних палив для виробництва. Воно є цілком сумісним з існуючими двигунами транспортних засобів і комерційних паливних систем розподілу і споживання. Виробляється зі суміші рослинної олії та метанолу. Значний інтерес викликають олії, отримані з ріпаку, соняшнику, сої, льону та продукти їх переробки. Теплота згоряння рослинних олій близька до теплоти згоряння традиційних дизельних палив. Їх можна використовувати для спалювання в дизелях у вихідному виді або після спеціальної хімічної обробки, а також у суміші з нафтовими й альтернативними паливами. Основним компонентом рослинних олій є жирні кислоти, що представляють собою високомолекулярні сполуки які містять кисень, з вуглеводною основою. Тому всі рослинні олії є пальними і можуть застосовуватися як моторні палива. Низька випаровуваність і висока в'язкість рослинних олій виключає їхнє використання в бензинових двигунах. Але вони можуть успішно застосовуватися як паливо для дизелів. Цьому сприяють порівняно невисока термічна стабільність рослинних олій і прийнятна температура їхнього самозапалювання, що ставить 280…320˚С, що лише трохи перевищує температуру самозапалювання дизельних палив (230…300°С). При цьому цетанове число (ЦЧ) різних рослинних олій змінюється в межах від 33 до 50 одиниць, що порівняно з ЦЧ дизельних палив (40…55).Особливістю рослинних олій є наявність у їхньому складі досить великої кількості кисню (8…12%). Це призводить до деякого зниження їхньої теплоти згорання. Так нижча теплота згорання рослинних олій складає 36…39 МДж/кг проти 42…43 МДж/кг у дизельних палив, що практично не містять кисню. Але присутність у рослинних оліях кисню підвищує температуру їхнього згоряння в дизелях і значно поліпшує екологічні властивості цих палив: зниження димності ВГ і вмісту в них продуктів неповного згоряння палива при деякому зростанні NO_x.

Недоліки рослинних олій.

Використання *рослинних олій* у чистому виді як паливо для дизелів стримується підвищеним нагароутворенням – відкладенням коксу на розпилювачах форсунок і інших деталях, утворюючих камеру згорання. Цьому сприяє наявність в рослинних оліях смолистих речовин. Для зниження коксівності рослинних олій необхідне їхнє очищення від смолистих речовин, а також застосування заходів, що знижують коксоутворення в умовах камери згорання дизеля (періодична робота на високофорсованих режимах, періодична подача водопаливних емульсій через розпилюючі отвори й ін.). Недоліком рослинних олій, використовуваних як палива для дизельних двигунів, є висока температура їх застигання, обумовлена, головним чином, наявністю в їхньому складі насичених жирних кислот. Найкращі низькотемпературні властивості мають рапсова і лляна олії (температура застигання $t_з$ = - 20 °С), бавовняне ($t_з$ = - 180 °С) і соняшникове ($t_з$ = - 16 °С) олії.

2.2.2 Газоподібне біопаливо

Біометан

Біометан — це газ, який утворюється при мікробіологічному розкладанні твердих і рідких органічних відходів: на звалищах (може бути добутий за допомогою свердловини і вакуум-насосів), болотах , каналізації, вигрібних ямах тощо. Газ утворюється метановим шумуванням біомаси чи біовідходів: розкладання біомаси відбувається під впливом трьох видів бактерій.Склад біогазу: 55…75% метану, 25…45% CO_2, незначні домішки водню (H_2) і сірководню (H_2S), азоту, ароматичних вуглеводнів, галогено-ароматичних вуглеводнів.Цей газ з високою ефективністю може перетворюватись в інші види енергії. Стиснутий біогаз після очищення в адсорберах може бути використаний для ДВЗ. Видалення H_2O і H_2S можна розглядати як стандартне виробництво газу, який має таку ж якість, як стиснутий природний газ.

Генераторний газ (деревний газ)

Генераторний газ (деревний газ)— продукт газифікації біомаси, являє собою синтез-газ, який можна використовувати як паливо для двигунів транспортних засобів замість бензину, дизельного палива та інших видів палива (рис. 39,40).

В процесі виробництва біомасу або інші вуглецевмісні матеріали газифікують в газогенераторі виробництва водню і окису вуглецю в обмеженому середовищі кисню. Ці гази можуть бути спалені, як паливо, в багатих киснем середовищах для виробництва двоокису вуглецю, води і тепла. В деяких газифікаціях цей процес передує піролізу, де біомаса спочатку перетворюється в чар (твердий матеріал), звільняючи метан і смоли багаті поліциклічними ароматичними вуглеводнями.

Рисунок 39 – Автобус «Tsuyoshi Santa» на газі деревного вугілля. Модель 1950 р.в., використовувалась до 1979 року.

Рисунок 40 – Автомобіль Saab 99 працює на деревному газі.
Газогенератор розташовано на причепі

Теплотворна здатність генераторного (деревного газу) близько 8500 кДж/м³ при звичайній автотепловій газифікації та понад 12000 кДж/м³ при газифікації з використанням зовнішнього джерела тепла. Теплота згоряння генераторного газу є досить низькою порівняно з іншими видами палива.

Диметиловий етер

Диметиловий етер (ефір) (DME) — це органічна сполука з хімічною формулою C_2H_6O. Його виробляють у реакції дегідратації метанолу або шляхом синтезу з природного газу, вугілля чи біомаси.

Диметиловий етер - екологічно чисте паливо без вмісту сірки; оксидів азоту у вихлопних газах на 90% менше, ніж у бензину. Застосування диметилового етеру не потребує спеціальних фільтрів, але необхідна переробка системи паливоподачі (встановлення газобалонного обладнання) коригування сумішоутворення і системи запалювання двигуна. Без переробки можливе застосування на автомобілях з LPG двигунами за вмістом у паливі до 30% диметилового етеру.

Диметиловий етер є перспективним паливом в дизельних двигунах, бензинових двигунах (30% DME/70% зрідженого нафтового газу), а також в газових турбінах завдяки високому цетановому числу, яке становить 55, в порівнянні з дизельним паливом, в якому число становить 40…53. Теплота згорання диметилового етеру (24,8 МДж/кг) є менша ніж в мінерального дизпалива (42,5 МДж/кг). Дизелі для роботи на DME потребують помірної модифікації, а також встановлення газобалонної апаратури. При горінні паливо має дуже низький рівень викидів твердих частинок, NO_x, CO. З цих причин DME відповідає найсуворішим вимогам щодо викидів в Європі (EURO5).

DME в даний час розробляється як синтетичне біопаливо другого покоління (BioDME), яке може бути виготовлене з лігноцелюлозної біомаси (рослинна суха речовина).

Диметиловий етер широкого застосування в Україні поки що немає, на відміну від інших країн світу, в яких його використовують не тільки як автомобільне паливо, а й як енергоносій.

Переваги диметилового етеру.

Специфічні властивості диметилового ефіру роблять його альтернативою звичайному дизельному паливу. DME має гарну спалахуваність і нижчу в'язкість порівняно з дизелем. Не має корозійного впливу на металеві частини двигуна. Як паливо він не виділяє шкідливих оксидів сірки або твердих часток. Оскільки екологічно чиста сировина, така як біогаз або біомаса, використовується для виробництва диметилового ефіру, DME стає біопаливом.

Біоводень

Біоводень – це газоподібний різновид біопалива, що використовується в водневій енергетиці. Біоводень має великий потенціал для скорочення викидів парникових газів і переходу до більш сталого енергетичного майбутнього.Виробництво біоводню є відновлюваним і відносно вуглецево-нейтральним. Водень виділяє лише водяну пару, коли використовується як паливо. До того ж, водень має найвищу питому енергію на одиницю маси з усіх відомих палив. Біоводень виробляється з органічних речовин, зазвичай, відходів, чим ще й вирішується проблема забруднення довкілля, і часто разом з біометаном, чи разом з біобутанолом та біополімерами, з органічної речовини:

-харчових відходів;

-залишків сільськогосподарських рослин;

-стічних вод;

-муніципальних відходів;

-інших органічних відходів.

Ажіотаж з приводу водню, як палива, для автомобілів зменшився, але все ще існує значний інтерес до водню як палива для важких вантажних автомобілів, а також потенційно як для авіації, так і для морського транспорту.

Зараз використовуються два підходи до використання водневого палива для вантажних автомобілів:

-в автомобілі з водневим двигуном внутрішнього згоряння (**HICEV** - Hydrogen Internal Combustion Engine Vehicle) використовується двигун, дуже схожий на бензиновий або дизельний двигун, але працює на водні.

-водневий автомобіль на паливних елементах (**HFCEV** - Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle або FCEV - Fuel Cell Electric Vehicle) генерує електрику з водню через паливний елемент і використовує цю електрику для живлення електродвигуна, як в електромобілі.

Водневі паливні елементи генерують електрику за допомогою електрохімічної реакції між воднем і киснем, які в сукупності виробляють електрику, тепло і воду. Один паливний елемент може генерувати близько 300Вт потужності; Щоб генерувати достатньо енергії для роботи електродвигуна вантажівки, паливні елементи необхідно об'єднати в блок паливних елементів. Як і електромобілі, FCEV також можуть уловлювати

енергію за допомогою рекуперативного гальмування.

Переваги

Однак, за екологічними параметрами безпеки, водню немає рівних. Водень є найбільш екологічним і найчистішим паливом, яке може забезпечувати більшу частину світової енергії в майбутньому.Реакція розкладання водню — $H_2 + 0{,}5O_2 = H_2O$ — супроводжується виділенням великої кількості енергії (285,8 кДж/моль). Водень має найвищу питому енергію на одиницю маси з усіх відомих палив. При цьому не відбувається ніякого забруднення атмосфери, тому що в результаті реакції утворюються тільки пари води.

Переваги водню як палива перед бензином такі:

-невичерпність — сумарна маса атомів водню становить 1% загальної маси Землі;

-екологічність — при згоранні водень перетворюється на воду і повертається в кругообіг Землі, немає викидів шкідливих речовин при горінні;

-вагова теплотворна здатність водню в 2,8 рази вища порівняно з бензином;

-енергія займання в 15 разів нижча, ніж у бензину;

-випромінювання полум'я при згоранні в 10 разів менше.

Недоліки.

Ускладнюють можливість використання водню, як палива, також проблеми безпеки: водень може створювати з повітрям вибухонебезпечну суміш — гримучий газ; зріджений водень має виняткові проникаючі властивості, вимагаючи застосування особливих матеріалів.

Таким чином, один зі способів знизити антропогенні викиди - використання палива, яке не виділяє під час згоряння вуглекислий газ, наприклад, *водню* або *аміаку*. Хоча у водню і найвища питома теплота згоряння, використовувати його незручно, бо він потребує кріогенних умов для зберігання в рідкому стані. Аміак же залишається рідиною за температури в - 33 ° С.

2.3 Використання альтернативних видів палива в ДВЗ

Водень

Найбільш перспективним енергоносієм є рідкий водень, який володіє найвищим з відомих видів палив енерговмістом. Унікальні властивості водню забезпечують можливість підвищення коефіцієнта корисної дії ДВЗ в 1,5…1,7 рази в порівнянні з традиційним бензиновим. У ДВЗ водень може використовуватись як основне паливо і в якості добавки до бідних вуглеводнево-повітряних сумішей для ініціації процесу згоряння. Завдяки цьому, досягається підвищення паливної економічності і різке зниження токсичності викидів. Водень, взагалі, можна вважати універсальним паливом для ТЗ, оскільки він володіє абсолютною екологічною чистотою, може замінити бензин, дизельне паливо і мазут в теплових двигунах (автомобільних, тракторних, комбайнових, допоміжних та ін.), придатний

для всіх видів теплових двигунів: поршневих із запалюванням від іскри і стиснення, поршнетурбінних, у всіх типах турбоустановок, двигуна Стірлінга та ін.

Автомобілі, що працюють на водні, є альтернативою їх електричним аналогам у тих випадках, коли використання ДВЗ небажано і продуктивність електричних батарей обмежена часовими проміжками між підзарядками.

Існують водневі моделі практично будь-яких типів засобів пересування. Водневі автобуси є екологічною заміною традиційному громадському транспорту. Їх безшумність особливо приваблива для міст, де шумове забруднення часто перевищує допустимі ліміти.

Оскільки водень легший за повітря в 15 разів, тому не накопичується над поверхнею землі, як вибухонебезпечні пари вуглеводнів, не розтікається по поверхні землі як рідкі палива і не змішується рівномірно з повітрям як метан, а моментально дифундує вгору, залишаючи нижні шари атмосфери.

Досить ефективним методом є використання в автотранспорті комбінованованого палива у вигляді добавок водню до традиційного палива. Доцільність їх застосування у якості активатора стосовно газотурбінних двигунів та ДВЗ досить ретельно досліджена. Критерієм ефективності є зменшення емісії забруднювальних речовин в відпрацьованих газах та витрат пального.Введення водню в камеру згорання двигуна спричиняє якісні зміни процесу енергоутворення. Врахування добавок водню в рамках термодинамічного розрахунку зводиться до врахування змін ентальпії вихідного палива.

Випробування показали, що застосування водню як добавки до основного палива вирішує проблему зниження токсичності відпрацьованих газів автомобіля. Добавки водню розширюють концентраційні межі запалювання, підвищують швидкість горіння бідних сумішей. Переведення ДВЗ на водень не потребує корінної його переробки. В основному це стосується системи подачі водню в циліндри двигуна і регулювання системи запалювання. Проведені дослідження показали, що можлива також робота ДВЗ на суміші водню з вуглеводневим паливом. Причому добавка водню всього 5..10 мас.% може призводити до зниження витрати бензину до 40% і зменшенню забруднювальних речовин в відпрацьованих газах на 80%, а вміст *CO* виявляється навіть нижчим, ніж при спалюванні природного газу.

Якщо розглядати водневий автомобіль, який оснащується ДВЗ, адаптованим до цього виду палива, то у нього поки що більше мінусів, ніж позитивних сторін.

Двигуни автомобілів, які спочатку створювалися для роботи на водні, мають такі характеристики:

-ресурс експлуатації, збільшений на 20…30 %, а також зменшена ймовірність виникнення поломок;

-потужність збільшена на 15…20 %, більший ККД, що означає краще використання енергетичного потенціалу палива;

-вартість пробігу, в 2 рази менша, ніж аналогічний показник для бензину − однак тільки за умови промислового виробництва водню.

Істотним недоліком є

-дуже висока вартість двигунів, що працюють на водні;

-висока вартість виробництва палива, але використання як первинного енергоджерела для отримання водню - сонячної та вітрової енергії може значно зменшити вартість виробництва.

Висновки.

1. Відповідно до прогнозів, економічна вартість переходу на водень у найближчому майбутньому не буде надзвичайно високою, якщо враховувати екологічні фактори.

2. Водень має потенціал для забезпечення економічно обґрунтованих, енергоефективних та екологічно сталих рішень вищевказаних проблем, пов'язаних із викопним паливом. Водень - екологічно чисте джерело енергії, що характеризується нульовими викидами CO_2 і забруднювальних речовин з відпрацьованими газами ДВЗ.

3. Ефективнішим шляхом застосування водню в якості палива для автотранспорту є створення водневого електромобілю з паливним елементом і електроприводом.

4. Він може замінити бензин та дизельне пальне у двигунах внутрішнього згорання, метан у паливних елементах.

Незважаючи на свої переваги, поширення водню як палива для ДВЗ зіткнулося з проблемами:

-зберігання водню на борту автомобіля;

-дуже низька щільність енергії (0,09 кг/м^3 за нормальних умов) порівняно з традиційними видами палива.

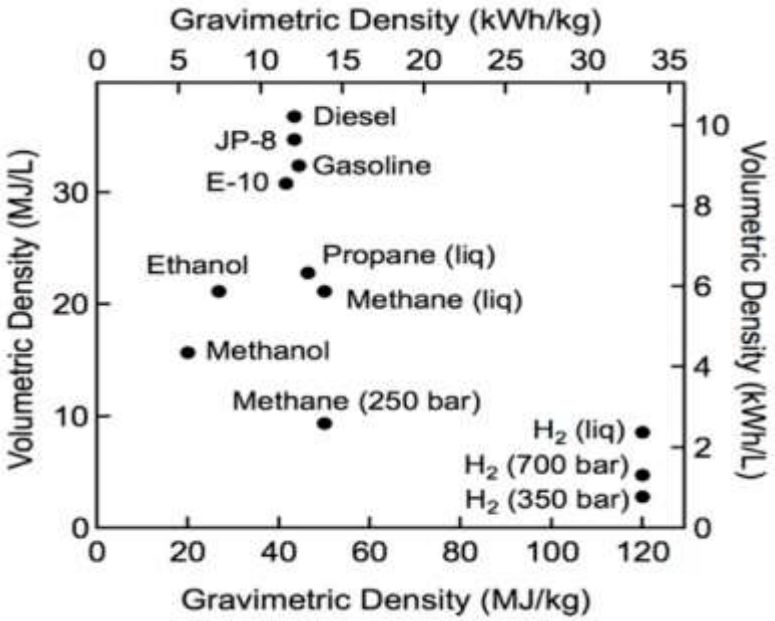


Рисунок 41 – Гравіметрична та об'ємна щільність водню та інших палив.

Рисунок 41 показує порівняння з точки зору ваговій та об'ємної густини: очевидно, що для зберігання H_2 необхідні великі об’єми з-за низького об'ємного енерговмісту, що призводить до більш високих витрат.

Ацетилен

В останні роки за кордоном вивчається можливість використання ацетилену (C_2H_2) як моторного палива. Ацетилен має високі енергетичні показники і його можна виробляти в нафтової сировини.

Проводились поодинокі експериментальні дослідження роботи поршневих ДВЗ на ацетилені, які, окрім того, виконані переважно на одноциліндрових установках CFR.

Токсичні показники двигуна, який живиться ацетиленом, покращуються переважно завдяки зниженню вмісту у ВГ оксиду вуглецю і сумарних вуглеводнів. Так в режимах максимальної потужності викиди CO зменшилися в 2...2,5 рази, а C_mH_n – в 2,5...3,5 рази, порівняно з мінімальними значеннями викидів цих компонентів у ВГ бензинового двигуна. Разом з тим, внаслідок високої температури згоряння ацетилену, вміст оксидів азоту у ВГ перебуває на рівні найбільших викидів NO_X бензинових двигунів. За однакового складу паливних сумішей (α=1,43) перехід з бензину на ацетилен підвищує вміст NO_X майже втричі. Проте з подальшим збідненням ацетиленоповітряної суміші викиди оксидів азоту швидко зменшуються, таким чином, що при α=2,2 вони практично відсутні.

Основним недоліком ацетилену і ацетиленоповітряної суміші є їх висока вибухонебезпечність. Це єдиний газ, що використовується в промисловості, горіння і вибух якого можливі без присутності окислювача. Щоб користування було безпечним, найпоширенішим став спосіб зберігання та транспортування ацетилену розчиненого в ацетоні в сталевих балонах, які заповнені активованим деревним вугіллям або іншими поруватими масами під тиском до 2,4 МПа.

Азотовмісні палива

Азотоводневе паливо складається з водню і азоту. Основними видами азотоводневого палива є гідрозин (N_2H_2) і аміак (NH_3).

Аміак «Green NH_3» в даний час з успіхом використовується розробниками в Канаді, і може використовуватись в двигунах з іскровим запалюванням та дизельних двигунах з незначними змінами. При згоранні паливо не має викидів, крім азоту і водяної пари

Аміак характеризується простотою виробництва, відносно низькою вартістю і, як паливо, задовільними термодинамічними показниками. Характерними властивостями аміаку є низький стехіометричний коефіцієнт – теоретично необхідна кількість повітря (6,15 кг/кг), висока температура займання аміачно-повітряних сумішей (650°С) та їх повільне, мляве згоряння. Його цетанове число близьке до нуля, в той же час він має високу антидетонаційну стійкість (ОЧ визначене дослідницьким методом – 110 од.).

Внаслідок незадовільних моторних якостей аміаку для роботи двигуна необхідно суттєво підвищити енергетичний рівень запалювання використанням високотемпературних свічок з широким іскровим проміжком і

потужною котушкою запалювання. В двигунах із загорянням від стиску це може бути досягнуто за допомогою підвищення ступені стискання до 35 при одночасному підвищенні температури у впускному трубопроводі і системі охолодження до 150°С. Як інші методи інтенсифікації загоряння можуть використовуватись впорскавання запального палива (наприклад, дизпалива з високим цетановим числом), добавка активуючих присадок (амілнітрат , диметилгідразин) чи активних газів (водень, ацетилен), а також модернізація камери згоряння.

За термохімічними розрахунками, в продуктах згоряння аміаку присутній тільки один токсичний компонент – оксид азоту *NO*. Кількість його мінімальна через низькі температури і швидкості згоряння аміачноповітряних сумішей. В розрахунках на одиницю транспортної роботи викиди *NO* для аміаку нижчі в 1,5...2 рази порівняно з воднем і в 2,5...3 рази порівняно з бензином. В той же час, в експериментах отримано значно нижчі (майже на порядок) рівні викидів *NO* у разі спалювання аміачного палива. Ці обставини пов’язані з перебігом (при певних умовах організації робочого процесу двигуна, що живиться аміаком) реакції взаємодії оксиду азоту з аміаком, який не згорів, в результаті чого відбувається відновлювання азоту.

Недоліком аміаку, як моторного палива, є його корозійна агресивність і отруйність.

Швидкість згоряння **гідрозину** в повітрі вища за швидкість згоряння аміаку і вуглеводнів. За повного згоряння і після видалення оксидів азоту, що мають утворюватися, азотоводневе паливо не буде забруднювати навколишнє середовище.

Гідрозин має не лише властивість згорати, як бензин, але і розкладатися (за відсутності повітря) в регульованому режимі, що розширює можливість його використання.

Температурні межі рідкого стану гідрозину дуже близькі до меж рідкого стану води. Температура замерзання гідрозину дорівнює 17° С, що виключає обмеження його використання в різних географічних зонах.

Через високу температуру замерзання гідрозину та інші його експлуатаційні властивості, до нього доцільно додавати антифриз. Це необхідно для того, щоб використовувати гідрозин як автомобільне паливо. Вибір антифризу обмежується рідинами, які можуть перемішуватись з гідрозином. Ефективними антифризами для гідрозину є вода або аміак. Найбільш ефективною є потрійна суміш TF-1, що складається з 64% гідрозину, 10% аміаку і 26% води.

Зараз гідрозин отримують з аміаку, що в свою чергу добувають з вуглеводневої сировини.

Висновки.

1. Незважаючи на вдосконалення технологій виробництва альтернативних видів палива (AFS) і потреби у використанні більшої кількості AFS для автотранспортних засобів для скорочення забруднення повітря і парникових газів, кількість транспортних засобів на

альтернативному паливі (AFV) у світовому транспортному секторі суттєво не збільшувалася (є навіть невеликі скорочення для адаптації деяких AFS згідно з прогнозами) в останні роки і навіть в найближчому майбутньому з прогнозами до 2050 року бензин і дизельне паливо залишаться основними джерелами енергії для автомобілів.

2. Майбутнє біопалива сьогодні не зовсім чітке. Ті сподівання, які десятиріччя тому покладалися на нього як на просте розв'язання енергетичної проблеми і панацею в боротьбі з парниковими газами, виявилися марними — прості й дешеві рішення вкотре не стали успішними. Наразі триває наполеглива робота зі створення біопаливної індустрії та розроблення нових підходів до виготовлення біопалива 2-го та 3-го поколінь.

3. У перспективі водень, що може використовуватися як основне паливо для енергоустановок(у ряді країн Європи міські автобуси вже працюють на водні, що поставляється з Канади в зрідженому виді спеціальними танкерами), так і як високоефективна добавка до збіднених вуглеводньо-повітряних пальних сумішей.

Електрика

Електричний транспорт – вид транспорту, у якому для руху використовується електрична енергія. Електромобілі використовують електроенергію, накопичену в акумуляторних батареях, і які рухаються за допомогою одного або кількох тягових електричних двигунів.

В гібридних автомобілях силова установка складається з двох типів двигунів: ДВЗ і електродвигуна який використовує електроенергію, накопичену в акумуляторних батареях. ДВЗ може виконувати функції тягового двигуна, а також за допомогою генератора заряджати акумуляторну батарею. До електромобілів відносять також ТЗ з тяговими електродвигунами в яких акумуляторна батарея отримає енергію від паливних елементів.

Існує три основних типи електричних транспортних засобів:

-що отримують енергію безпосередньо від зовнішнього джерела електроенергії;

-що отримують електричну енергію від акумуляторної батареї або іншого джерела енергії, розміщеного на борту транспортного засобу;

-що отримують електричну енергію від альтернативних джерел енергії.

Гібридні автомобілі мають різні схеми комбінованої енергетичної установки, вони характеризуються наявністю або відсутністю механічного зв'язку ДВЗ з ведучими колесами автомобіля. Конструкції комбінованої енергетичної установки можна розділити на чотири принципово відмінні схеми:

- *послідовна схема* (Seriell Hybrid) - відсутність механічного зв'язку ДВЗ автомобіля з ведучими колесами;
- *паралельну* (Parallel Hybrid) - ДВЗ і електродвигун можуть з'єднуватись з трансмісією як роздільно, так і спільно;

- *диференціальну* (Powersplit Hybrid) - ДВЗ і електродвигун зв'язані між собою та із ведучим мостом через планетарну передачу, передаточне число трансмісії змінюється безступінчасто;
- *рівнобіжну-послідовно-паралельну* – є можливість конструктивного об'єднання послідовної та паралельної схем для використання переваг кожної з них.

Електричний транспорт може використовувати для своєї роботи електроенергію, одержану з різних джерел, у тому числі і з відновлюваних. Транспортні засоби з ДВЗ, як правило, застосовують енергію з одного або декількох видів палива, що не відновлюються. Однією з головних переваг електричної та гібридної енергетичної установки є здатність її до генерування (електричної, кінетичної) енергії (вторинної) при гальмуванні транспортного засобу - рекуперативне гальмування. Електричний транспорт є екологічно безпечним, оскільки не є джерелом забруднення довкілля вихлопними газами чи іншими викидами. Хоча електричні транспортні засоби добре прискорюються та забезпечують досить великий діапазон пробігу між зарядами, їх мінусом є тривалий час заряджання батарей. Однак, електричний транспорт все ж таки є найбільш фінансово вигідним видом транспорту і дуже практичний у повсякденному використанні. Електричні автомобілі, у ситуації зростання цін на бензин та високого рівня забруднення міського середовища, здатні викликати революцію в автомобільній промисловості. Вчені підрахували, що впровадження електротранспортних технологій у США може скоротити рівень викидів вуглекислого газу в атмосферу на 30%, у Великій Британії - на 40% і на 19% у Китаї.

Електроенергія, що надходить безпосередньо від електричної мережі та інших зовнішніх джерел електроенергії, є високоефективним джерелом енергії, яке легко доступне для нас через уже розвинену інфраструктуру. Електроенергія зберігається в акумуляторних батареях повністю електричних і гібридних електромобілів (PHEV), викидаючи значно менше викидів, ніж автомобілі з бензиновим або дизельним двигуном під час експлуатації.

У газоелектричних гібридах електрика замінює бензин на низьких швидкостях, а також для запуску та зупинки. Подібним чином автомобілі PHEV використовують електрику для руху автомобіля на великі відстані, викидаючи нульові викиди, коли автомобіль працює виключно від акумулятора.

Таким чином, хоча електрика може мати нижчу вартість палива, ціна придбання фактичного електромобіля (EV) може бути значно вищою порівняно зі звичайними автомобілями, що працюють на бензині. Крім того, велика частина електроенергії сьогодні виробляється завдяки спалюванню вугілля або природного газу, що залишає загрозу забруднення довкілля шкідливими викидами. Проте викиди токсичних компонентів значно знижується, якщо електричну енергію виробляти на водяних, вітрових або атомних електростанціях.

Забруднення довкілля буде перенесене в місця, де добуватимуть електроенергію чи вироблятимуть акумуляторні батареї, тобто за межи

великих населених пунктів. Також для цих виробництв значно легше застосувати ефективні системи знешкодження шкідливих викидів.

Питання для самоконтролю

1. Як класифікують альтернативні палива?
2. Назвіть переваги та недоліки біодизельного палива.
3. Що таке біодизельне паливо? Що є сировиною для його виробництва?
4. Які нормативні документи регулюють в Україні якість біопалив?
5. Що таке біогаз?
6. Які проблеми виробництва та використання біогазу в Україні?
7. Що таке біоетанол?
8. Яка технологія виготовлення біоетанолу?
9. Які переваги та недоліки біогазу?
10. Які переваги та недоліки біоетанолу?

3. ЗАГАЛЬНІ МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ОРГАНІЗАЦІЇ І ПРОВЕДЕННЯ ЛАБОРАТОРНИХ ТА ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Перед лабораторними заняттями студенти вивчають методику проведення роботи, повторюють відповідний розділ лекційного матеріалу і ознайомлюються зі спеціальною літературою.

На початку серії лабораторних занять викладач визначає мету, окреслює зміст і обсяг лабораторних робіт, характеризує об'єкти випробувань. Разом з магістрантами обговорюють методику і техніку виконання експериментальних досліджень. Визначають відносно зміни якого параметра (незалежна величина) будуть досліджувати параметри (залежні величини), зміни яких треба дослідити. За яких умов проводять випробовування.

Студенти проходять обов’язковий інструктаж з техніки безпеки в лабораторії випробувань двигунів, що фіксують відповідним записом в журналі.

Перед кожною роботою викладач перевіряє готовність групи до виконання лабораторної роботи та здатність кожного учасника експериментальних досліджень користуватися вимірювальною апаратурою та приладами.

Лабораторні заняття для студентів прирівнюють до наукових експериментальних досліджень, які проводять на високому фаховому рівні. Це потребує від студентів високих професійних навичок, отриманих у попередні роки навчання, володіння сучасними методами обробки результатів, здатності до аналізу та критичного ставлення до отримуваних поточних результатів експерименту.

Для підвищення рівня професійності при проведенні експериментальних досліджень виконавці повинні самостійно проводити підготовку об’єкту досліджень та контрольно-вимірювальної апаратури перед початком випробувань та перевіряти працездатність приладів в тестовому режимі. Під час лабораторних випробувань студенти повинні засвоїти виконання операцій на усіх робочих місцях та набути навичок контролю декількох робочих параметрів.

Якщо в процесі випробовувань виявлено явні відхилення отриманих та проаналізованих даних від очікуваних, виконавці повинні припинити проведення експерименту, повідомити керівника та виявити причини, що призвели до порушення ходу випробовувань.

4. ВИМОГИ БЕЗПЕКИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ

Під час проведення випробовувань студенти зобов'язані суворо дотримуватись правил техніки безпеки при пуску двигуна та під час його роботи, чітко і правильно виконувати свої обов'язки на робочих місцях відповідно до вказівок викладача і працівників лабораторії.

Під час випробувань **категорично** заборонено перебувати в зоні площини обертання маховика двигуна та ротора навантажувального пристрою. Усі учасники мають розміщуватись у визначених робочих місцях – за пультом керування та в зонах розташування приладів для вимірювання.

Заборонено проводити регулювання двигуна (крім випадків, коли його виконують з пульта керування), від’єднувати трубопроводи і змащувати частини, що обертаються, під час його роботи.

Включати електричні мережі, запускати і зупиняти двигун необхідно лише за вказівкою і під наглядом викладача або працівника лабораторії.

Не можна захаращувати пульт управління двигуном та інше лабораторне устаткування особистими речами, книгами, одягом та ін.

Категорично заборонено застосовувати відкритий вогонь.

Осіб, які не пройшли інструктаж з техніки безпеки, до робіт у лабораторії випробування двигунів не допускають.

5. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ВИПРОБУВАНЬ

Двигуни випробовують на стенді з гальмовою машиною, яка поглинає механічну енергію і надає можливість змінювати зовнішнє навантаження та вимірювати крутний момент (рис. 42).

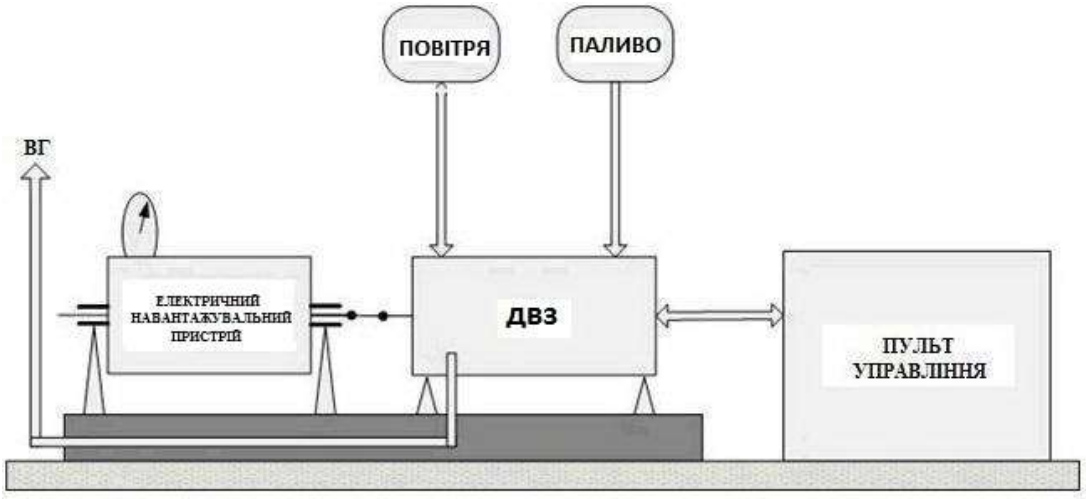


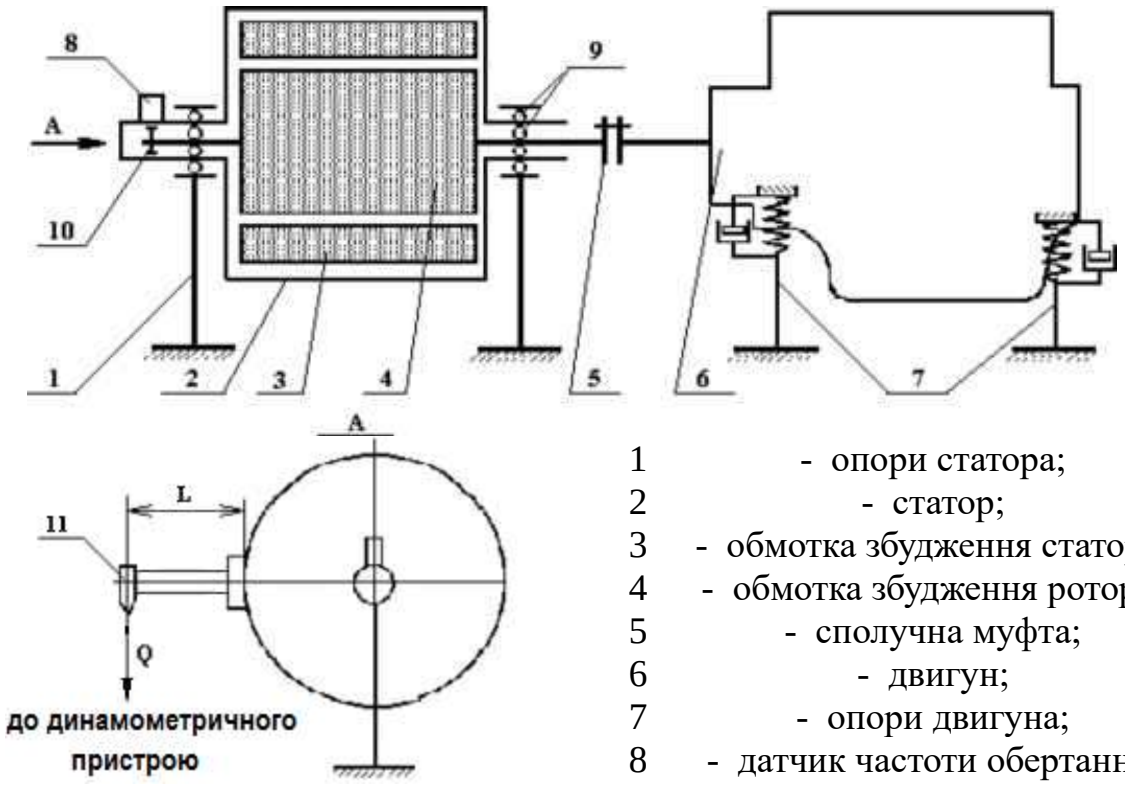
Рисунок 42 – Схема стенда для випробовування двигуна внутрішнього згорання

Навантажувальний пристрій, на якому проводяться випробування, є універсальним і призначений для створення навантаження на двигун, а також для прокручування двигуна для підтримки зданої частоти обертання, коли двигун працює в режимі примусового холостого ходу для визначення складових механічних втрат.

Електричні гальмовні машини це - електричні машини постійного або змінного струму, що перетворюють механічну енергію, яку продукує випробовуваний двигун в електричну і, здійснюючи рекуперацію енергії. Завдяки можливості зворотної роботи вони найбільш поширені порівняно з іншими типами навантажувальних пристроїв.

Навантажувальний пристрій такого стенда (рис. 43) - асинхронна електрична машина змінного струму з фазним ротором.

Регулювання навантаження на двигун здійснюється за допомогою рідинного реостату.



1 - опори статора;
2 - статор;
3 - обмотка збудження статора;
4 - обмотка збудження ротора;
5 - сполучна муфта;
6 - двигун;
7 - опори двигуна;
8 - датчик частоти обертання;
9 - підшипники;
10 - зубчаста передача;
11 - важіль динамометра

.

Рисунок 43 – Електричний навантажувальний пристрій

Частоту обертання, витрату палива і повітря та інші величини, що характеризують роботу двигуна, визначають різними пристроями і приладами. Окрім вимірювання параметрів, що характеризують роботу двигуна обов'язково контролюють технічний стан двигуна за температурами охолодної рідини та відпрацьованих газів, а також за температурою і тиском оливи в системі мащення.

Перед випробуванням двигун прогрівають до нормального теплового стану: температура води 80...90°С, оливи 85...95°С.

Усі вимірювання здійснюють при досягненні усталеного режиму роботи двигуна - одночасно за сигналом викладача. Кожен студент-виконавець на своєму робочому місці повинен чітко і охайно, не допускаючи помилок, виконати доручену йому операцію, інакше в процесі побудови характеристики деякі точки неодмінно «випадуть», що вимагатиме повторного проведення дослідів. Випробування двигуна – це колективна праця, успіх якої, значною мірою, залежить від чіткої, злагодженої роботи кожного виконавця.

6. ВИМІРЮВАНІ ВЕЛИЧИНИ

Перед початком випробувань в протоколі фіксують параметри стану навколишнього середовища в приміщенні лабораторії, за яких здійснюють вимірювання температури t_0, °С, атмосферного тиску p_0, Па та вологості повітря.

В процесі дослідження двигуна здійснюють вимірювання низки параметрів, які характеризують його роботу в різних усталених режимах. Це – частота обертання колінчастого валу $n_д$, хв$^{-1}$; крутний момент M_e, Н·м; час витрати (тривалість споживання двигуном) обраної дози палива $\tau_п$, с; час витрати (тривалість надходження в двигун) обраної дози повітря, $\tau_{пов}$, с; температуру відпрацьованих газів $t_{ВГ}$, °С та інші показники роботи двигуна, передбачені відповідною характеристикою. Також здійснюють вимірювання параметрів, які характеризують технічний стан двигуна: температуру охолоджуючої рідини $t_{ох}$, °С, температуру моторної оливи $t_{ол}$, °С, тиск моторної оливи $p_{ол}$, МПа.

Зафіксовані результати вимірювань окремих параметрів двигуна зводять в першу частину загального протоколу випробувань. Другу частину протоколу заповнюють розрахованими величинами параметрів роботи двигуна, вимірювання яких здійснено опосередковано:

Вимірювані величини

Ефективна потужність двигуна, кВт:

$$N_e = \frac{M_e \cdot n_д}{9550}, \qquad (1)$$

де M_e – крутний момент, Н-м;

$n_д$ – частота обертання колінчастого вала, хв$^{-1}$.

Годинна витрата палива, кг/год:

$$G_{пал} = \frac{3{,}6 \cdot \Delta G_{пал}}{\tau_{пал}}, \qquad (2)$$

де $\Delta G_{пал}$ – маса дози палива, прийнятої при випробуваннях, г;

$\tau_{пал}$ – час витрати дози палива, с.

Густина повітря, кг/м^3:

$$\rho_{пов} = \frac{p_0}{R_{пов} \cdot T_0}. \qquad (3)$$

де p_0 – атмосферний тиск під час випробовувань, Па.

$R_{пов}$ – газова стала повітря, $R_{пов}$ = 287 Дж/(кг·К).

T_0 – температура повітря на впуску під час випробувань, К;

Годинна витрата повітря, кг/год:

$$G_{пов} = \frac{3600 \cdot \Delta V_{пов}}{\tau_{пов}} \cdot \rho_{пов}, \quad (4)$$

де $\Delta V_{пов}$ – доза повітря, прийнята при випробуваннях, м^3;

$\tau_{пов}$ – тривалість вимірювань витрати повітря, с.

За цими даними будують відповідні графічні залежності зазначені в меті роботи. Криві вимірюваних величин $G_{пал}$, $G_{пов}$, M_e, $t_{ох}$ та інші, будують за дослідними точками, які наносять на графік певними познаками.

Процеси, що відбуваються в двигуні, повинні протікати плавно, але під час вимірювань можливі похибки, тому експериментальні точки (зафіксовані в протоколі) можуть мати певну розбіжність, проте криві треба згладжувати, максимально наближаючись до точок, дотримуючись теоретично обґрунтованої тенденції зміни певного параметру, як показано на прикладі рис. 44. При цьому експериментальні точки, які випадають з залежності позначаються великими маркерами та не зв'язуються зі згладженою кривою.

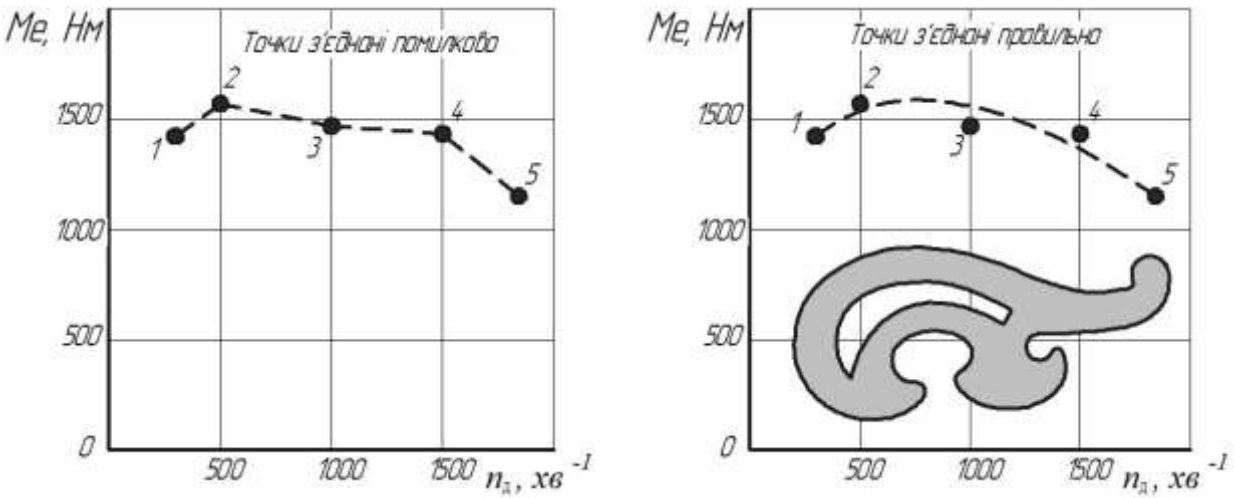


Рисунок 44 – Зовнішня швидкісна характеристика двигуна

Розраховані величини

Щоб позбутися впливу похибок вимірювань на суто розраховані параметри, рекомендовано для їх обчислення використовувати вхідні параметри *з графічних залежностей*:

- питома витрата палива, г/(кВт·год):

$$g_e = \frac{10^3 \cdot G_{\text{пал}}}{N_e}, \tag{5}$$

де $G_{\text{пал}}$ - годинна витрата палива, кг/год (з побудованої графічної залежності);

- коефіцієнт надміру повітря:

$$\alpha = \frac{G_{\text{пов}}}{G_{\text{пал}} \cdot l_0}, \tag{6}$$

де $G_{\text{пал}}$ – годинна витрата палива, кг/год (значення з побудованої графічної залежності);

$G_{\text{пов}}$ – годинна витрата повітря, кг/год (значення з побудованої графічної залежності);

l_0 – кількість повітря, теоретично необхідного для повного згорання 1 кг палива.

Для бензинів та альтернативних палив, які використовують в експериментальних дослідженнях значення l_0 вибирають з сертифікату якості палива. Для бензину А-95 - l_0 = 14,7 кг повітря/кг палива, для спиртовмісного палива Е-95-40 - l_0 = 12,6 кг повітря/кг палива.

За відсутності спеціальних даних, для традиційних палив нафтового походження приймаємо такі значення: для бензину – 14,94 кг повітря/кг палива, для дизельного палива -14,45 кг повітря /кг палива.

- коефіцієнт наповнення:

$$\eta_v = \frac{G_{\text{пов}}}{30 \cdot V_{\text{л}} \cdot \rho_{\text{пов}} \cdot n_{\text{д}}} \cdot 10^3, \tag{7}$$

де $V_{\text{л}}$ – робочий об'єм двигуна, л;

$G_{\text{пов}}$ – годинна витрата повітря, кг/год. (з побудованої графічної залежності);

$\rho_{\text{пов}}$ – густина повітря, кг/м^3.

7. ОБРОБКА І ОФОРМЛЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ

Учасники (студенти) експериментальних досліджень виміряні значення усіх параметрів зводять в електронну таблицю Excel, формуючи протокол випробувань. Обов'язково, зазначаючи - дату проведення випробовувань та параметри навколишнього середовища, за яких ці дослідження відбувалися (p_0, t_0).

З використанням елементів основ автоматизованого проектування в табличному процесорі для роботи з електронними таблицями Excel виміряні показники опрацьовують (див. стор. 70-72) і отримують розраховані параметри роботи двигуна.

Програма Excel надає можливості графічно відтворювати отримані результати, завдяки чому, зразу ж, візуально, можна оцінити наявність похибок, що мали місце в процесі експерименту або помилок, яких припустилися при розрахунках.

Як вже було зазначено, експериментальні точки (значення окремих параметрів зафіксовані в протоколі) при розміщенні на координатній площині можуть мати певну розбіжність, зумовлену певними неточностями, допущеними при вимірюванні. Проте сам процес зміни параметра відбувається плавно, тому і лінії, що характеризують цей процес зміни параметра, мають проходити плавно. Графічні залежності розрахованих годинної витрати палива $G_{\text{п}}$ та годинної витрати повітря $G_{\text{пов}}$ від $M_{\text{к}}$, згладжують методом математичної інтерполяції даних.

Щоб уникнути впливу похибок вимірювань на суто розраховані параметри, рекомендовано для їх обчислення використовувати вхідні параметри з графічних залежностей. Вибрані з графіків дані $G_{\text{п}}$, $G_{\text{пов}}$ зазначають у протоколі і подальші розрахунки виконують з їх використанням.

Програмують відповідні клітинки таблиці протоколу для розрахунку питомої витрати палива g_{e}, потужності N_{e}, коефіцієнту надміру повітря α та коефіцієнту наповнення η_{v}, а також екологічних показників ДВЗ.

Після перевірки, оцінювання якості та достовірності отриманих даних, Вручну або із застосуванням наукового пакету для аналізу і обробки даних OriginPro будують характеристику двигуна згідно з вимогами до оформлення наукових звітів.

Ці графічні залежності – основна технічна документація, в якій зафіксовано результати випробувань двигуна. Вони мають бути описані і проаналізовані та, на завершення, складені висновки.

Надані викладачу оформлені матеріали мають бути логічно і обґрунтовано захищені.

Примітка: Сформовані в одній лабораторній роботі таблиці і графіки можна використовувати як шаблон для опрацьовування експериментальних даних інших лабораторних робіт.

8. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОЦИЛІНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА Opel C30 NE З СИСТЕМОЮ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ

Мета роботи: ознайомиться з системою паливоподачі багатоциліндрового двигуна Opel C30 NE, що надає можливість забезпечити комбінований метод регулювання потужності на серійних двигунах, які перебувають в експлуатації, та методикою визначення ефективності використаного методу відключення циліндрів.

Обладнання:

-шестициліндровий рядний бензиновий двигун 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) з робочим об'ємом 3,0 л, обладнаний системою впорскування бензину, зворотним зв'язком і механічним тросовим приводом дросельної заслінки;

-плакати і схеми з загальної будови двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE), його систем та механізмів.

Завдання:

-ознайомитися з впливом різних методів регулювання потужності на робочий процес ДВЗ та проаналізувати різні схеми відключення циліндрів в двигунах з іскровим запалюванням;

-ознайомитися з будовою та принципом дії системи відключення циліндрів двигуна 1,4 Л 103 КВТ TSI (Додаток А);

-ознайомитися з будовою та принципом дії маховика з подвійної маси (див. п.п. 1.3);

-ознайомитися зі схемою і загальною будовою системи автоматичного керування процесами відключення і включення групи циліндрів двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE);

-ознайомитися з методикою проведення експериментальних досліджень двигуна з системою впорскування бензину за різних методів регулювання потужності та очікуваної ефективності запропонованого методу з погляду паливної економічності;

-скласти звіт про виконану роботу - описати загальну будову та накреслити: схему системи паливоподачі двигуна Opel C30 NE; стенда для випробування ДВЗ. Вимоги з організації охорони праці під час проведення лабораторних і практичних робіт в лабораторії випробувань двигунів.

-відповісти на контрольні запитання.

Теоретичні відомості

Одним з ефективних методів підвищення паливної економічності багатоциліндрових бензинових двигунів є комбінований метод регулювання потужності, суть якого полягає у відключенні групи циліндрів в режимах малих навантажень і холостого ходу і зменшенні дроселювання працюючих циліндрів. В останній час основними системами живлення, які застосовуються на бензинових двигунах є системи впорскування бензину із

зворотним зв’язком, робота яких, при застосуванні цього методу, може вплинути на паливну економічність. Так як основними режимами автомобільних двигунів в умовах експлуатації є неусталені режими, то ефективність цього методу, з точки зору покращення паливної економічності і екологічних показників доцільно дослідити саме в цих режимах. Робота присвячена дослідженню паливної економічності і екологічних показників двигуна з системою впорскування бензину і зворотним зв’язком в неусталених режимах при застосуванні комбінованого методу регулювання потужності (КМРП) без зміни системи газообміну.

Поширення систем живлення з впорскуванням легкого палива надають можливість перейти на інший рівень розробок нових систем відключення частини циліндрів і удосконалення існуючих для підвищення паливної економічності колісних транспортних засобів, особливо для серійних двигунів, які знаходяться в експлуатації.

На кафедрі "Двигуни та теплотехніка" Національного транспортного університету розроблено систему живлення багатоциліндрового двигуна з впорскуванням бензину і зворотним зв’язком з комбінованим методом регулювання потужності (КМРП).

Розроблений спосіб відключення циліндрів у двигуні з електронною системою впорскування бензину представлено у вигляді структурної схеми системи управління (рис. 45). Пристрій може автоматично реалізовувати раціональні алгоритми відключення циліндрів залежно від режиму роботи двигуна.

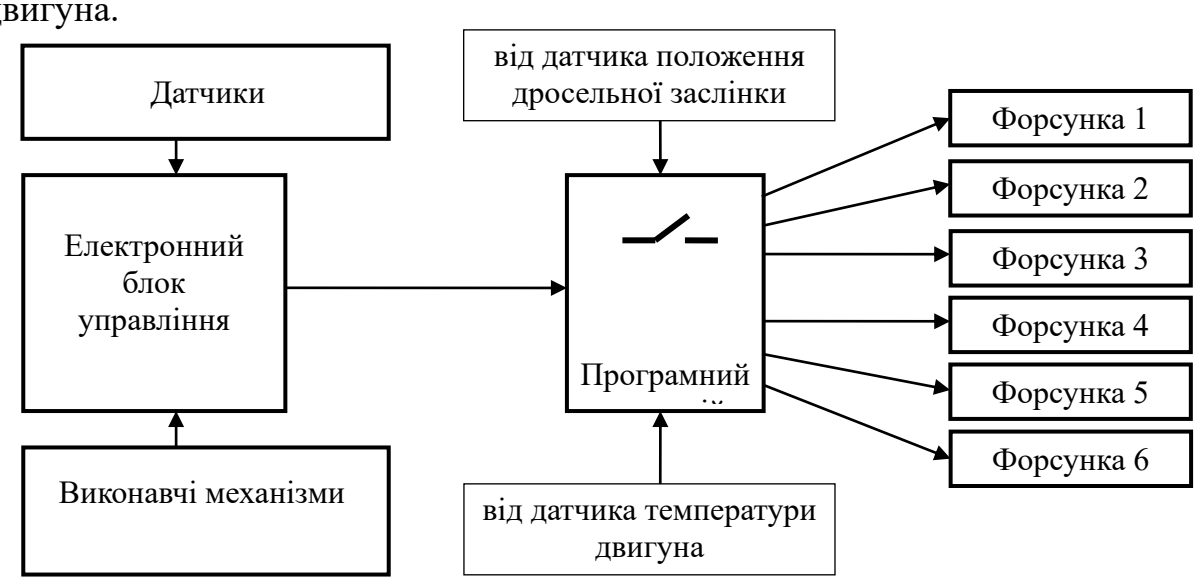


Рисунок 45 – Структурна схема системи керування двигуном з відключенням циліндрів в режимі холостого ходу автомобіля

Основним принципом роботи цієї системи є припинення, в режимах малих навантажень і холостого ходу, подачі палива до циліндрів, що відключаються без зміни газообміну цих циліндрів. Обладнання двигуна такою системою живлення з КМРП виконується без втручання в налаштування електронного блоку керування системою впорскування двигуна, тому можуть встановлюватись на автомобілі, що перебувають в

експлуатації.

Експериментальний зразок системи для реалізації КМРП (рис. 46) був створений на базі системи живлення шестициліндрового бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) з груповою системою впорскування бензину і зворотним зв'язком Bosch "Motronik ML 4.1".

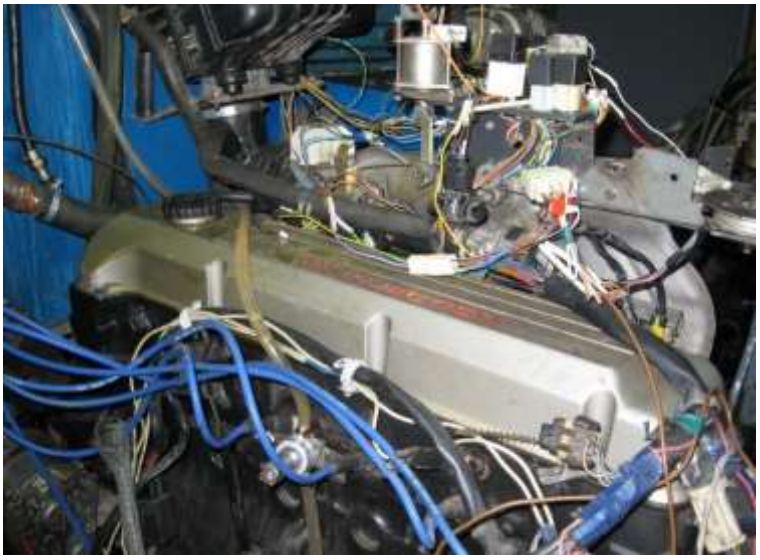


Рисунок 46 – Експериментальна система живлення двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) з КМРП

Таблиця 1.1 – Технічна характеристика двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE)

Параметри	Величина
Тип і розташування циліндрів	бензиновий, рядний
Число тактів	4–тактний
Порядок роботи циліндрів	1-5-3-6-2-4
Діаметр циліндра і хід поршня, мм	95x69,8
Робочий об'єм, $см^3$	2969
Ступінь стискання	8,6
Номінальна потужність, кВт / при частоті обертання, $хв^{-1}$	115/5400
Максимальний крутний момент, Нм / при частоті обертання, $хв^{-1}$	230/4100
Мінімальна частота обертання колінчастого вала в режимі холостого ходу, $хв^{-1}$	750…820
Кількість клапанів на циліндр, шт	2
Система впорскування палива	Motronik ML4.1
Паливо	Автомобільний бензин А–95

Метою створення системи живлення є покращення паливної економічності багатоциліндрового двигуна з впорскуванням бензину керованим відключенням групи циліндрів при роботі на часткових навантаженнях і в режимах холостого ходу. Схема експериментальної системи живлення показана на рис. 47.

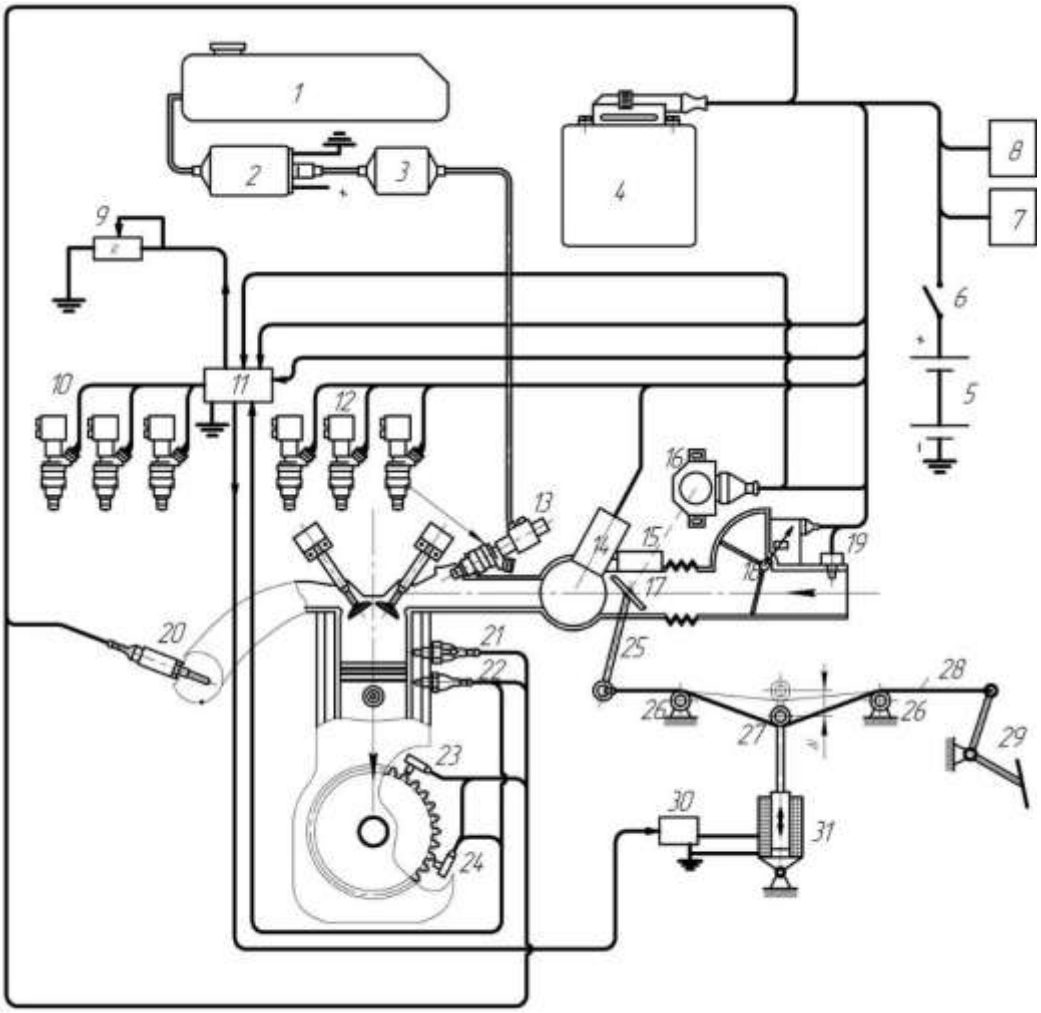


Рисунок 47 – Схема системи живлення двигуна
6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) з КМРП

Система живлення складається з паливного бака 1, електричного паливного насоса 2, паливного фільтра 3, електронного пристрою керування (мікропроцесора) 4, акумуляторної батареї 5, вимикача запалювання 6, головного реле 7, реле включення насоса 8, баластного опору 9, форсунок, що відключаються 10, електронного блоку керування форсунками 11, форсунок, що не відключаються 12, розподільника палива 13, системи холодного пуску 14, пристрою стабілізації холостого ходу 15, датчика положення і величини прискорення дросельної заслінки 16, дросельної заслінки 17, повітроміра 18, датчика температури повітря 19, λ- датчика 20, теплового реле часу 21, датчика температури двигуна 22, датчика кута повороту колінчастого валу 23, датчика частоти обертання 24, важеля привода дросельної заслінки 25, фіксуючого ролика 26, натяжного ролика 27, троса приводу дросельної заслінки 28, педалі газу 29, реле включення електромагніту 30, електромагніту 31.

Зміна режиму роботи двигуна під час відключення групи циліндрів відбувається без зміни його газообміну.

До системи живлення двигуна з механічним тросовим приводом

дросельної заслінки додається електромагніт 31, робота якого керується електронним блоком керування форсунками 11. Сердечник електромагніта зв'язаний з натяжним роликом 27, через який проходить трос керування дросельною заслінкою 28. При часткових навантаженнях і холостому ході за командою електронного блоку керування 11 до обмотки реле включення електромагніту 30 підводиться електричний струм. При включенні електромагніту 31 його сердечник переміщує натяжний ролик 27 на задану величину Δl внаслідок чого кут відкриття дросельної заслінки 17 змінюється на задану величину, у відповідності до роботи двигуна з відключеними циліндрами.

Одночасно з цим електронний блок керування форсунками 11 одержуючи сигнали від датчиків частоти обертання 24 і положення дросельної заслінки 16 відключає блок форсунок 10, переспрямовуючи електричний струм на баластний опір 9. Внаслідок цього двигун не переходить в аварійний режим роботи.

При збільшенні навантаження двигуна до режиму, коли робота на частині циліндрів стає менш економічною за витратою палива, ніж робота на всіх циліндрах, при одній і тій же частоті обертання колінчастого вала, електронний блок керування форсунками 11, у відповідності до сигналу датчика положення дросельної заслінки 16, підключає блок непрацюючих до цього форсунок 10 до системи живлення. Одночасно з цим відключається електромагніт 31 керування натяжного ролика 27 і кут відкриття дросельної заслінки 17 змінюється до величини, що відповідає роботі двигуна на всіх циліндрах.

При зменшенні навантаження двигуна, або при переході в режим холостого ходу, коли більш ефективна робота двигуна при відключенні групи циліндрів, відбувається зворотний процес відключення блоку форсунок і включення в ланцюг баластного опору з одночасною зміною кута відкриття дросельної заслінки на величину, що відповідає роботі двигуна на частині циліндрах.

Холодний пуск двигуна і його прогрів відбуваються за роботи двигуна на всіх циліндрах. Це забезпечує датчик температури повітря 19 і датчик температури двигуна 22, сигнал з яких надходить на електронний блок керування форсунками 11.

Методика проведення лабораторно-практичної роботи

Для проведення лабораторних робіт використовується експериментальна установка, яка складається з шестициліндрового рядного двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) встановленого на універсальний гальмівний стенд СГЕУ-100 з електрогальмівною машиною АКБ-92-4 потужністю 100 кВт і максимальною частотою обертання 3000 хв$^{-1}$, яка дозволяє проводити випробування двигуна в широких межах зовнішнього навантаження. Схема експериментальної установки наведена на рис. 48.

Для можливості визначення характеристик і показників роботи двигуна за роботи з різною кількістю працюючих циліндрів, а також, при КМРП,

двигун обладнано експериментальною системою живлення. За допомогою цієї системи забезпечується можливість відключення групи з трьох циліндрів. Установка має можливість працювати як в автоматичному режимі, змінюючи режим роботи двигуна залежно від навантаження, так і в ручному режимі – коли режим роботи двигуна задає оператор.

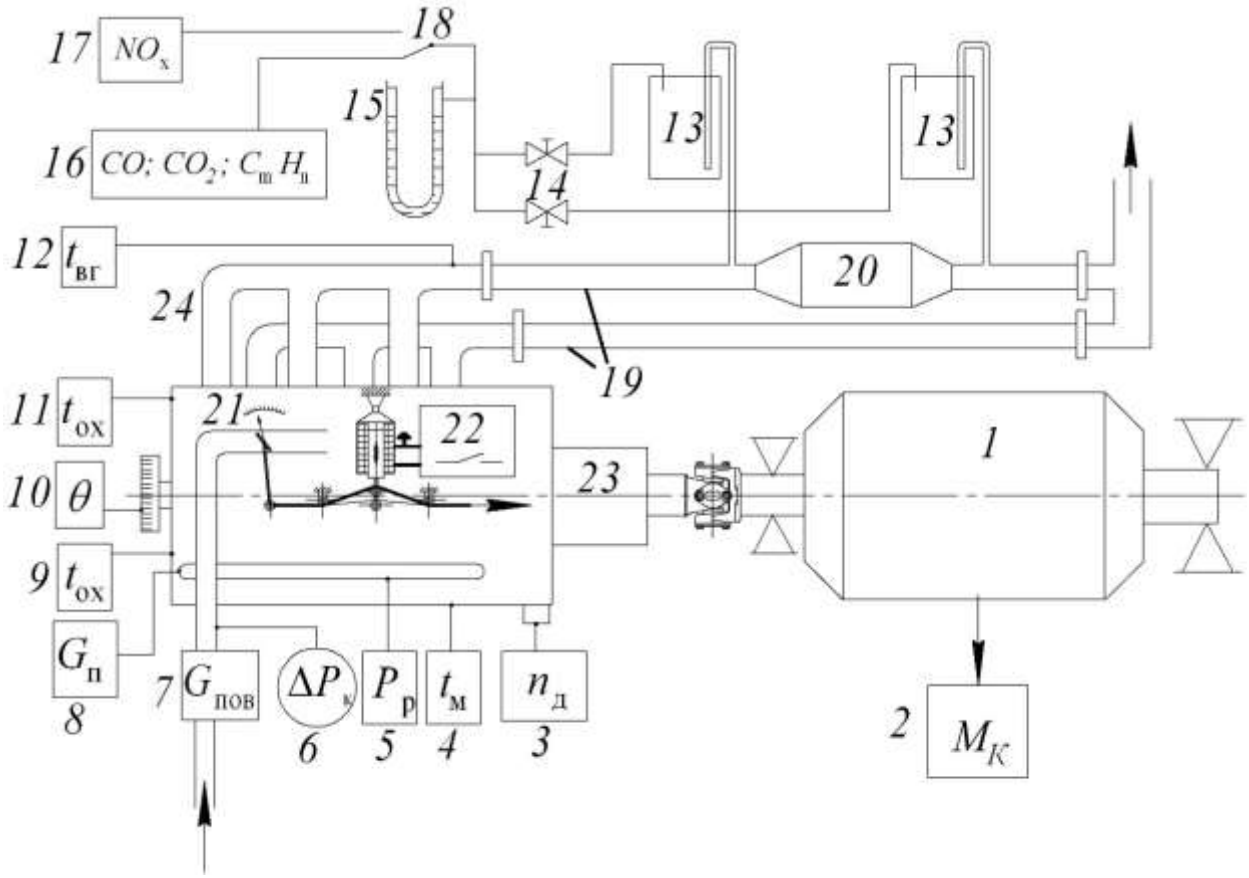


Рисунок 48 – Принципова схема експериментальної установки

1 – стенд СГЕУ-100 з електрогальмівною машиною АКБ-92-4;

2 – вагова головка ВКМ-57

3 – прилад для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна;

4 – датчик температури оливи;

5 – датчик тиску у паливній магістралі;

6 – датчик розрідження у впускному колекторі;

7 – витратомір повітря РГ-600;

8 – ваговий прилад для вимірювання витрати палива;

9 – датчик температури охолодної рідини на виході з блоку циліндрів;

10 – прилад для вимірювання кута випередження запалювання;

11 – датчик температури охолодної рідини на вході у блок циліндрів;

12 – датчик температури відпрацьованих газів;

13 – осушувачі проб ВГ;

14 – дросельний вентиль;

15 – рідинний U-подібний манометр;

16 – газоаналізатор SINCRO EGA 2001;

17 – газоаналізатор 344 ХЛ – 01;
18 – перемикач потоку ВГ між газоаналізаторами;
19 – випускний трубопровід групи циліндрів, які відключають;
20 – трьохкомпонентний каталітичний нейтралізатор;
21 – прилад для вимірювання кута відкриття дросельної заслінки;
22 – експериментальна установка для відключення групи циліндрів;
23 – коробка перемикання передач автомобіля Opel Omega A3.0;
24 – випускний трубопровід групи циліндрів, які постійно працюють

Під час лабораторної роботи.

Визначити навантажувальні характеристики двигуна Opel C30 NE в швидкісному режимах при $n_д$ = 2600 хв$^{-1}$ (або іншій заданій), за роботи двигуна окремо на трьох та шести циліндрах. Для цього:

Провести: за допомогою відповідних датчиків (рис. 49) заміри ефективного крутного моменту $M_е$, частоти обертання колінчастого вала двигуна $n_д$, часу витрати певних доз палива $\tau_{пал}$ та повітря $\tau_{пов}$, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, кута відкриття дросельної заслінки $\varphi_{др}$, кута випередження запалювання θ, температури відпрацьованих газів $t_{ВГ}$, та показників, що характеризують технічний стан роботи двигуна: температури охолодної рідини на виході з блоку циліндрів $t_{ох}$, температури $t_м$ та тиску оливи $p_м$ в системі мащення та тиску в паливній рампі $p_р$.

Виміряти:

-зусилля (крутний момент $M_{е)}$ ваговою головкою ВКМ-57, сполученою з електрогальмівною машиною через реверсивно-важільний механізм;

-кількість спожитого двигуном палива $G_{пал}$ ваговим способом (дозу заміряного палива за допомогою електронних ваг МЕРА ВМ 2/3 і час витрати дози -електронного секундоміру;

-кількість повітря $G_{пов}$, що споживає двигун, ротаційним лічильником газу РГ–600- дозу витрати повітря, який здійснює забір повітря перед повітряним фільтром, ; час витрати дози -електронним секундоміром;

-частоту обертання колінчастого вала двигуна - електронним частотоміром Ф5035. Частотомір отримує сигнал від індукційного датчика, розташованого на корпусі зчеплення поряд з зубцями вінця маховика;

-кут випередження запалювання Θ стробоскопом ПАС–2 за шкалою, нанесеною на шків колінчастого вала двигуна;

-кут відкриття дросельної заслінки за положенням стрілки, встановленої безпосередньо на її осі і градуйованою шкалою;

-розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$ електричним вакуумметр ОБВ1–160, що встановлений безпосередньо на впускний трубопровід, щоб уникнути інерційних відхилень під час вимірювання тиску;

-температуру ВГ термопарою ТХА-410, розміщеною у випускному трубопроводі та потенціометром ЕПП-09.

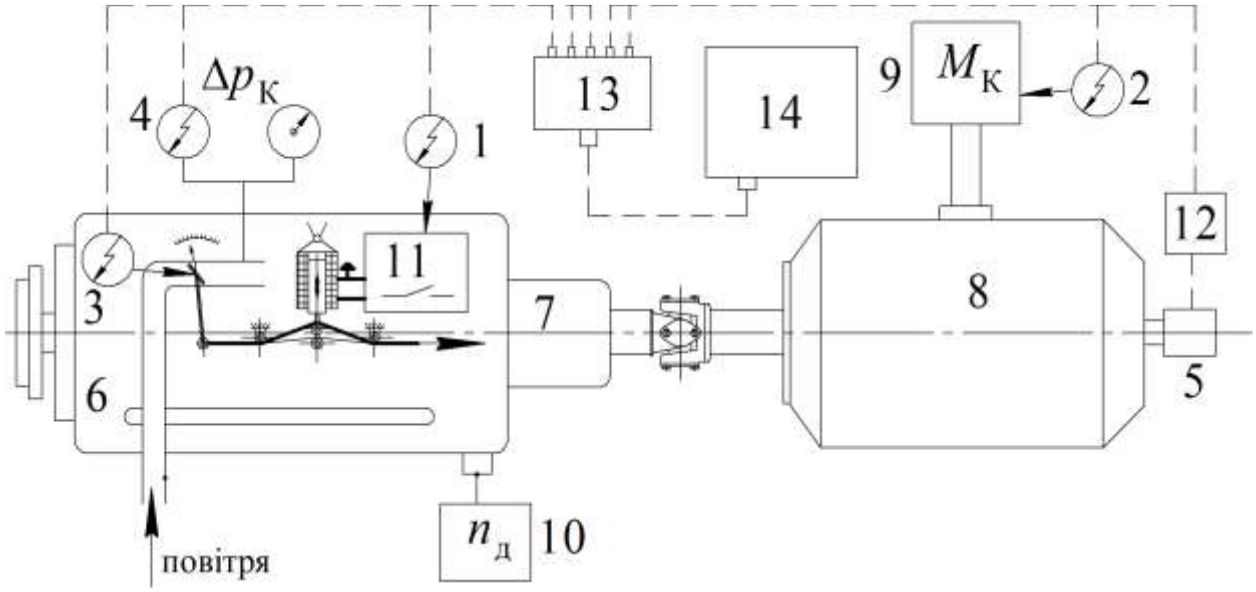


Рисунок 49 – Схема розміщення датчиків на експериментальній установці для визначення показників роботи двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE);

1 – датчик переходу роботи двигуна з шести циліндрів на три і навпаки;
2 – датчик крутного моменту;
3 – датчик для вимірювання кута відкриття дросельної заслінки;
4 - датчик для вимірювання розрідження у впускному трубопроводі;
5 – тахогенератор;
6 – двигун 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE);
7 – коробка перемикання передач автомобіля Opel Omega A3.0;
8 – стенд СГЕУ-100 з електрогальмівною машиною АКБ-92-4;
9 - вагова головка ВКМ-57;
10 – прилад для вимірювання частоти обертання колінчастого вала двигуна;
11 – пристрій для відключення групи циліндрів;
12 – перетворювач електричного струму;
13 – USB осцилограф;
14 – ПК

Розрахунком за отриманими експериментально величинами **визначити**: ефективну потужність N_e, годинні витрати палива $G_{пал}$ та повітря $G_{пов}$, питому витрату палива g_e, коефіцієнт надміру повітря α.

Порядок виконання лабораторно-практичних робіт

1. Ознайомитися з вимогами безпеки при проведенні лабораторно-практичних робіт.
2. Ознайомитися з експериментальною установкою.
3. Ознайомитися з методикою проведення лабораторно-практичної роботи.
4. Провести заміри характеристик двигуна згідно наведеній методиці.
5. Результати вимірювань звести в протокол (паперовий) чи в середовищі Excel (Додаток В). Обробку результатів експерименту проводять на ЄОМ за методикою, наведеною в розділі 7 (стор. 73).

Заповнений та опрацьований протокол випробувань (паперовий) чи в середовищі Excel (додаток Г) з графічними залежностями окремих розрахункових величин використовують для подальшого формування наукового звіту.

6. За результатами експериментальних та розрахункових досліджень (вручну) чи засобами наукового пакету для аналізу і обробки даних OriginPro побудувати графічні залежності та визначити необхідні показники роботи двигуна виходячи з мети роботи.
7. Відповісти на контрольні запитання.

Контрольні запитання

1. Вимоги безпеки при проведенні лабораторно-практичних робіт.
2. Структурна схема системи керування двигуном з відключенням циліндрів.
3. Методи підвищення паливної економічності багатоциліндрових бензинових двигунів.
4. Які показники роботи ДВЗ вимірюємо під час лабораторної роботи?
5. Методика проведення лабораторно-практичної роботи.
6. Які прилади застосовуються для визначення показників роботи двигуна.
7. Порядок побудови графічних залежностей.

Лабораторно-практична робота № 1
НАВАНТАЖУВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА 6-ТИ ЦИЛІНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА

Навантажувальна характеристика бензинового двигуна показує залежність основних показників роботи двигуна від навантаження за постійної частоти обертання.

Мета роботи.

Визначити залежності годинних витрат палива $G_{пал}$, повітря $G_{пов}$, питомої витрати палива g_e, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, коефіцієнта наповнення циліндрів η_v та коефіцієнта надміру повітря α бензинового двигуна Opel C30 NE від навантаження, яке характеризується крутним моментом $M_к$, Н·м, або потужністю N_e, кВт за постійної частоти обертання. В таблицю потрібно звести показники двигуна при мінімальній питомій витраті палива $g_{e\,min}$ та при максимальній потужності $N_{e\,max}$.

Для прикладу на рис. 50 наведена навантажувальна характеристика бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE).

Порядок виконання роботи.

При визначенні характеристики, навантаження змінюють реостатом навантажувального пристрою, а відновлення швидкісного режиму здійснюють зміною положення дросельної заслінки.

Режими навантажень змінюють від мінімального до максимально можливого за постійної частоти обертання з рівномірними проміжками для отримання характеристики з 6-7 точок.

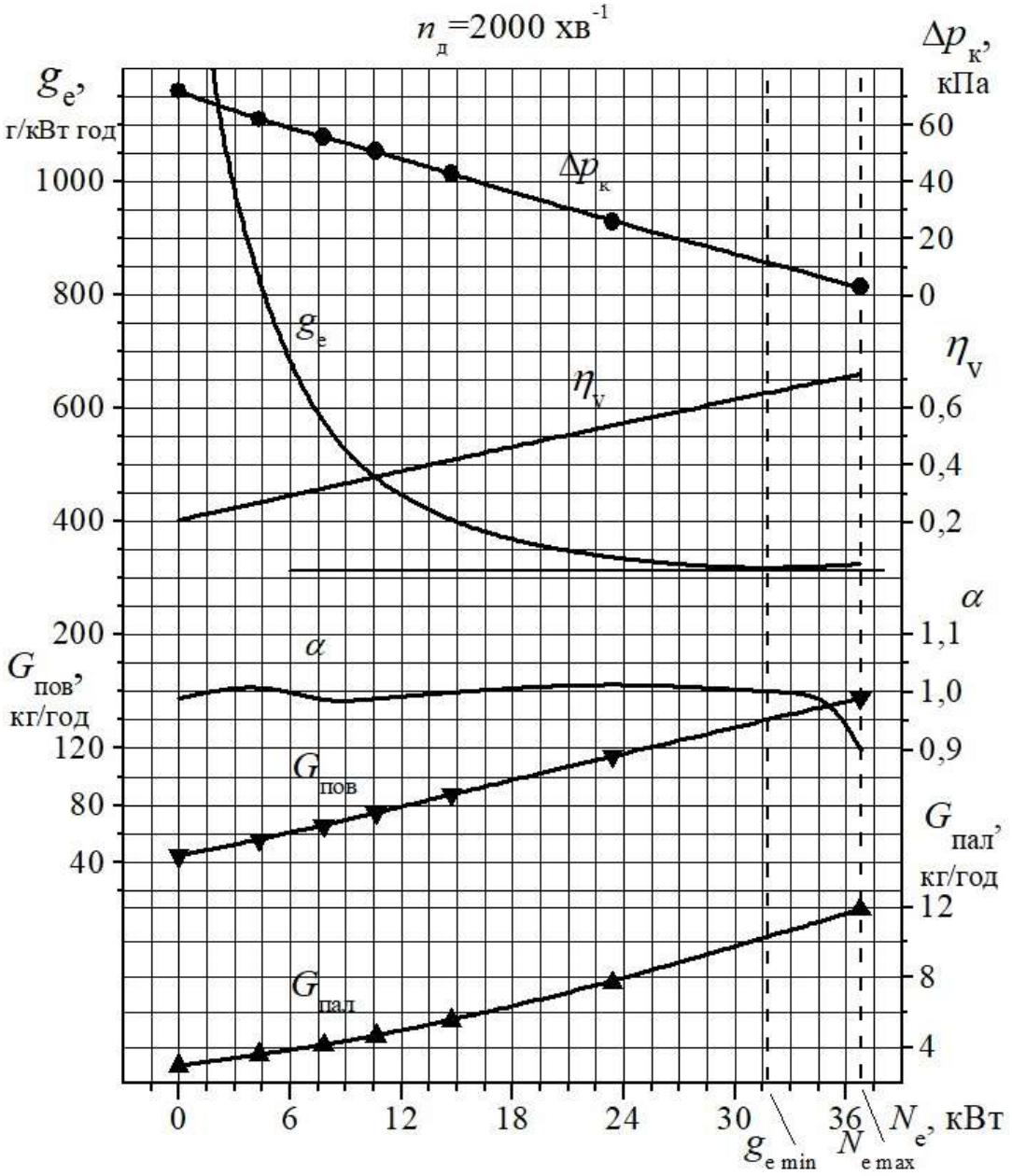
В процесі випробувань вимірюють зусилля гальмівного механізму P, кгс·м. За цими значеннями сили, використовуючи залежність (1), розраховують крутний момент двигуна, Н·м:

$$M_к = P \cdot 0{,}716 \cdot 9{,}81$$

За побудованими графічними залежностями годинних витрат палива $G_{пал}$ і повітря $G_{пов}$, розраховують значення питомої витрати палива g_e, коефіцієнта надміру повітря α та коефіцієнта наповнення циліндрів η_v, використовуючи для розрахунків такі значення потужності двигуна: N_e = 0; 5; 10; 15; 20; 30 кВт та $N_{e\,max}$.

Після обробки результатів вимірювання будують криві навантажувальної характеристики двигуна - $G_{пал}(N_e)$, $G_{пов}(N_e)$, $g_e(N_e)$, $\alpha(N_e)$, $\Delta p_к(N_e)$, $\eta_v(N_e)$, з них, $G_{пал}(N_e)$, $G_{пов}(N_e)$, $\Delta p_к(N_e)$ - з нанесенням різних познак експериментальних точок (рис. 50).

В таблицю зводять показники двигуна при мінімальній питомій витраті палива $g_{e\,min}$ та при максимальній потужності $N_{e\,max}$.



Режим	N_e, кВт	$G_п$, кг/год	g_e, г/кВт год	α	η_v	$\Delta p_к$
$g_{e\,min}$	32	10,3	315	1	0,65	11
$N_{e\,max}$	36,77	12	324	0,9	0,72	3

Рисунок 50 – Навантажувальна характеристика 6-ти циліндрового бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE).

Контрольні запитання.

1. Що таке навантажувальна характеристика бензинового двигуна?
2. Які характерні точки можна визначити на цій характеристиці?
3. Яка методика визначення навантажувальної характеристики бензинового двигуна на стенді?
4. Правила техніки безпеки під час проведення випробовувань двигуна.

Лабораторно-практична робота № 2
НАВАНТАЖУВАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА 6-ТИ ЦИЛІНДРОВОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА З КОМБІНОВАНИМ МЕТОДОМ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ ПРИ РОБОТІ НА 3-Х ЦИЛІНДРАХ

Навантажувальна характеристика бензинового двигуна показує залежність основних показників його роботи від навантаження за постійної частоти обертання при роботі на 3-х циліндрах.

Мета роботи.

Визначити залежності годинних витрат палива $G_{пал}$, повітря $G_{пов}$, питомої витрати палива g_e, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, коефіцієнта наповнення циліндрів η_v та коефіцієнта надміру повітря α бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) від навантаження, яке характеризується крутним моментом $M_к$, Н·м, або потужністю N_e, кВт за постійної частоти обертання при роботі двигуна на 3-х циліндрах.

В умовах експлуатації основними режимами роботи автомобільних двигунів є часткові навантажувальні та швидкісні режими. В цих режимах паливна економічність бензинових двигунів погіршується внаслідок збільшення відносної частки насосних втрат та погіршення робочого процесу.

Одним з ефективних методів поліпшення паливної економічності бензинових двигунів є перехід від традиційного дроселювання до комбінованого методу регулювання потужності (КМРП), суть якого полягає у відключенні групи циліндрів в режимах часткових навантажень та холостого ходу та роботі на всіх циліндрах в режимах значних навантажень.

При відключенні групи циліндрів кут відкриття дросельної заслінки збільшується для забезпечення однакового навантажувального режиму двигуна до і після відключення. При зменшенні дроселювання збільшується коефіцієнт наповнення циліндрів паливоповітряною сумішшю η_v, покращується робочий процес та зменшуються механічні втрати в двигуні.

Відключення циліндрів можна реалізувати зі зміною системи газообміну та без зміни. Застосування цього методу зі зміною системи газообміну можливо лише в процесі проектування і виробництва, через потребу зміни конструкції двигуна. Відключення групи циліндрів без зміни системи газообміну хоча має меншу ефективність щодо поліпшення паливної економічності, але може застосовуватись на серійних двигунах, які перебувають в експлуатації.

Для визначення ефективності КМРП проводять випробування сучасного 6-ти циліндрового бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) з системою розподіленого впорскування Bosch Motronik ML 4.1. Двигун обладнаний системою живлення з можливістю відключення 3-х циліндрів, як в ручному, так і в автоматичному режимі. Принцип роботи системи полягає в припиненні роботи паливних форсунок групи циліндрів і збільшенні кута

відкриття дросельної заслінки $\varphi_{др}$ для забезпечення однакового навантажувального режиму до і після відключення. При цьому електричний струм спрямовується на баластний опір, рівноцінний опору паливних форсунок, внаслідок чого двигун не переходить в аварійний режим роботи.

Порядок виконання роботи.

При визначенні характеристики навантаження змінюють реостатом навантажувального пристрою, а відновлення швидкісного режиму здійснюють зміною положення дросельної заслінки.

Режими навантажень змінюють від мінімального до максимально можливого при роботі двигуна на 3-х циліндрах за постійної частоти обертання з рівномірними проміжками для отримання характеристики з 6-7 точок.

В процесі випробувань вимірюють зусилля гальмівного механізму P, кгс·м. За цими значеннями сили, використовуючи залежність (1), розраховують крутний момент двигуна, Н·м:

$$M_к = P \cdot 0{,}716 \cdot 9{,}81$$

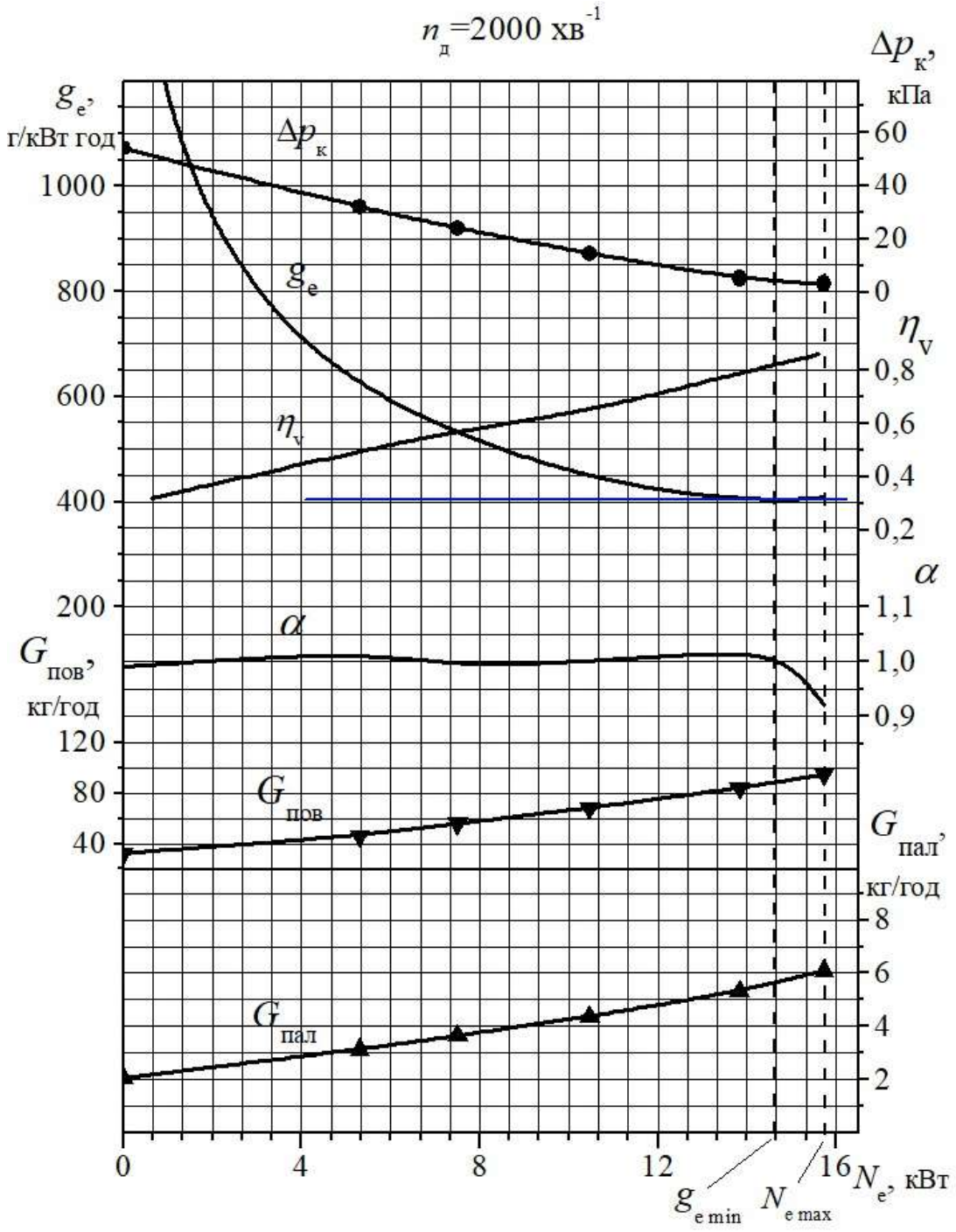
За побудованими графічними залежностями годинних витрат палива $G_{пал}$ і повітря $G_{пов}$, розраховують значення питомої витрати палива g_e, коефіцієнта надміру повітря α та коефіцієнта наповнення циліндрів η_v, використовуючи для розрахунків такі значення потужності двигуна – N_e = 0; 3; 6; 9; 12; 15 кВт та $N_{e\ max}$.

Після обробки результатів вимірювання будують криві навантажувальної характеристики двигуна - $G_{пал}(N_e)$, $G_{пов}(N_e)$, $g_e(N_e)$, $\alpha(N_e)$, $\Delta p_к(N_e)$, $\eta_v(N_e)$ з них, $G_{пал}(N_e)$, $G_{пов}(N_e)$, $\Delta p_к(N_e)$ - з нанесенням різних познак експериментальних точок (рис. 51).

В таблицю зводять показники двигуна при мінімальній питомій витраті палива $g_{e\ min}$ та при максимальній потужності $N_{e\ max}$.

Контрольні питання.

1. Які характерні точки можна визначити на цій характеристиці?
2. У чому полягає суть комбінованого методу регулювання потужності?
3. При регулюванні потужності відключенням циліндрів, що відбувається з температурним режимом циліндрів, які не працюють?
4. Принцип роботи двигуна обладнаного системою живлення з можливістю відключення частини циліндрів?
5. Правила техніки безпеки під час проведення випробовувань двигуна.



Режим	N_e, кВт	$G_п$, кг/год	g_e, г/кВт год	α	η_v	$\Delta p_к$
$\boldsymbol{g_{e\,min}}$	14,5	5,6	403	1	0,81	5
$\boldsymbol{N_{e\,max}}$	15,7	6,09	388	0,92	0,86	3

Рисунок 51 – Навантажувальна характеристика 6-ти циліндрового бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) з комбінованим методом регулювання потужності при роботі на 3-х циліндрах

Лабораторно-практична робота № 3
ВПЛИВ МЕТОДУ РЕГУЛЮВАННЯ ПОТУЖНОСТІ БЕНЗИНОВОГО ДВИГУНА НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ

Мета роботи.

1. Визначити вплив методу регулювання потужності багатоциліндрового бензинового двигуна з системою впорскування на паливну економічність та інші показники його роботи.

2. Визначити максимальну величину поліпшення паливної економічності двигуна за роботи на 3-х циліндрах в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах.

3. Визначити режим роботи $N_{e\ 6=3}$, коли паливна економічність двигуна за роботи з різною кількістю працюючих циліндрів стає однаковою, тобто відключення циліндрів перестає бути ефективним (межі діапазону ефективного функціонування двигуна з групою відключених циліндрів).

4. Визначити середню величину поліпшення паливної економічності двигуна в діапазоні зміни навантаження до точки $N_{e\ 6=3}$.

Порядок виконання роботи.

1. Для визначення впливу методу регулювання потужності бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) на паливну економічність та інші показники його функціонування будують об’єднану порівняльну навантажувальну характеристику двигуна при роботі на 6-ти та 3-х циліндрах, а саме – $G_{\text{пал }6}(N_e)$, $G_{\text{пов }6}(N_e)$, $g_{e\ 6}(N_e)$, $\alpha_{\ 6}(N_e)$, $\Delta p_{\text{к }6}(N_e)$, $\eta_{v\ 6}(N_e)$, $G_{\text{пал }3}(N_e)$, $G_{\text{пов }3}(N_e)$, $g_{e\ 3}(N_e)$, $\alpha_{\ 3}(N_e)$, $\Delta p_{\text{к }3}(N_e)$, $\eta_{v\ 3}(N_e)$.

2.

Із суміщених графіків (рис. 52) визначають:

- режим роботи $N_{e\ 6=3}$, коли паливна економічність двигуна за роботи з різною кількістю працюючих циліндрів стає однаковою, тобто відключення циліндрів перестає бути ефективним (межі діапазону ефективної роботи двигуна з групою відключених циліндрів), кВт;

- величину максимального поліпшення паливної економічності двигуна за роботи на 3-х циліндрах в порівнянні з роботою на 6-ти циліндрах, %;

$$\Delta_{\max} = \frac{G_{\text{п6}} - G_{\text{п3}}}{G_{\text{п6}}} \cdot 100; \qquad (11)$$

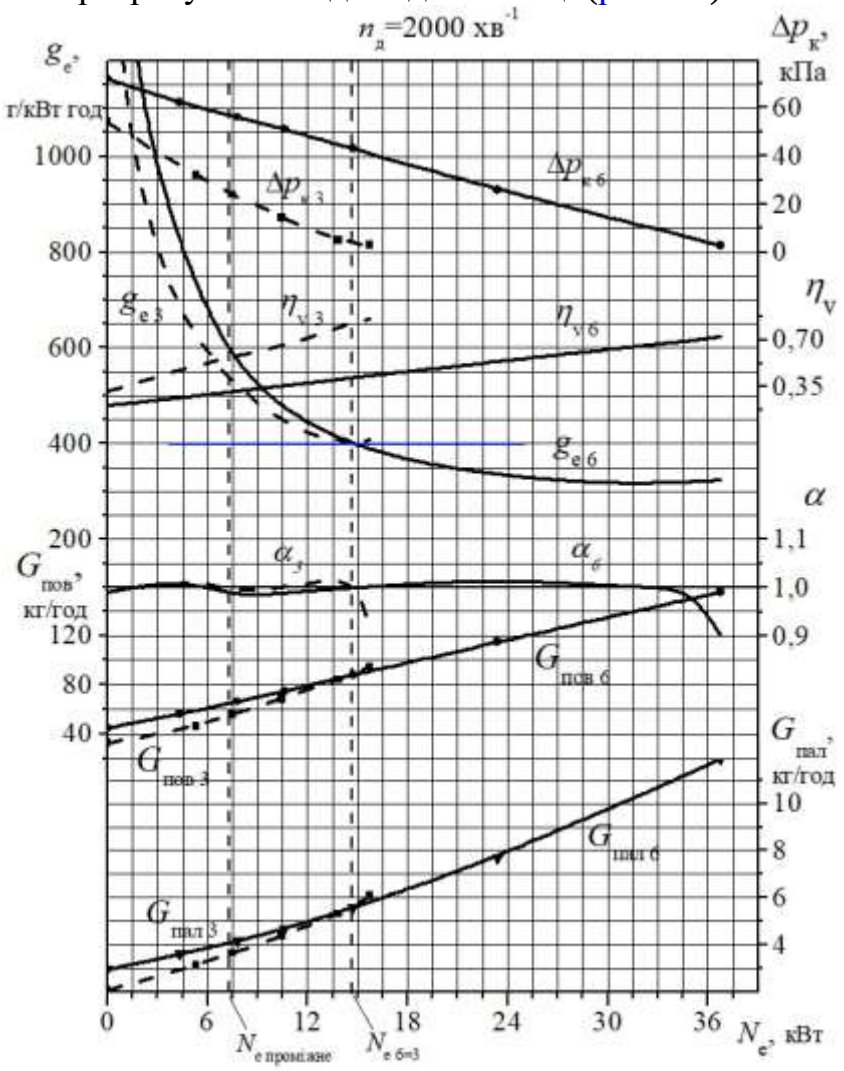
- середню величину покращення паливної економічності двигуна в діапазоні зміни навантаження до точки $N_{e\ 6=3}$.

$$\Delta_{\text{сер}} = \frac{\Delta_1 + \Delta_2 + \Delta_3}{n}, \qquad (12)$$

де $\Delta_1=\Delta_{\max}$, а Δ_2 і Δ_3 визначають з графічних залежностей годинних витрат палива:

$$\Delta_i = \frac{G_{i6} - G_{i3}}{G_{i6}} \cdot 100. \qquad (13)$$

Результати розрахунків зводять до таблиці (рис. 52).



Режим	N_e, кВт	$G_{п6}$, кг/год	$G_{п3}$, кг/год	Δ, %
$N_{e\,6=3}$	14,7	5,4	5,4	0
$N_e = 0$ (Δ_{max})	0	2,96	2,06	30,39
N_e - проміжне	7	4,05	3,6	11,11

$\Delta_{сер}$ = 13,83

Рисунок 52 – Визначення впливу методу регулювання потужності бензинового двигуна 6Ч 9,5/6,98 (Opel C30 NE) на паливну економічність та інші показники його роботи

Контрольні запитання.

1. В чому полягає суть методу регулювання потужності багатоциліндрового бензинового двигуна з системою впорскування.
2. Як визначають доцільність застосування роботи двигуна на 3-х циліндрах?
3. Яким чином забезпечують відключення групи циліндрів?
4. Правила техніки безпеки під час проведення випробовувань двигуна.

9. ВИКОРИСТАННЯ АЛЬТЕРНАТИВНОГО БІОПАЛИВА

Використання спиртових палив викликано необхідністю зменшення рівня споживання не поновлюваних природних ресурсів та поліпшення стану навколишнього природного середовища.

До таких палив, зокрема, відносять спиртовмісні палива – бензини з додаванням етанолу, метанолу та бутанолу, які використовують, основним чином, як добавки. Використання спиртовмісних палив зменшує рівень споживання палив нафтового походження і сприяє поліпшенню екологічних показників двигунів.

Використання спиртів як альтернативних моторних палив для ДЗВ мають низку переваг, основними серед яких є:

використання власної сировини для виробництва палив робить країну енергетично незалежною від імпортної нафти;

утилізація відходів певних виробництв як сировини для виробництва спирту, що зменшує забруднення довкілля;

зменшення викидів шкідливих речовин, що поліпшує екологічність автомобільного транспорту.

Завдяки більш простій структурі, а також незначним розмірам молекул спиртів відбувається більш повне згорання палива та зменшується кількість проміжних хімічних сполук, які можуть бути токсичними. Крім того, завдяки зниженню вмісту вуглецю відносно водню, в процесі згорання альтернативних палив в меншій кількості, в порівнянні з бензином, утворюється *CO*.

Спиртові палива: метанол та етанол (табл. 2) близькі між собою за теплотворною здатністю стехіометричної суміші.

Досвід експлуатації транспортних засобів переконав у небезпеці, яку несе дуже токсичний метанол. Тому на сьогодні, в якості моторного палива, перевагу віддають етанолу.

Отже позитивним є те, що етиловий спирт отримують з поновлюваних джерел енергії – відходів.

Недоліком такого палива є те, що нижча теплота згорання, істотно менша ніж у бензину, зменшує максимальну потужність двигуна та збільшує витрату палива. Проте, спирти характеризує більш високе октанове число і можливість застосування більш високих ступенів стискання, що забезпечує детонаційну стійкість згорання та сприяє збільшенню к.к.д.

Слід також звернути увагу на більш високу теплоту пароутворення етилового спирту (850 кДж/кг), порівняно з бензином (330 кДж/кг) що забезпечує зниження температури "свіжої" порції палива і поліпшує наповнення двигуна. Завдяки зменшенню максимальної температура циклу, мають зменшитись і викиди NO_x. Отже двигуни, для живлення яких використовують спирти, викидають менше токсичних речовин, що позитивно впливатиме на розвиток глобальних екологічних негараздів – руйнацію озонового прошарку, підсилення парникового ефекту, виникнення смогу.

Таблиця 2.

Основні властивості рідких палив для ДВЗ

Властивості	Одиниці, вимірювання	Рідке паливо		
		бензин	метанол	етанол
Густина при 20°С	кг/м^3	740	791	810
Нижча теплота згорання	МДж/кг	43,3--44,0	19,5-19,945	25,0-26,8
	МДж/м^3	32500	15780	20255
Калорійність суміші стехіометричної з повітрям	кДж/м^3	3439-3910	3175-3860	3850
Теплота пароутворення	кДж/кг	330	1104	850
Температура кипіння	К	303-478	338	351
Температура спалахування	К	753-823	743-773	665
Тиск пару при 20°С	кПа	60-90	37	15,8
Теоретично необхідна кількість повітря	кг повітря/ кг·палива.	14,9	6,52	9
	кмоль повітря/ кг·палива.	0,512	0,223	0,324
Нижня межа займання паливоповітряної суміші	-	1,16	1,92	1,7
Октанове число: за моторним методом (LOM)	-	82-84	87-95	94
за дослідницьким методом (LOB)	-	92-100	106-135	108
Максимальна швидкість поширення полум'я	м/с	37-43	55	54
Температура полум'я в повітрі	К	2335-2470	2185	2235

Проте, встановлено, що при згорянні спиртових палив зростає вміст у продуктах згоряння альдегідів, в основному формальдегіду і ацетальдегіду, які мають високу токсичність. В країнах, де спиртові палива використовують більш широко, навіть встановлюють норми щодо обмеження цих складових ВГ. [13]. Спирти агресивно впливають на деталі двигуна, виготовлені з легких сплавів і неметалевих матеріалів. Тому, зазвичай, потрібна спеціальна система живлення. Також спирти адсорбують вологу, і це викликає корозію паливного бака та інших елементів системи живлення.

Зважаючи і враховуючи переваги і недоліки спиртових палив створено і запропоновано для живлення двигунів з іскровим запалюванням бензин Е-95-40, що є комерційним паливом з вмістом 36,4% етанолу, який не потребує зміни параметрів системи живлення та запалювання.

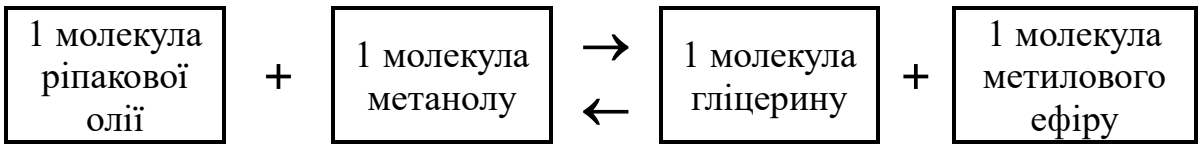
Заміщення нафти рослинними паливами доцільне для країн з огляду подолання дефіциту постачання палива із-за кордону. Розвиток виробництва рослинних палив в країнах, які не мають своїх нафтових родовищ, усуває загрозу політичного шантажу.

В різних країнах сировина, з якої отримують рослинні паливі - різні, в основному, до них відносять: соєву олію (OS), пальмову олію (OP) і її ефіри Crude Palm Oil (CPO) і Crude Palm Stearin (CPS), соняшникову олію (OSi), ріпакову олію (OR) і її ефір (EMKOR).

Всі рослинні олії горючі і можуть бути використані для живлення двигунів із займанням від стиску, тобто дизелів. Термічна нестабільність і висока в'язкість рослинних олій ускладнюють їх використання як альтернативного моторного палива. Уникнути цих недоліків можна якщо виробляти з них ефіри.

Метилові ефіри вищих жирних кислот, наприклад, ріпакової олії (наближена формула $C_{19}H_{35,2}O_2$), отримують промисловим способом застосуванням процесу алкоголізації ефірів, тобто в результаті реакції тригліцеринів зі спиртами в присутності жирних і основних каталізаторів.

Для отримування ефірів рослинних олій застосовують процес гідролізу в присутності каталізаторів.



В результаті цього процесу додатково отримують побічний продукт – гліцерин.Рослинні палива і їх ефіри мають приблизно на 8-17% меншу калорійність (36 МДж кг порівняно з 43,84 МДж/кг дизельного палива), мають на 9% більшу густину (0,917 кг/дм^3 і 0,839 кг/дм^3), що частково компенсує їх меншу теплотворну здатність (табл.3). Цетанове число рослинних палив незначно відрізняється від дизельного палива, для ефірів воно навіть більше, приблизно, на 8 %.

Таблиця 3.

Фізико-хімічні властивості палив виробництва Німеччини

Властивості палива	Одиниці вимірювання	Дизельне паливо	Ріпакова олія	Метиловий ефір (EMKOR)
Наближена сумарна формула		$C_{13}H_{24}$	$C_{57}H_{101,6}O_6$	$C_{19}H_{35,2}O_2$
Молярна маса	кг/моль	120-320	883	296
Цетанове число		>50	≈44	52-56
Теплотворна здатність при 20°С	МДж/дм^3	35,7	33,7	32,6
Теплотворна здатність при 40°С	МДж/кг	42,7	36,7	37,1
Теоретично необхідна кількість повітря	кг повітря/ кг·палива.	14,57	12,43	12,53
Густина	кг/дм^3	0,84	0,916	0,882
Кінематична в'язкість при 20 °С	мм^2/с	4-5,5	75	6-8
Кількість палива, що википає: за температури 250 °С за температури 350 °С	???	 38-54 92-96	 розкладання розкладання	 0 95
Фільтрованість: влітку взимку	 °С °С	 -15 -25	(+15)	 -7 -7

Ефіри рослинних олій містять в декілька разів менше сірки, ніж дизельне паливо (0,02 - 0,05% - ефіри ріпакової олії і 0,1% - дизельне паливо), також вони містять більше пов'язаного кисню в жирних кислотах, що покращує процес згоряння, завдяки чому менший вміст сажі в продуктах згоряння,

Проте, рослинні олії мають на порядок більшу в'язкість, яка впливає на процеси впорскування і розпилювання палива, що обмежує їх застосування за низьких температур. В'язкість ефірів на 60% нижча, ніж олій, що розширює можливості застосування їх для дизелів.

В цілому, використання метилового ефіру ріпакової олії викликано необхідністю зменшити рівень споживання палив з непоновлювальних природних ресурсів та поліпшити стан навколишнього середовища.

Одним із напрямів поліпшення показників роботи двигуна з іскровим запалюванням є інтенсифікація процесу згорання завдяки активуючим добавкам, до яких належать речовини, що мають вищу швидкість згоряння, ніж основне паливо, і найбільш перспективним серед них є використання добавки водню, швидкість поширення фронту полум’я якого 270 см/с, а бензину 30 см/с. Поширення набуло використання водневмісних сполук, як добавки до бензину. До таких сполук належить водневмісний газ (так званий газ Брауна, H_2/O_2), який отримують електролізом водних розчинів лугів і який складається з молекул і атомів водню і кисню. Продукує газ бортовий генератор – електролізер(наприклад - прордуктивність газової суміші: електролізера SuperKit10 – 1,4 л/хв; електролізної установки «Лига-2» - до 5 л/хв.) Такий метод поліпшення перебігу робочого процесу є дуже перспективним, оскільки він не потребує зміни конструкції двигуна і його можна реалізувати в умовах експлуатації.

Використання водню, як добавки до бензину, дозволяє забезпечити більш повне згоряння паливоповітряної суміші, значно розширює межі стабільного запалювання (α=0,15 - 10) і прискорює процес горіння в окремих фазах згоряння.

В результаті проведення випробовувань, необхідно визначити вплив величини добавки водневмісного газу до паливоповітряної суміші на екологічні показники та паливну економічність двигуна з іскровим запалюванням.

Лабораторно-практична робота № 4
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ З КАРБЮРАТОРНОЮ СИСТЕМОЮ ЖИВЛЕННЯ

Мета – визначення ефективності використання спиртовмісного палива Е-95-40 для живлення двигуна з іскровим запалюванням з карбюраторною системою живлення.

Задача – Здійснити порівняльні випробовування двигуна з іскровим запалюванням з карбюраторною системою при живленні:

- штатним (товарним) бензином А-95
- спиртовмісним (товарним) паливом Е-95-40;

Об'єкт випробувань: двигун з іскровим запалюванням МеМЗ-245 з карбюраторною системою живлення

Порядок виконання роботи

При виконанні лабораторної роботи визначають дві навантажувальні характеристики двигуна з іскровим запалюванням МеМЗ-245 з карбюраторною системою живлення за однакових умов роботи при живленні різними видами палив.

Визначають характеристики за постійної частоти обертання. При зміні навантаження частоту обертання автоматично підтримує стенд, обладнаний системою стабілізації. Зміну навантаження досягають зміною кута відкриття дросельної заслінки двигуна.

Перший вимір в режимі холостого ходу - важіль керування дросельною заслінкою встановлюють в положення найменшої подачі паливоповітряної суміші для заданого швидкісного режиму двигуна при роботі без навантаження.

При досягненні усталеної роботи двигуна в даному режимі на усіх робочих місцях здійснюють фіксацію вимірюваних величин у протоколах: крутний момент $M_к$ (при першому вимірюванні $M_к \approx 0$), вимірюють час споживання двигуном обраних доз палива $\tau_П$ і повітря $\tau_{ПОВ}$, фіксують тиск оливи $p_М$, температуру відпрацьованих газів $t_{ВГ}$, температуру рідини в системі охолодження $t_{ОХ}$ та оливи в системі мащення $t_М$, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, а також концентрації у відпрацьованих газах C''_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_X} та C''_{CO_2}.

Для другого виміру - навантаження двигуна збільшують до $0{,}2 \cdot M_{к\,max}$, ($M_{к\,max}$ визначають з технічної характеристики двигуна, або з попередніх випробувань). Третій і наступні здійснюють з навантаженнями відповідно $0{,}35 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}5 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}6 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}8 \cdot M_{к\,max}$ та за повної потужності -$\cdot M_{к\,max}$.

Усі вимірювання проводять в усталених режимах.

Після охоплення всього навантажувального діапазону двигуна змінюють вид палива і повторюють експеримент спочатку.

Обробку результатів експерименту проводять на ЄОМ за методикою, наведеною в розділі 7 (стор. 73).

Заповнений та опрацьований протокол випробувань в середовищі Excel (додаток Г) з графічними залежностями окремих розрахункових величин використовують для подальшого формування наукового звіту.

За результатами розрахунків засобами наукового пакету для аналізу і обробки даних OriginPro будують графічні залежності: годинної витрати палива $G_{\text{пал}}$, питомої витрати палива g_{e}, коефіцієнту надміру повітря α та концентрацій токсичних компонентів відпрацьованих газів - $C^{//}_{CO}$, $C^{/}_{C_mH_n}$, $C^{/}_{NO_X}$ від потужності N_{e} при живленні двигуна різними видами палив. Визначають значення параметрів двигуна в режимі мінімальної питомої витрати палива та наводять в таблиці (рис. 53).

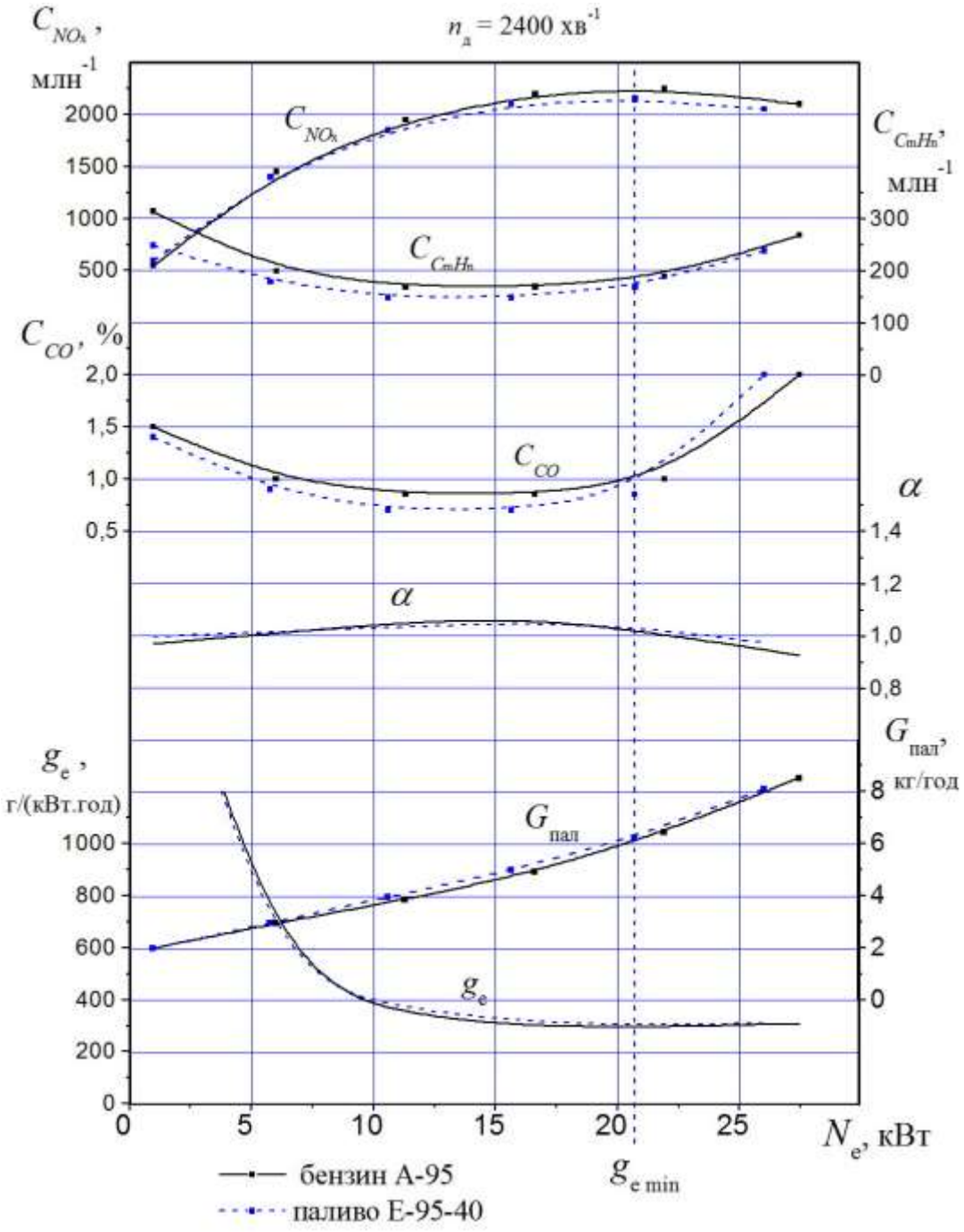
Приклад порівняння навантажувальних характеристик двигуна МеМЗ-245 при живленні різними видами палив наведено на рис. 53. Така характеристика є документом для наукового звіту, що засвідчує результати випробувань.

За отриманими залежностями проводять порівняльний аналіз енергетичних, екологічних показників та паливної економічності двигуна. Для цього визначають величину зміни кожного показника роботи двигуна при переході на живлення спиртовмісним паливом Е-95-40.

На основі отриманих даних роблять висновок щодо ефективності використання спиртовмісного палива Е-95-40 для живлення двигунів з іскровим запалюванням з карбюраторною системою живлення.

Контрольні запитання

1. Правила техніки безпеки під час проведення випробувань двигуна.
2. Що називають навантажувальною характеристикою двигуна?
3. Методика визначення характеристики впливу навантаження на показники роботи двигуна з іскровим запалюванням?
4. Що таке метод математичної інтерполяції даних?
5. Що таке палива з поновлювальних джерел?
6. Що таке паливо Е-95-40?



Показники двигуна в режимі - $g_{e\,min}$							
Вид палива	N_e, кВт	C''_{CO}, %	$C'_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	C'_{NO_X}, млн$^{-1}$	$G_{пал}$ кг/год	g_e, г/кВт год	α
бензин А-95	21,9	1,0	190	2250	6,4	293	1,0
паливо Е-95-40	20,7	0,85	170	2150	6,23	301	1,04
Зміна параметра Δ,%	5,48	15,00	10,53	4,44	2,66	-2,73	-4,00

Рисунок 53 – Навантажувальні характеристики двигуна МеМЗ-245 за роботи на бензині А-95 та спиртовмісному палива Е-95-40

Лабораторно-практична робота № 5
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СПИРТОВИХ ПАЛИВ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДВИГУНІВ З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ З СИСТЕМОЮ ВПОРСКУВАННЯ І ЗВОРОТНІМ ЗВ'ЯЗКОМ

Всі сучасні двигуни з іскровим запалюванням обладнані системами впорскування із зворотнім зв'язком. Значна їх кількість перебуває в експлуатації, тому саме для такого двигуна бажано визначити ефективність використання спиртовмісних палив, які отримують з поновлювальних джерел.

Бензин Е-95-40 є комерційним паливом з вмістом до 40 % суміші спиртів (36,4% етанолу, згідно сертифікату якості), яке використовують в якості палива в двигунах з іскровим запалюванням без необхідності зміни параметрів системи живлення та запалювання.

При роботі двигуна з системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком в усіх режимах, крім режиму максимальної потужності, підтримується стехіометричний склад паливоповітряної суміші, що забезпечує наявність кисневого датчика – λ - зонда. Спиртовмісне паливо характеризується підвищеним вмістом розчиненого кисню у своєму складі, який приймає участь у згорянні палива при робочому процесі.

Кисневий датчик, зокрема, при формуванні суміші контролює наявність кисню у ВГ двигуна. Таким чином, для підтримування стехіометричного складу суміші із спиртовмісним паливом з підвищеним вмістом розчиненого кисню - збільшується кількість палива, яка подається до форсунки. Спиртовмісні палива мають меншу теплоту згоряння, що збільшує витрату такого виду палива.

Мета – визначення впливу спиртовмісного палива Е-95-40 на енергетичні, екологічні показники та паливну економічність сучасного двигуна з іскровим запалюванням з системою впорскування із зворотнім зв'язком

Задача – Здійснити порівняльні випробовування двигуна з іскровим запалюванням з системою впорскування із зворотнім зв'язком при живленні:

- бензином А-95
- спиртовмісним паливом Е-95-40;

Об'єкт випробувань: двигун VW BBY (4Ч 7,65/7,56) з системою впорскування бензину із зворотнім зв'язком

Порядок виконання роботи

Для порівняння впливу застосування спиртовмісного палива Е-95-40 на токсичність двигуна VW BBY (4Ч 7,65/7,56) з системою впорскуванням бензину із зворотнім зв'язком визначають дві навантажувальні

характеристики за однакових умов роботи при живленні різними видами палив.

Визначають характеристики на гальмівному стенді за постійної частоти обертання. При зміні навантаження частоту обертання автоматично підтримує стенд, обладнаний системою стабілізації. Зміну навантаження досягають зміною кута відкриття дросельної заслінки двигуна.

Для першого виміру важіль керування дросельною заслінкою встановлюють в положення найменшої подачі паливоповітряної суміші для заданого швидкісного режиму двигуна при роботі без навантаження.

При досягненні усталеної роботи двигуна в даному режимі фіксують крутний момент $M_к$ (при першому вимірюванні $M_к \approx 0$), вимірюють час споживання встановлених доз палива $\tau_П$ і повітря $\tau_{ПОВ}$, фіксують тиск оливи в системі мащення $p_М$, температуру відпрацьованих газів $t_{ВГ}$, температуру рідини в системі охолодження $t_{ОХ}$ та оливи в системі мащення $t_М$, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, а також концентрації у відпрацьованих газах C'_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_X} та C'_{CO_2}. Звертаємо вашу увагу на те, що вуглекислий газ CO_2 не є речовиною токсичною, а є показником повноти згорання. В міжнародних угодах викиди CO_2 свідчять про рівень використання енергій, пов'язаних із спалюванням вуглеводневих палив.

Для проведення другого виміру навантаження двигуна збільшують до $0{,}2 \cdot M_{к\,max}$, ($M_{к\,max}$ визначають з технічної характеристики двигуна, або з попередніх випробувань). Третє і наступні вимірювання проводять з навантаженнями відповідно $0{,}35 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}5 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}6 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}8 \cdot M_{к\,max}$ та за повної потужності$\cdot M_{к\,max}$. Усі вимірювання здійснюють в усталених режимах.

По завершенні, змінюють тип палива на спиртовмісне Е-95-40 і повторюють випробування.

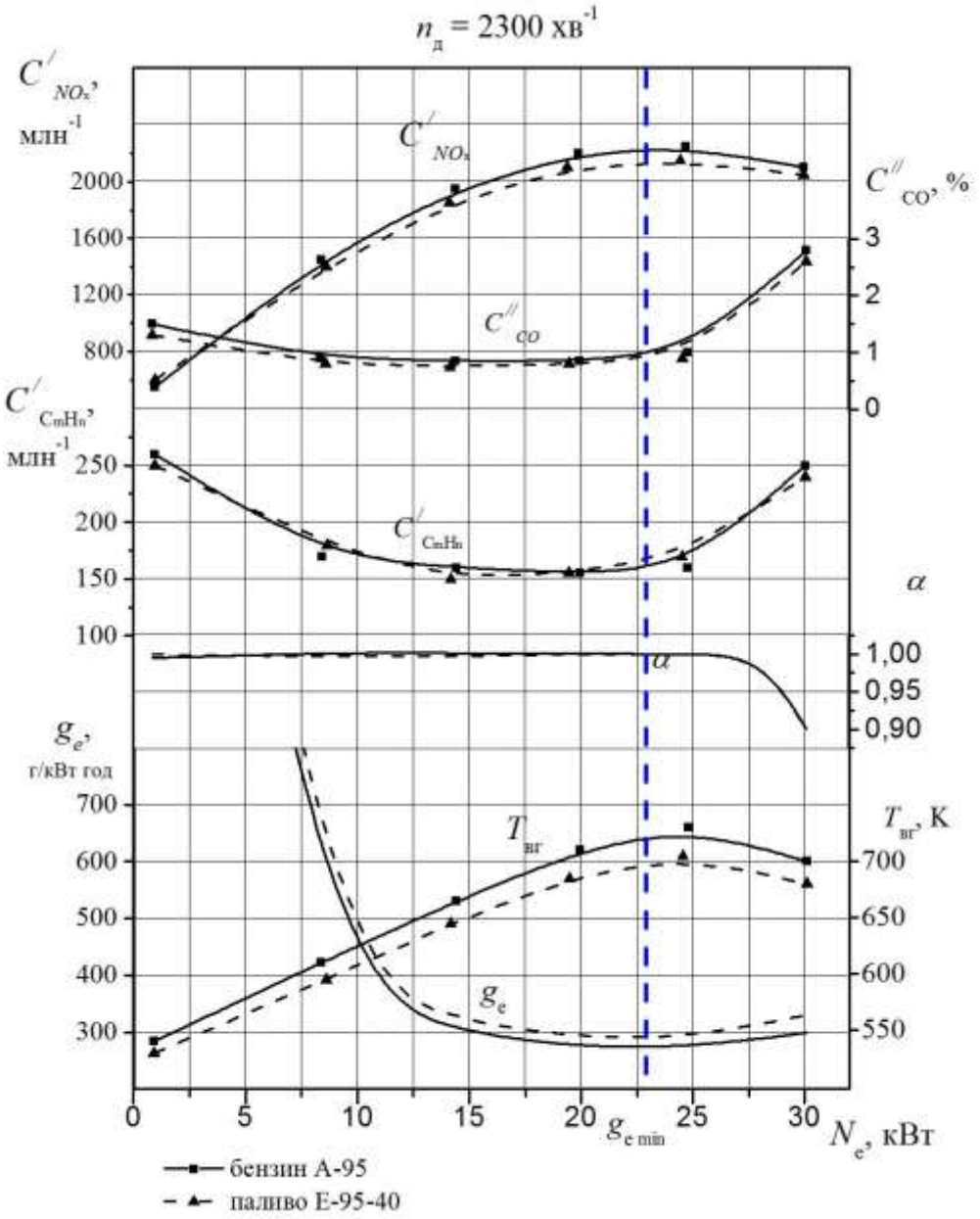
Методика обробки результатів експерименту описана в розділі 7 (стор. 73).

Заповнений та опрацьований протокол випробувань (додаток Г) з пробними графічними залежностями окремих розрахункових величин використовують для подальшого формування наукового звіту.

За результатами розрахунків засобами наукового пакету для аналізу і обробки даних засобами наукового пакету OriginPro будують графічні залежності: питомої витрати палива g_e, коефіцієнту надміру повітря α та концентрацій токсичних компонентів ВГ - C'_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_X} від потужності N_e при живленні двигуна різними видами палив.

Визначають значення параметрів двигуна в режимі мінімальної питомої витрати палива та наводять в таблиці (рис. 54).

Порівняльна характеристика двигуна VW BBY (4Ч 7,65/7,56) за навантаженням при живленні різними видами палив наведена на рис. 54. Така характеристика є документом для наукового звіту, що засвідчує результати випробувань.



Показники двигуна в режимі - $g_{e\,min}$							
Вид палива	N_e, кВт	C''_{CO}, %	$C'_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	C'_{NO_X}, млн$^{-1}$	$T_{вг}$, К	g_e, г/кВт год	α
бензин А-95	23	1,0	160	2250	740	270	1,0
паливо Е-95-40	23	0,95	165	2150	690	290	1,0
Зміна параметра Δ,%		5,00	-3,13	4,44	6,76	-7,41	

Рисунок 54 – Навантажувальні характеристики двигуна 4Ч 7,65/7,56 (VW BBY), за роботи на бензині А-95 та спиртовмісному палива Е-95-40

За отриманими залежностями проводять порівняльний аналіз енергетичних, економічних та екологічних показників двигуна. Для цього визначають величину зміни кожного показника роботи двигуна при переході на живлення спиртовмісним паливом Е-95-40.

На основі отриманих даних роблять висновок про ефективність застосування спиртовмісного палива Е-95-40 для живлення двигунів з системою впорскуванням бензину та зворотнім зв'язком стосовно зміни паливної економічності та екологічних показників.

Контрольні запитання

1. Правила техніки безпеки під час проведення випробувань двигуна.
2. Які спирти використовують в якості палива для двигуна з іскровим запалюванням?
3. Перечисліть переваги спиртовмісних палив перед бензином нафтового походження?
4. Назвіть особливості роботи двигунів з системою впорскування бензину та зворотнім зв'язком?
5. Що називають навантажувальною характеристикою двигуна з іскровим запалюванням?
6. Як змінюються показники роботи двигуна з системою впорскування бензину та зворотнім зв'язком при переході на живлення спиртовмісними паливами?

Лабораторно-практична робота № 6
ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ МЕТИЛОВОГО ЕФІРУ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ ДЛЯ ЖИВЛЕННЯ ДИЗЕЛЯ

Мета – визначення впливу використання метилового ефіру ріпакової олії як моторного палива на паливно-економічні та екологічні показники дизеля

Задача – Здійснити порівняльні випробовування дизеля при живленні:
- штатним дизельним паливом
- метиловим ефіром ріпакової олії;

Об'єкт випробувань: дизель 4Ч11,0/12,5 (Д-243)

Порядок виконання роботи

Для визначення впливу виду палива на показники роботи дизеля отримують дві характеристики токсичності за однакових умов роботи при живленні різними видами палив.

Знімають токсичні характеристики на гальмівному стенді за постійної частоти обертання. Зовнішнє навантаження змінюють навантажувальним пристроєм, а швидкісний режим відновлюють, змінюючи положення важеля керування паливоподачею.

Для першого виміру важіль керування паливоподачею встановлюють в положення для заданого швидкісного режиму двигуна при роботі без навантаження.

Дочекавшись усталеної роботі двигуна за даного режиму вимірюють час споживання дизелем вибраних доз палива $\tau_{пал}$ і повітря $\tau_{пов}$, фіксують тиск оливи в системі мащення $p_м$, температуру відпрацьованих газів $t_{вг}$, температуру рідини в системі охолодження $t_{ох}$ та оливи в системі мащення $t_м$, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, а також концентрації у відпрацьованих газах C'_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_x} та димність відпрацьованих газів N.

Для проведення другого вимірювання навантаження двигуна встановлюють в межах $0{,}2 \cdot M_{к\,max}$, згідно технічної характеристики двигуна, а змінивши положення важеля керування паливоподачею встановлюють задану частоту обертання. Третє і наступні вимірювання проводять з навантаженнями відповідно $0{,}4 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}6 \cdot M_{к\,max}$, $0{,}8 \cdot M_{к\,max}$ та за повної потужності$\cdot M_{к\,max}$. Усі вимірювання здійснюють в усталених режимах.

Після завершення вимірювань, змінюють паливо на метиловий ефір ріпакової олії і повторюють експеримент.

Методика обробки результатів експерименту описана в розділі 7 (стор. 73).

Заповнений та опрацьований протокол випробувань (додаток Д) використовують для подальшого формування наукового звіту. За результатами розрахунків засобами наукового пакету OriginPro будують

графічні залежності годинної витрати палива $G_{\text{пал}}$, питомої витрати палива g_{e}, та коефіцієнту надміру повітря α а також концентрацій основних токсичних речовин C'_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_X} та димності N, від потужності N_{e} при живленні дизеля різними видами палив.

Порівняльна токсична характеристика дизеля 4Ч11,0/12,5 (Д-243) при живленні різними видами палив наведена на рис. 55.

За отриманими залежностями проводять порівняльний аналіз енергетичних та екологічних показників двигуна. Для цього визначають величину зміни витрати палива, коефіцієнту надміру повітря α та концентрацій у відпрацьованих газах кожної шкідливої величини. Результати аналізу наводять в таблиці (рис. 55).

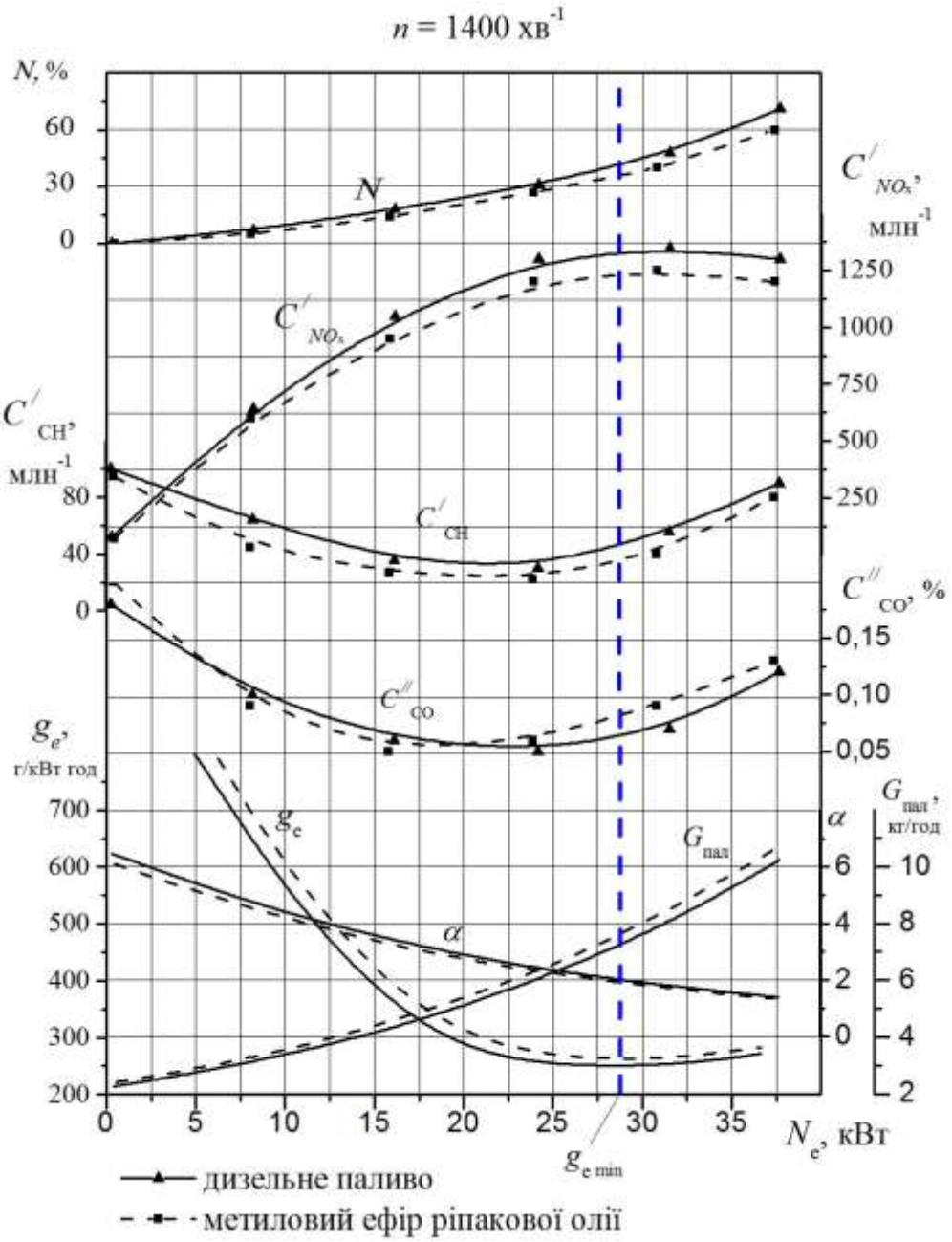
Отримані графічні залежності Excel та OriginPro можна використовувати як шаблон для побудови інших характеристик при випробовуванні дизелів.

Результатом досліджень є токсична характеристика, яка дає можливість оцінити енергетичні та екологічні показники двигуна та доцільність застосування метилового ефіру рослинного походження для покращення експлуатаційних повазників дизеля.

За отриманими характеристиками дизеля, необхідно визначити вплив застосування метилового ефіру ріпакової олії на показники роботи дизеля. Зокрема зробити висновки про можливість зниження концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах при використанні метилового ефіру ріпакової олії для живлення дизеля. Надати рекомендації щодо вибору режимів роботи дизеля, в яких спостерігається покращення екологічних показників при застосуванні метилового ефіру ріпакової олії.

Контрольні запитання

5. Правила техніки безпеки під час проведення випробувань двигуна.
6. Що таке порівняльні випробування дизеля?
7. Методика проведення експериментальних досліджень дизеля на стенді?
8. Які характерні точки визначають на токсичній характеристиці дизеля?
9. Чому використання метилового ефіру ріпакової олії в якості палива привабливе?
10. Як впливає на показники дизеля перехід на живлення метиловим ефіром ріпакової олії?
11. Як отримують метиловий ефір ріпакової олії?



Показники двигуна в режимі $g_{e\,min}$							
Вид палива	N_e, кВт	$C^{//}_{CO}$, %	$C^{/}_{C_mH_n}$, млн$^{-1}$	$C^{/}_{NO_X}$, млн$^{-1}$	N, %	g_e, г/кВт год	α
Дизельне паливо	27.8	0.06	48	1340	40	250	1.8
Метиловий ефір ріпакової олії	27.8	0.085	37	1230	34	255	1.77
Зміна параметра Δ,%		-41,67	22,92	8,21	15	-2	1,67

Рисунок 55 – Токсичні характеристики дизеля 4Ч11,0/12,5 (Д-243) за роботи на дизельному паливі та метиловому ефірі ріпакової олії

Лабораторно-практична робота № 7
ТОКСИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИГУНА МЕМЗ-245 З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ ЗАЛЕЖНО ВІД ВЕЛИЧИНИ ДОБАВКИ ВОДНЕВМІСНОГО ГАЗУ

Мета – визначення впливу величини добавки водневмісного газу на економічні, екологічні показники та паливну економічність двигуна з іскровим запалюванням

Задача – Здійснити випробовування двигуна з іскровим запалюванням в режимі холостого ходу залежно від кількості добавки водневмісного газу H_2/O_2 до паливоповітряної суміші

Об'єкт випробувань: двигун з іскровим запалюванням МеМЗ-245 з карбюраторною системою живлення

Порядок виконання роботи

Характеристика впливу додавання певної кількості водневмісного газу H_2/O_2 на екологічні показники двигуна з іскровим запалюванням це – графічна залежність концентрацій шкідливих речовин у відпрацьованих газах двигуна від величини добавки газу Брауна H_2/O_2 за постійної частоти обертання при роботі без навантаження.

Випробовування двигуна проводять на гальмівному стенді в режимі холостого ходу за постійної частоти обертання. Частоту обертання задають початковим положенням дросельної заслінки.

Запускають двигун і перше вимірювання здійснюють без додавання водневмісного газу. Дочекавшись усталеної роботи двигуна в даному режимі вимірюють час споживання ним вибраних доз палива $\tau_п$ і повітря $\tau_{пов}$, фіксують тиск оливи $p_м$, температуру відпрацьованих газів $t_{вг}$, температуру рідини в системі охолодження $t_{ох}$ та оливи в системі мащення $t_м$, розрідження у впускному трубопроводі $\Delta p_к$, а також концентрації у відпрацьованих газах C''_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_X} та C''_{CO_2}. Звертаємо вашу увагу на те, що вуглекислий газ CO_2 не є речовиною токсичною, а є показником повноти згорання. В міжнародних угодах викиди CO_2 свідчять про рівень використання енергій, пов'язаних із спалюванням вуглеводневих палив.

Кількість добавки водневмісного газу H_2/O_2 ($G_{H2/O2}$) змінюють в межах продукування газу Брауна бортовим генератором.

Для проведення другого вимірювання до паливоповітрянної суміші додають водневмісний газ H_2/O_2 в кількості 20% від максимально можливої кількості газу $G_{H2/O2\,max}$, який може продукувати генератор газу Брауна (згідно технічної характеристики генератора). Третє і наступні вимірювання проводять з додаванням водневмісного газу в кількості, відповідно, $0{,}4 \cdot G_{H2/O2max}$, $0{,}6 \cdot G_{H2/O2max}$, $0{,}8 \cdot G_{H2/O2max}$ та за максимально можливої подачі газу $G_{H2/O2}$.

Добавка водневмісного газу спричиняє зміну частоти обертання, тому швидкісний режим відновлюють, змінюючи положення дросельної заслінки. Усі вимірювання здійснюють в усталених режимах.

Обробку результатів експерименту проводять засобами програмного забезпечення Excel на ЄОМ. Методика обробки результатів експерименту описана в розділі 7 (стор. 73).

Заповнений та опрацьований протокол випробувань (додаток Е) використовують для побудови зведених графічних залежностей наукового звіту. За результатами розрахунків засобами наукового пакету OriginPro будують характеристику впливу величини добавки водневмісного газу H_2/O_2 на паливо-економічні і екологічні показники двигуна: графічні залежності годинної витрати палива $G_{\text{п}}$, годинної витрати повітря $G_{\text{пов}}$ коефіцієнту надміру повітря α, коефіцієнту наповнення η_{v} та концентрації C''_{CO}, $C'_{C_mH_n}$, C'_{NO_x} від вмісту H_2/O_2.

Для побудови графіків можна використати графічне поле з попередніх лабораторних робіт.

Приклад характеристики впливу величини добавки водневмісного газу H_2/O_2 на екологічні показники двигуна МемЗ-245 зображено на рис. 56.

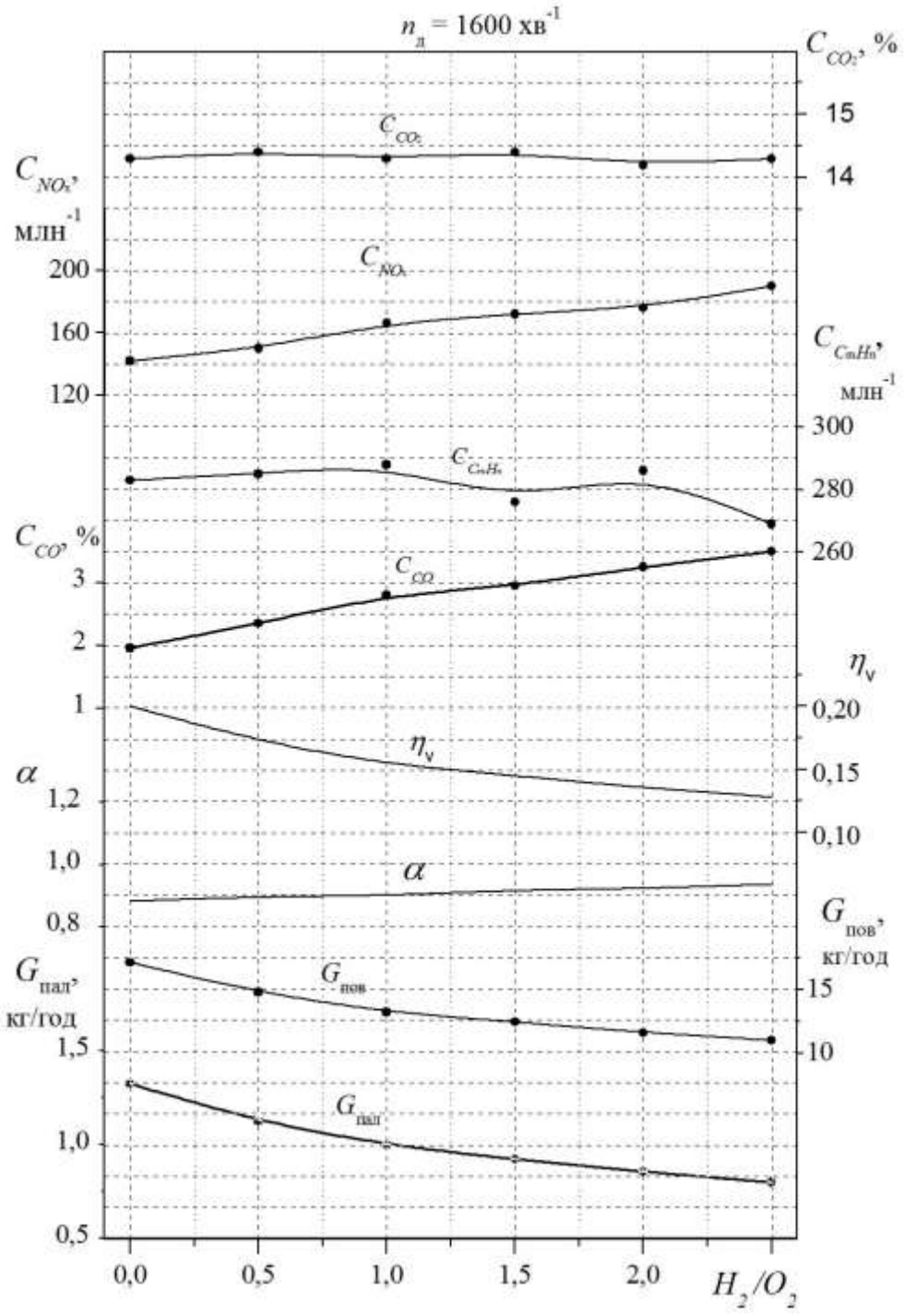
З характеристики визначити зміну концентрації кожної шкідливої речовини у ВГ порівнявши їх значення для мінімальної (*min*) і максимальної (*max*) величин добавки водневмісного газу H_2/O_2.

Результати записати у вигляді таблиці.

За результатами проведених досліджень зробитись висновок про вплив добавки водневмісного газу H_2/O_2 на паливну економічність та концентрації основних шкідливих речовин у ВГ двигуна з іскровим запалюванням.

Контрольні запитання

1. Правила техніки безпеки під час проведення випробувань двигуна.
2. Що таке токсична характеристика впливу величини добавки водневмісного газу H_2/O_2?
3. Методика визначення характеристики впливу застосування H_2/O_2 на екологічні показники двигуна МемЗ-245 при стендових дослідженнях?
4. Які характерні точки визначають з токсичної характеристики впливу величини добавки H_2/O_2?
5. Для чого застосовують добавку водневмісного газу H_2/O_2 до палива?
6. Яким методом отримують газ Брауна H_2/O_2 для живлення двигуна?



Параметри	Одиниці вимірювання	Величина добавки H_2/O_2		Зміна параметра Δ,%
		min	*max*	
		0	2,5	
$G_{пал}$,	кг/год	1,33	0,83	37,4
CO,	%	1,96	3,5	-78,6
CH,	млн$^{-1}$	283	269	4,9
NO_x,	млн$^{-1}$	142	190	-33,8

Рисунок 56 – Токсична характеристика двигуна з іскровим запалюванням МеМЗ-245 залежно від величини добавки водневмісного газу H_2/O_2

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 430-р від 30 травня 2018 р.
2. Закон України про основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. Відомості Верховної Ради (ВВР), 2019, № 16, ст.70. https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19.
3. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії / − Підручник. – Київ: Національний технічний університет України («КПІ»), 2012. – 495 с.
4. Закон «Про альтернативні види палива»: за станом на 19.06. 2009 / Верховна РадаУкраїни. – Режим доступу: http://zakon1.rada.gov.ua/cgi-bin/laws/main.cgi
5. В. М. Поліщук. Тваринні та рослинні жири як сировина для виробництва біодизеля (узагальнення досвіду) Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України Збірник наукових праць [Архівовано 1 грудня 2012 у Wayback Machine.]. — 2010, Вип.144.
6. Є.В. Полункін, С.О. Зубенко, О.О. Гайдай, О.В. Кузнєцова. Спиртовмісні палива / Вісник Національного авіаційного університету Науковий журнал. — 2010, № 2. ISSN 1813-1166
7. І. Г. Рубежняк. Біопаливо другого покоління — бутанол: перспективи виробництва і використання в Україні / Вісник Національного транспортного університету Науковий журнал, 2009, № 19, ч.2
8. Золотарьова О., Шнюкова Є. Куди прямує біопаливна індустрія? / Вісник Національної академії наук України. Загальнонауковий та громадсько-політичний журнал, 2010 — N 4. ISSN 0372-6436.
9. Д. С.Степаненко, Т. О. Проскурня. Добування та утилізація біогазу з відходів / Праці Таврійського державного агротехнологічного університету Збірник наукових праць, 2009, Вип.9 Т.5 ISSN 2078-0877
10. О. С. Бабич, П. М. Кухаренко, В. О. Улексін. Біогаз як місцевий енергоресурс для сільськогосподарських підприємств / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України Збірник наукових праць [Архівовано 1 грудня 2012 у Wayback Machine.]
11. М.В. Мельник, Б.В. Ємець, О.С. Поліщук. Обґрунтування продуктивного використання газового палива для бензинових двигунів автомобілів / Вісник Житомирського національного агроекологічного університету Науково-теоретичний збірник, 2010 № 2.
12. Ю.Ф. Гутаревич, Д.В.Зеркалов, А.Г.Говорун, А.О.Корпач, Л.П.Мержиєвська. Екологія та автомобільний транспорт. Навч.посібник – К.: Арістей, 2008. – 296 с

Додаток А

СИСТЕМА ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ (ACT) НА ДВИГУНІ 1,4 Л 103 КВТ TSI

(використана інформація з веб-сайтів Volkswagen AG)

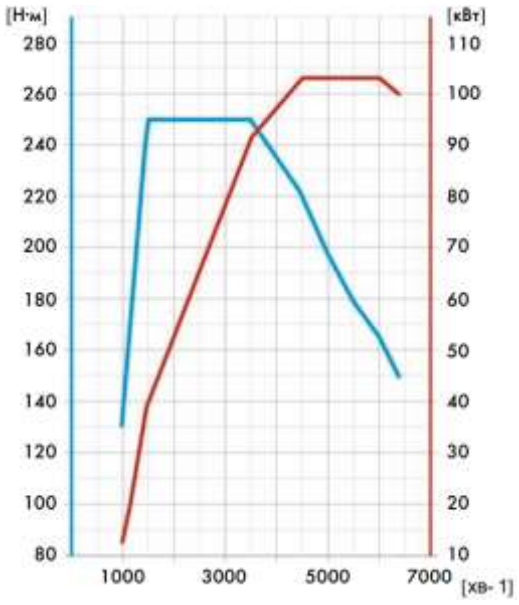
Двигун 1,4 л TSI 103 кВт із системою відключення циліндрів ACT (active cylinder technology) - це представник серії бензинових двигунів EA211 і є зареєстрованою торговою маркою концерну Volkswagen. Він також є першим масово випущеним чотирициліндровим двигуном, в якому половина циліндрів може бути відключена для зменшення витрати палива.

Відключення циліндрів зменшує витрату пального двигуна 1,4 л TSI в циклі NEFZ на 0,4 літра на 100 кілометрів. Це відповідає зменшенню викидів CO_2 на десять грамів на кілометр.

Особливості конструкції

- ✓ Система відключення циліндрів (ACT).
- ✓ Привід ГРМ зубчастим ременем.
- ✓ Головка блоків циліндрів із вбудованим випускним колектором.
- ✓ Насос системи охолодження об'єднаний із корпусом термостатів.
- ✓ Привід насоса системи охолодження за допомогою зубчастого ременя від розподільчого вала випускних клапанів.
- ✓ Модуль турбонагнітача з електроприводом регулятора тиску наддуву.
- ✓ Регулятори фаз ГРМ на впускному і випускному розподільчих валах.
- ✓ Шестерний масляний насос із двома рівнями тиску масла.

Технічні характеристики		Зовнішня швидкісна характеристика
Буквене позначення двигуна	CPTA	
Конструктивне виготовлення	Рядний 4-циліндровий	
Робочий об'єм	1395 $см^3$	
Діаметр циліндра	74,5 мм	
Хід поршня, мм	80	
Клапани на циліндр	4	
Ступінь стиснення	10,0:1	
Максимальна потужність	103 кВт при 4500-6000 $хв^{-1}$	
Макс, крутний момент	250 Н*м при 1500-3500 $хв^{-1}$	
Система управління двигуном	Bosch Motronic MED 17.5.21	
Паливо	Неетильований бензин з октановим числом 95	
Нейтралізація відпрацьованих газів	Трикомпонентний каталітичний нейтралізатор, широкосмуговий лямбда-зонд перед нейтралізатором і тригерний - після	
Екологічний клас	Євро 6	

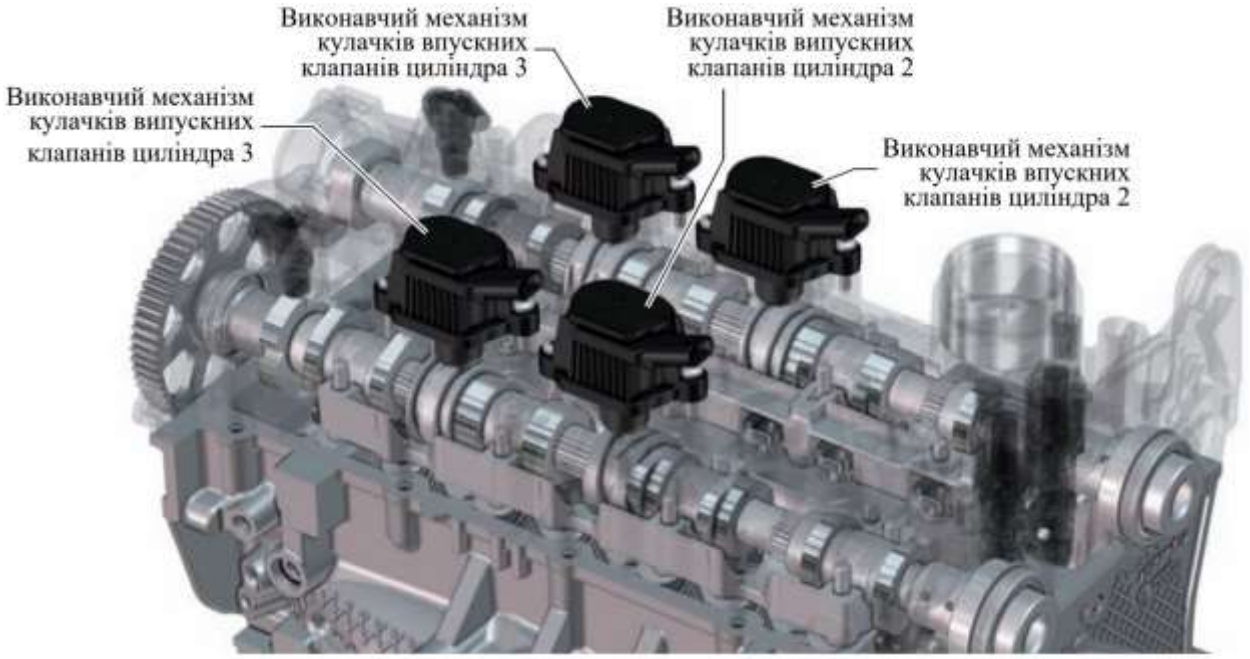


СИСТЕМА ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ (АСТ)

Система відключення циліндрів (АСТ) у якомога ширшому діапазоні режимів часткового навантаження повністю вимикає з роботи циліндри 2 і 3. Це означає, що впускні та випускні клапани обох циліндрів залишаються закритими і впорскування пального та запалювання також не відбуваються. Двигун працює тільки на 2 циліндрах.

За рахунок цього інші циліндри двигуна працюють із більшим навантаженням, а значить - у більш ефективному діапазоні, витрата палива зменшується.

Для відключення клапанів на кожному з двох розподільчих валів встановлено по два виконавчі



Умови для відключення циліндрів

- Число обертів двигуна в діапазоні 1250-4000 об/хв.
- Крутний момент, що відповідає дії водія, не перевищує певного значення, яке залежить від числа обертів, і в будь-якому разі не більше 85 Н-м.
- Температура оливи в двигуні не нижче 10 °С.
- Лямбда-регулювання активне.

Пуск двигуна завжди здійснюється в 4-циліндровому режимі!

ПЕРЕВАГИ ВІДКЛЮЧЕННЯ ЦИЛІНДРІВ

Менші втрати на дроселювання

Значним недоліком бензинових двигунів порівняно з дизельними, з погляду витрати палива, є необхідність сильного дроселювання в режимі часткових навантажень.

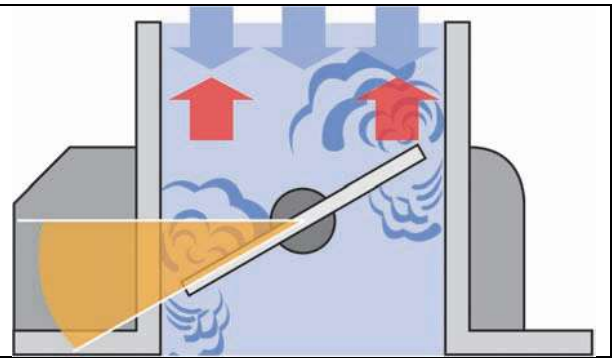
Тоді як дизельні двигуни можуть працювати з майже повністю відкритою дросельною заслінкою (крутний момент регулюється при цьому зміною циклової подачі пального), у бензинових двигунах має практично завжди підтримуватися стехіометричний склад паливо-повітряної суміші ($\lambda = 1$). Тільки так у системі випуску з трикомпонентним каталітичним нейтралізатором можуть бути виконані вимоги екологічних норм.

Щоб зробити більш зрозумілими переваги використання 2-циліндрового режиму, на малюнках далі показано положення дросельної заслінки під час часткового навантаження в 2- і в 4-циліндровому режимах. В обох випадках блок управління двигуна розраховує, скільки повітря і палива необхідно для забезпечення необхідного крутного моменту.

4-циліндровий режим

Оскільки повітря надходить в усі циліндри, дросельна заслінка для реалізації необхідного крутного моменту є відкритою тільки на невеликий кут.

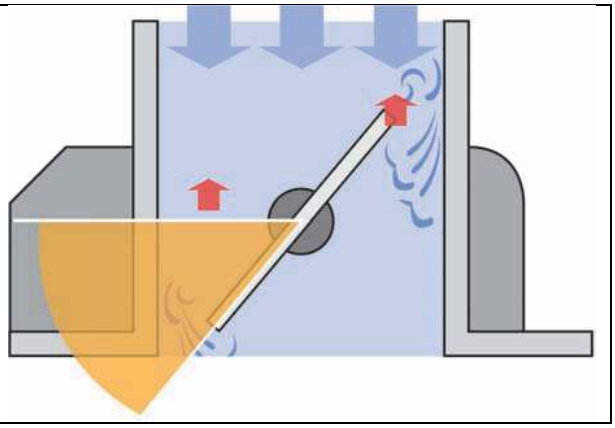
Під час засмоктування повітря навколо дросельної заслінки виникають сильні завихрення повітряного потоку. Через ці завихрення двигун повинен засмоктувати повітря, долаючи великий опір. У результаті втрати потужності на дроселювання зростає витрата палива.



2-циліндровий режим

Щоб у 2-циліндровому режимі реалізувати той самий крутний момент, що й у 4-циліндровому, до обох циліндрів, які працюють, має надходити приблизно та сама кількість повітря, що раніше до 4-го, тобто до кожного з циліндрів, які працюють, має надходити тепер удвічі більше повітря. Це можливо тільки тоді, коли дросельна заслінка відкрита на більший кут. Завдяки більшому куту відкриття дросельної заслінки, виникає менше завихрень.

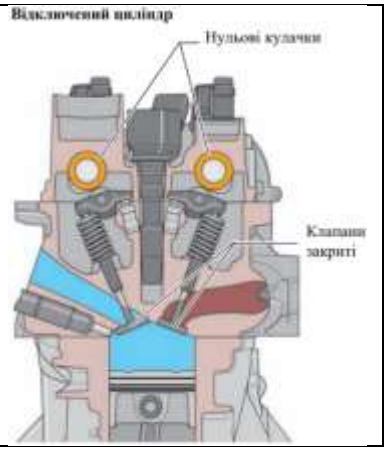
Двигун засмоктує повітря за меншого опору, і витрата палива знижується.



Менші втрати на газообмін (насосні втрати)

При відключенні циліндрів 2 і 3 ні впуску, ні випуску повітря в них не відбувається. Ролики важелів цих циліндрів прокочуються під нульовими кулачками (див. стор. 11), внаслідок чого клапани залишаються закритими.

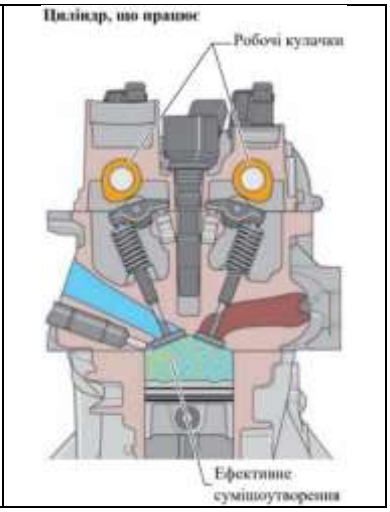
Таким чином, жодні зусилля ні на відкривання клапанів, ні на всмоктування і виштовхування з циліндрів повітря не витрачаються.



Збільшення ККД двигуна

Циліндри 1 і 4, крім своєї роботи, переймають також роботу відключених циліндрів 2 і 3. У результаті вони працюють у діапазоні більшого навантаження. У цьому діапазоні сумішоутворення і згорання відбуваються більш ефективно.

Крім того, у відключених циліндрах теплота згорання не відводиться через стінки циліндрів. У результаті теплові втрати двигуна зменшуються, а його термодинамічний ККД збільшується.



МЕХАНІЧНА ЧАСТИНА ДВИГУНА

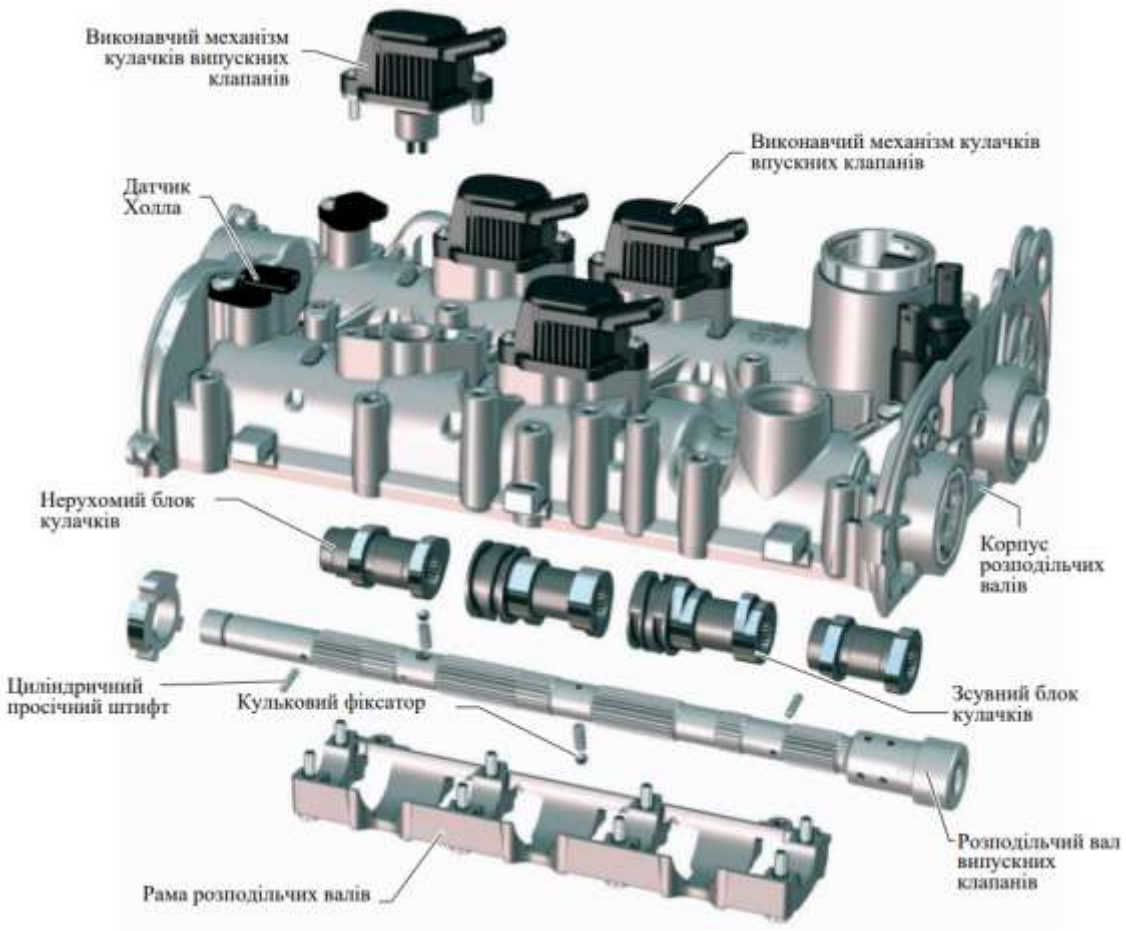
Будова системи відключення циліндрів

Корпус розподільчих валів виготовлено з алюмінію методом лиття під тиском, він утворює разом із двома розподільчими валами єдиний модуль.

Конструктивно обидва розподільчі вали ідентичні.

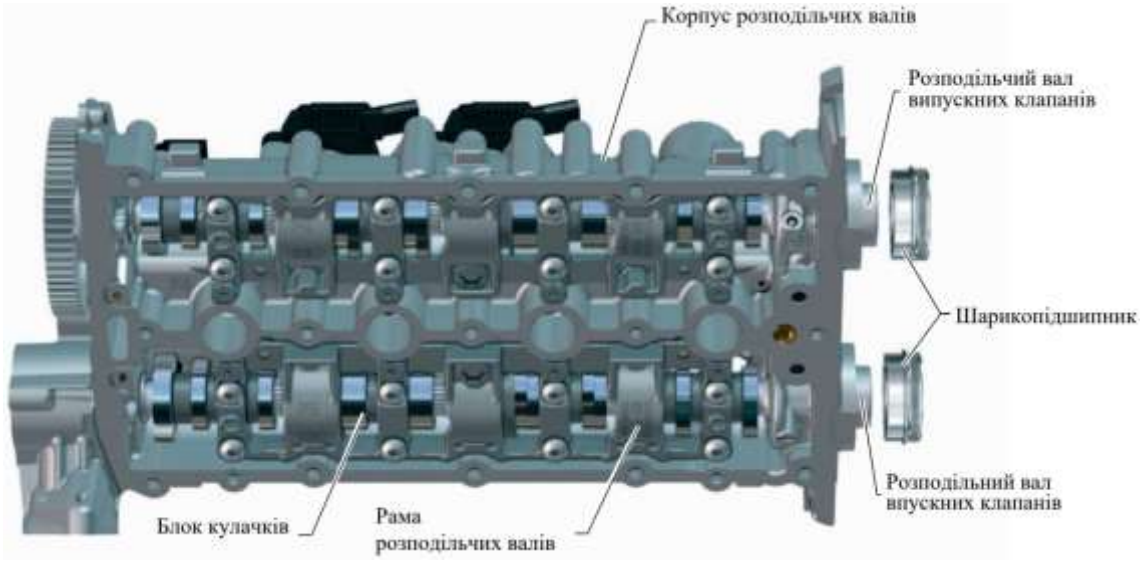
На зовнішній поверхні розподільчих валів є шліци, на яких установлено два нерухомі блоки кулачків для циліндрів, що не вимикаються, 1 і 4 і два зсувні в осьовому напрямку блоки кулачків для циліндрів, що вимикаються, 2 і 3. Збираються розподільчі вали вже в корпусі розподільчих валів.

Зсуваються блоки кулачків чотирма виконавчими механізмами (два для впускних і два для випускних блоків кулачків), встановленими на корпусі розподільчих валів.



Опори розподільчих валів встановлені в корпусі розподільчих валів і в двох жорстких рамах розподільчих валів. Блоки кулачків відіграють водночас і роль підшипників.

Для зменшення втрат на тертя в передніх опорах обох розподільчих валів, що сприймають найбільше навантаження від зубчастого ременя, використовуються шарикопідшипники.



Під час ремонту корпус розподільчих валів із розподільчими валами замінюється тільки в зборі.

Будова розподільчих валів

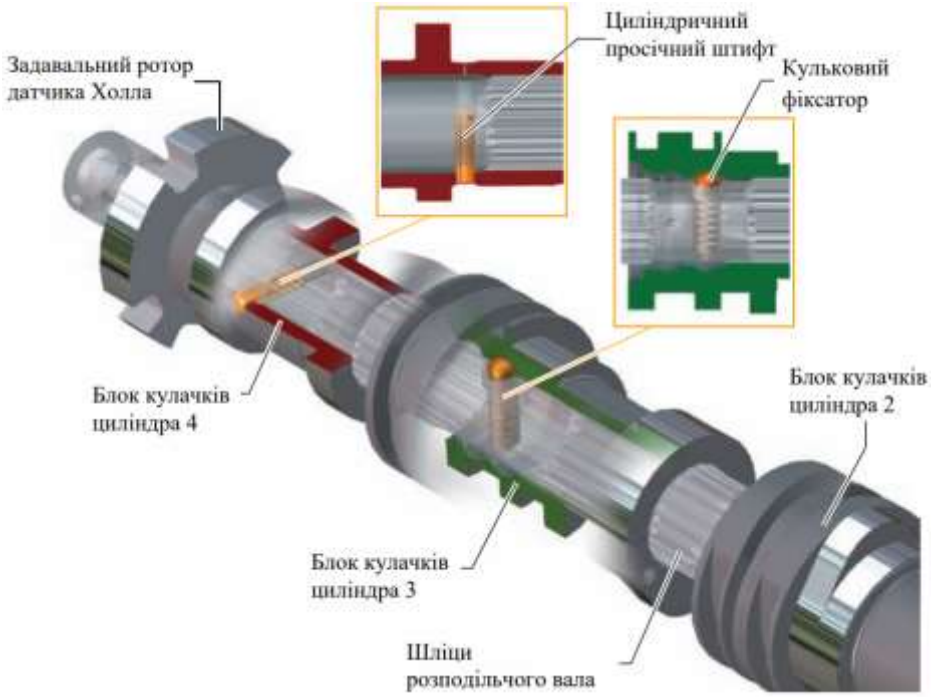
На кожному розподільчому валу встановлено блоки кулачків двох різних типів:

Циліндри 1 і 4:

- Блоки кулачків жорстко з'єднані з розподільчим валом шліцами і одним просічним штифтом кожен.

Циліндри 2 і 3:

- Блоки кулачків можуть зсуватися в шліцах розподільчого вала приблизно на 7 мм і фіксуються в кінцевих положеннях кульковим фіксатором.



Зсувні блоки кулачків

Зсувні блоки кулачків циліндрів 2 і 3 мають такі конструктивні особливості:

1. Для зміщення блоку кулачків по розподільчому валу на блоці кулачків є напрямна канавка. Повернення металевих штифтів виконавчого механізму у вихідне

положення відбувається завдяки профілю дна напрямної канавки, що піднімається.

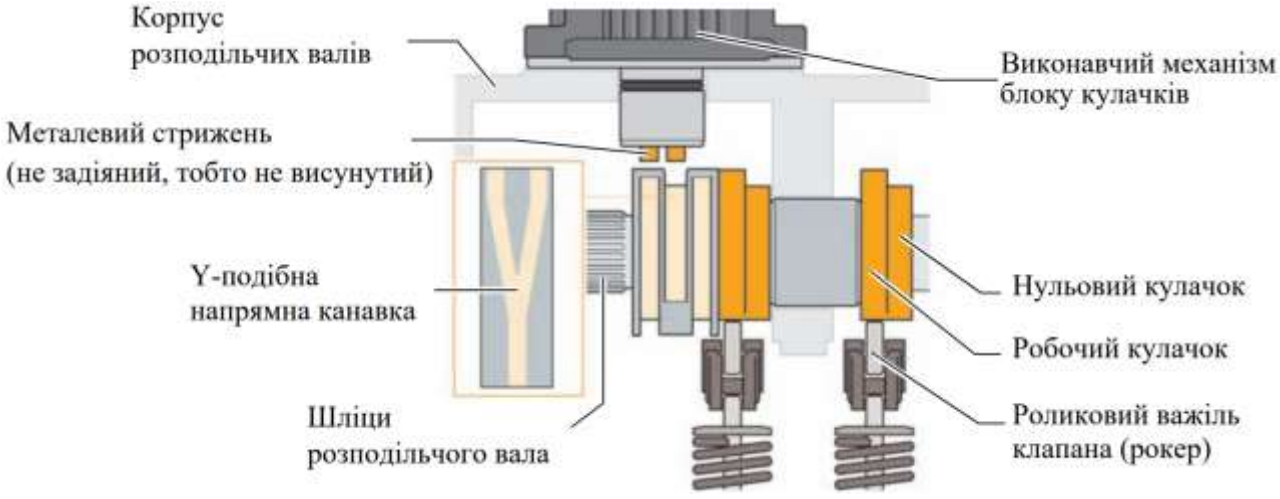
2 Шліци на розподільчих валах і на блоках кулачків дають змогу кулачкам зміщуватися по розподільчому валу в осьовому напрямку.

3. Як зсувні, так і нерухомі блоки кулачків виконують також функції підшипників між корпусом розподільчих валів і рамами розподільчих валів.

4. Коли ролики важелів клапанів прокочуються під робочими кулачками, циліндри ввімкнено. Клапани задіюються. Коли ролики прокочуються під нульовими кулачками, циліндри вимкнені. Клапани не задіюються.

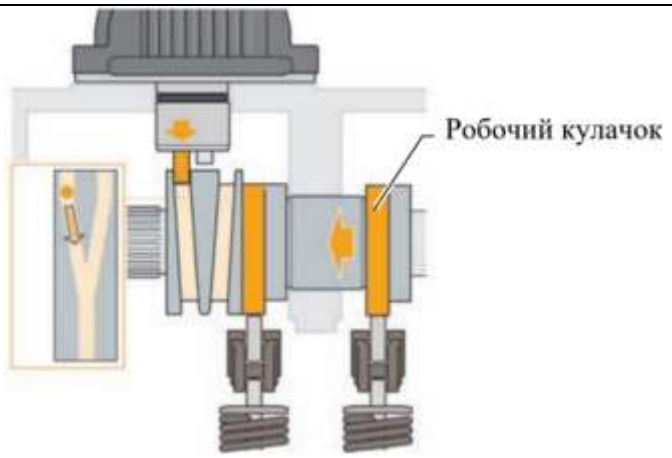
Зміщення блоків кулачків

Зміщення блоків кулачків здійснюється металевими стрижнями у виконавчих механізмах. Один із двох стрижнів, залежно від того, в якому напрямку виконується зміщення блоку кулачків, висувається і входить у відповідну напрямну канавку. Напрямна канавка має спіралеподібну форму, завдяки чому під час висунутого металевого стрижня блок кулачків, що обертається разом із розподільчим валом, зміщується в поздовжньому напрямку в шліцах розподільчого вала. Форма двох напрямних канавок одного блоку кулачків нагадує букву Y.



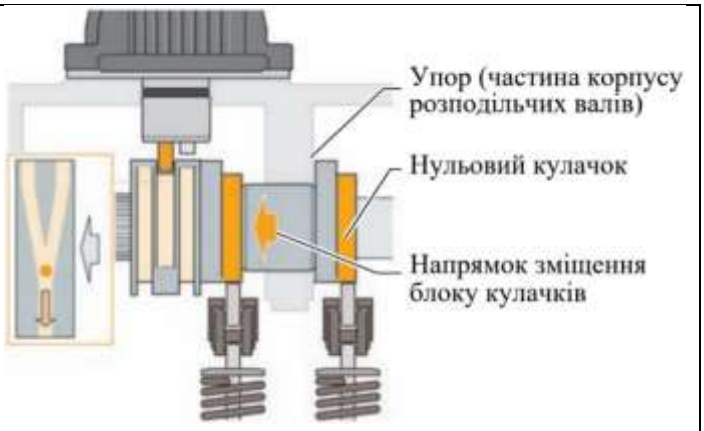
Приклад: процес відключення клапанів одного з циліндрів

ЕБУ двигуна задіює виконавчий механізм, подаючи на нього короткий імпульс маси. Відповідний металевий стрижень висувається і входить у направляючу канавку блоку кулачків. Завдяки спіралеподібній формі канавки та обертанню розподільчого вала, блок кулачків зміщується вздовж розподільчого вала.



У точці, в якій дві гілки Y-подібної канавки зливаються в одну, пружна кулька фіксатора (див. мал. праворуч) відтискає блок кулачків до упору до корпусу розподільчих валів і фіксує його в цьому положенні.

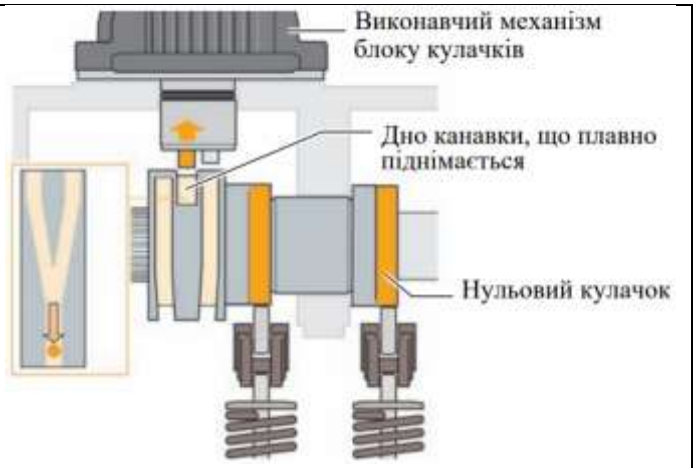
Над роликами важелів обертаються тепер нульові кулачки. Клапани більше не задіюються. Для повернення до робочих кулачків висувається інший стрижень виконавчого механізму, що зміщує блок кулачків вправо.



Повернення металевого стрижня у вихідне положення

Для повернення металевого стрижня у вихідне положення дно Y-подібної канавки на завершальній ділянці виконано з плавним підйомом "похила площина". Завдяки цьому, металевий стрижень віджимається вгору і додатково фіксується у вихідному положенні постійним магнітом у виконавчому механізмі.

Під час повернення металевого стрижня у вихідне положення в обмотці виконавчого механізму виникає імпульс напруги. Для блока управління двигуна цей імпульс напруги є сигналом зворотного зв'язку, який підтверджує, що блок кулачків було успішно зміщено в інше положення.



Кульковий фіксатор

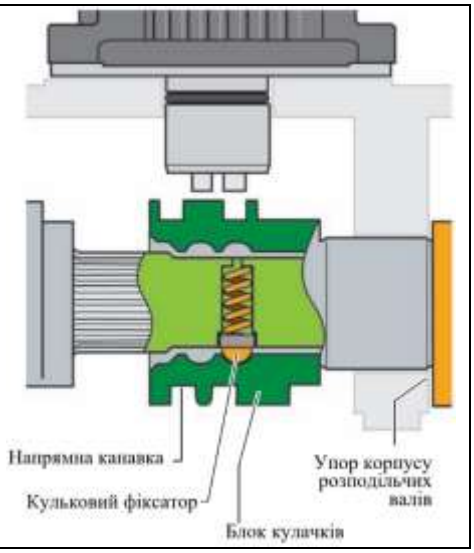
Для точного позиціонування зсувного блоку кулачків його хід у поздовжньому напрямку обмежений упором.

Роль упорів відіграють опори в корпусі розподільчих валів і обох рамах розподільчих валів.

Кульковий фіксатор має два призначення:

1. Під час переміщення блоку кулачків він додатково віджимає блок у потрібне крайнє положення.

2. На час між переміщеннями кульковий фіксатор фіксує блок кулачків, не допускаючи його мимовільного виходу з поточного положення.



У рідкісних випадках під час переміщення блоку кулачків у момент зіткнення його з упором може бути чути "клацання". Це нормальний звук, зумовлений роботою механізму. Цей звук виникає тільки під час перемикання між режимами і чути його можна лише протягом дуже короткого проміжку часу.

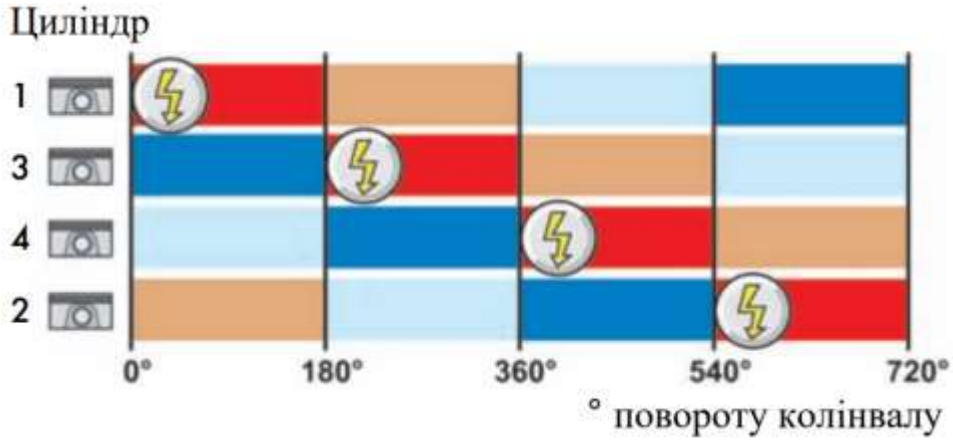
Заходи щодо зменшення вібрацій і шумів

Низький загальний рівень вібрацій двигуна визначається вже його базовими конструктивними особливостями, такими як блок циліндрів підвищеної жорсткості, полегшений кривошипно-шатунний механізм і поперечне розташування двигуна в автомобілі.

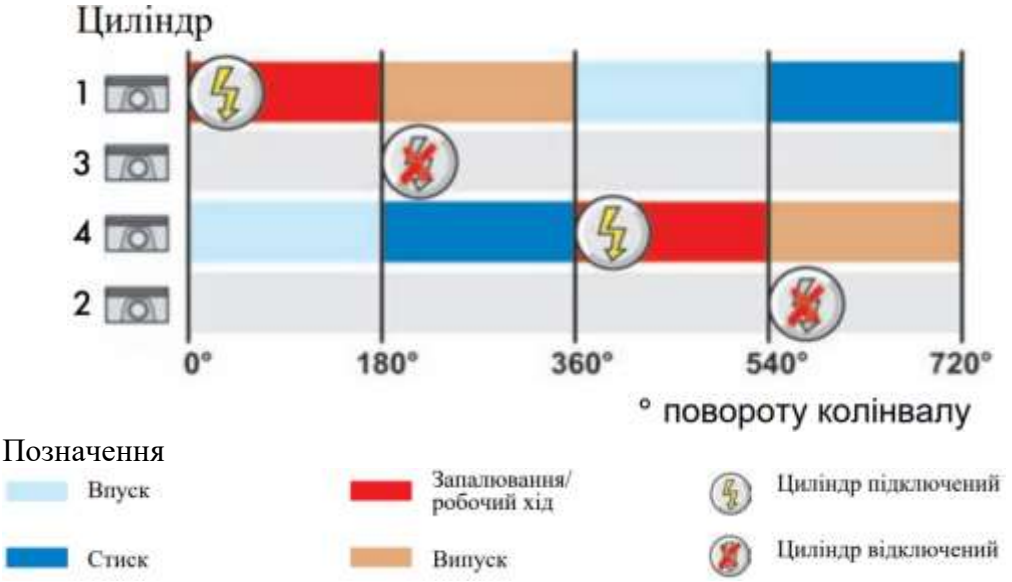
Найбільшу складність представляє відключення і підключення циліндрів, а також вібрації і звук роботи двигуна в 2-циліндровому режимі. Хоча внаслідок вимкнення циліндрів 2 і 3 робочі ходи в інших і відбуваються через рівні проміжки, але замість двох робочих ходів ("поштовхів") на один поворот колінвала у 4-циліндровому режимі у 2-циліндровому режимі залишається тільки один.

Без додаткових заходів це призведе до підвищеної вібрації і грубого звуку двигуна.

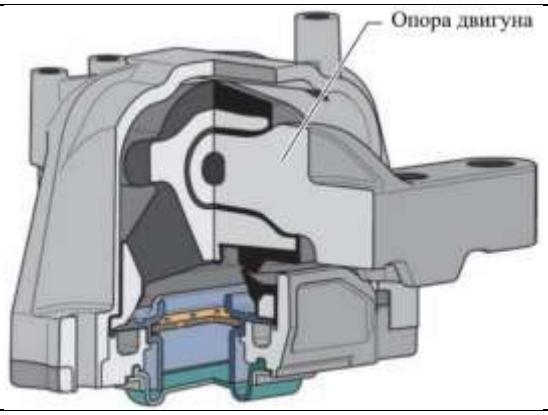
4-циліндровий режим
Порядок роботи циліндрів



2-циліндровий режим
Порядок роботи циліндрів



Опори силового агрегату

Опори двигуна такі самі як у двигуна 1,6 л TDI з системою впорскування Common Rail. Це гідравлічні опори, що мають малу динамічну жорсткість у широкому діапазоні частот. У результаті вібрації та резонансні ефекти в 2-циліндровому режимі, які могли б відчуватися водієм і пасажирами, зводяться до мінімуму.	

Двомасовий маховик

Двомасовий маховик має тепер характеристику торсіонної пружності, спеціально розраховану на два різні режими. У характеристиці є один дуже м'який щабель для 2-циліндрового режиму і другий, жорсткий щабель для 4-циліндрового режиму.	

Система випуску ВГ

Щоб ефективно гасити істотно різні пульсації ВГ, що виникають у 4- і 2-циліндровому режимах, передній і задній глушники в системі випуску виконані з резонаторами різного розміру і з різним об'ємом. На додаток до цього, довжини труб системи були спеціально підібрані ("налаштовані") для гасіння відповідних частот.

Система управління двигуна

Система управління двигуна - Bosch Motronic MED 17.5.21. Крім своїх звичайних завдань, система управління двигуна повністю приймає на себе також усі функції з управління відключенням циліндрів (ACT). До них належать: ✓ розрахунок, який режим у поточних умовах більш економічний: 2- або 4-циліндровий; ✓ вжиття заходів, необхідних для відключення або включення циліндрів; ✓ контроль роботи та діагностика несправностей системи відключення циліндрів.	

Діагностика системи відключення циліндрів

Сигнал повернення стрижня

Блок керування двигуна розглядає сигнал повернення стрижня як підтвердження того, що переміщення блоку кулачків відбулося. За відсутності цього сигналу система керування робить висновок про наявність несправності.

Датчик тиску у впускному колекторі

Під час роботи всіх циліндрів і під час роботи тільки двох циліндрів виникають різні картини тиску у впускному колекторі. Якщо фактична картина тиску відрізняється від номінальної (тобто тієї, яка має бути), то є ймовірність, що один із блоків кулачків перебуває в неправильному положенні.

Самодіагностика

Система самодіагностики контролює всі електричні виводи виконавчих механізмів

кулачків і в разі виникнення несправності робить відповідний запис у реєстраторі подій.

Перевірка роботи

Перевірка роботи виконавчих механізмів переміщення блоків кулачків виконується у відомому пошуку несправностей у меню "Підсистеми, граничні умови", розділ "План діагностики - Система відключення циліндрів".

У плані діагностики "Перевірка системи вимкнення циліндрів" за обертів 1500 об/хв, 2000 об/хв і 3000 об/хв усі чотири блоки кулачків переставляються туди і назад. За належного переміщення кулачків система позначається як "справна".

Робоча зона системи відключення циліндрів

Відключення циліндрів відбувається за умов, характерних для повсякденного водіння.

Умови для роботи в 2-циліндровому режимі:

- Оберти двигуна в діапазоні порядку 1250-4000 об/хв.

Нижче цього діапазону двигун працює в 2-циліндровому режимі недостатньо рівно, вище - у виконавчих механізмах виникають занадто великі зусилля.

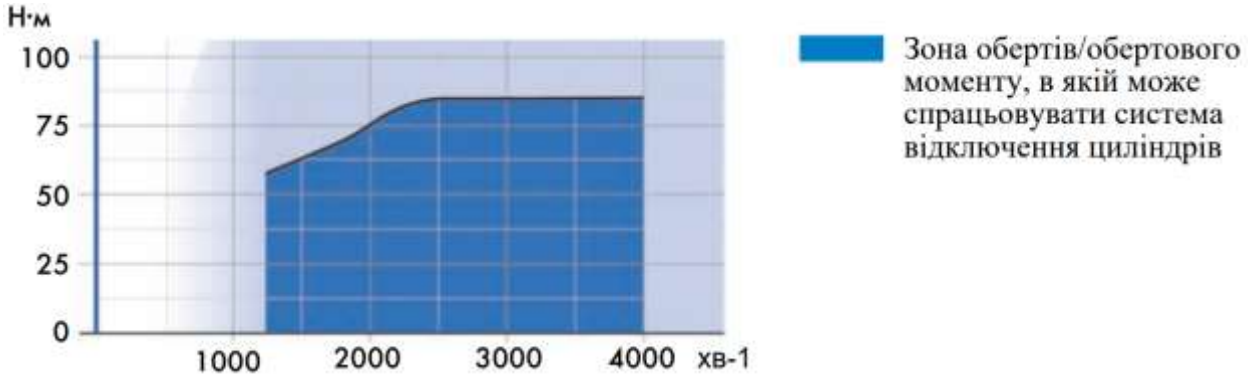
- Відповідний дії водія крутний момент не перевищує певного значення, залежного від числа обертів, і в жодному разі не більший за 85 Н-м.

За вищого крутного моменту, внаслідок меж детонації та зміни кута випередження запалювання, 2-циліндровий режим не призводить до економії пального, і тому не використовується.

- Температура оливи в двигуні не нижче 10°С. Рухомі частини виконавчих механізмів кулачків змащуються маслом двигуна. За холодної та в'язкої оливи швидкості спрацьовування виконавчого механізму не вистачає для того, щоб висунути металевий стрижень точно в той обмежений відрізок часу, упродовж якого стрижень може увійти в направляючу канавку.

- Лямбда-регулювання активне.

Цим забезпечується відсутність поштовхів під час перемикання.



Навіть якщо всі перераховані вище умови виконано, інші обставини можуть призводити до того, що двигун продовжуватиме працювати в 4-циліндровому режимі або, відповідно, перемикатиметься з 2-циліндрового на 4-циліндровий режим.

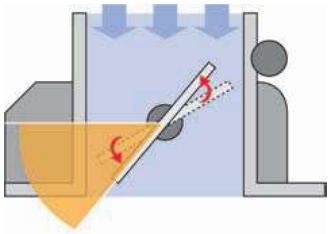
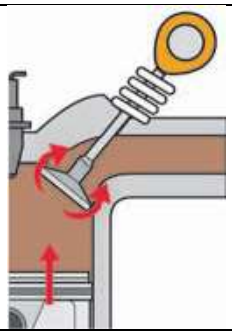
Такими обставинами можуть бути, наприклад:

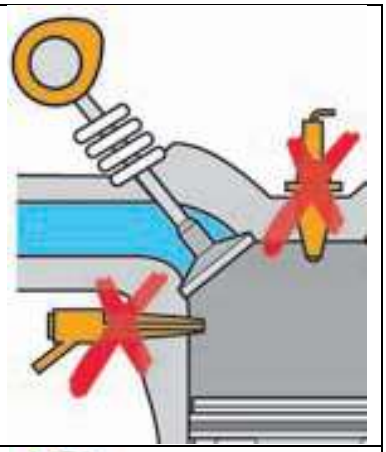
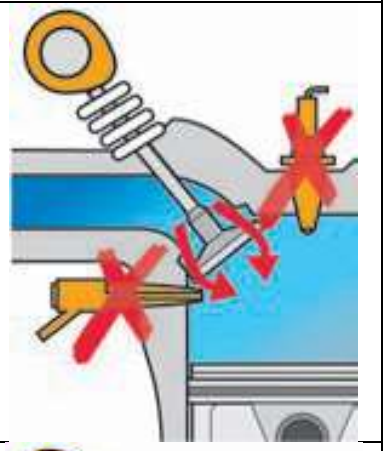
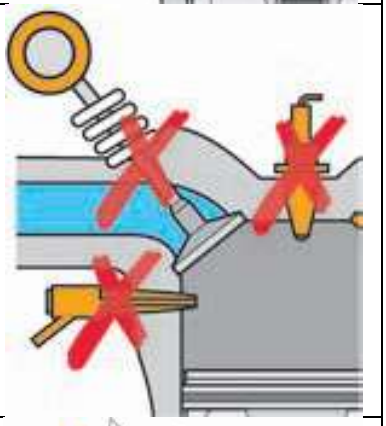
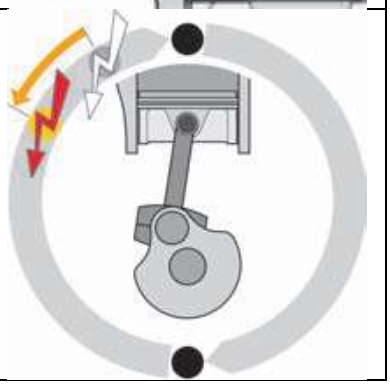
- Яскраво виражена спортивна манера водіння, за якої постійні перемикання з одного режиму в інший і назад збільшуватимуть витрату палива.
- Необхідність опалення, у разі якої слід якнайшвидше забезпечити повну подачу тепла в обігрівач.
- Рух під ухил на примусовому холостому ходу, щоб максимально використати можливості створення двигуном гальмівного моменту.
- Різке прискорення, щоб двигун міг видати необхідну потужність.

Процес відключення

Весь процес відключення відбувається в межах одного повороту розподільчого валу і триває всього кілька мілісекунд. Щоб вимкнення якомога менше відчувалося водієм і пасажирами, за цей час необхідно виконати низку заходів, що забезпечують відсутність стрибкоподібної зміни крутного моменту. Послідовність цих заходів дуже важлива, оскільки значення лямбда має постійно утримуватися рівним 1, і, наприклад, зміна параметрів системи впуску потребує більше часу, ніж системи запалювання.

П'ять фаз процесу відключення

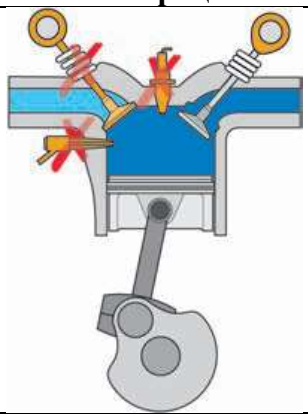
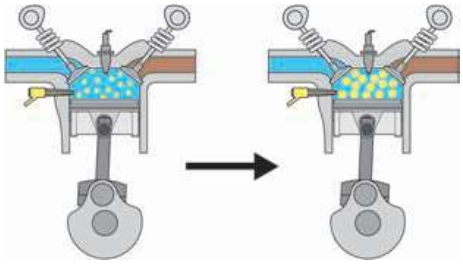
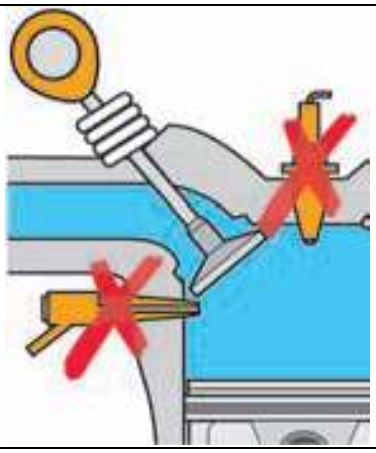
Фаза / дія	Режим	Опис	Ілюстрація
Фаза 1. Поворот дросельної заслінки	4 циліндри	Щоб циліндри 1 і 4, після відключення циліндрів 2 і 3 отримували достатню кількість повітря, дросельна заслінка відкривається ширше. У результаті всі чотири циліндри разом отримують удвічі більше повітря, ніж необхідно в 2-циліндровому режимі для підтримки поточного крутного моменту.	
Зміна випередження запалювання Циліндри 1-4		Оскільки поки ще включені всі циліндри, під час подальшого робочого ходу відбудеться істотне збільшення крутного моменту. Щоб цього не допустити, зі зростанням кількості повітря, що надходить, момент запалювання зсувається в бік "пізніше", за рахунок чого зменшується ефективність згорання. Крутний момент залишається на попередньому рівні.	
Фаза 2 Випуск ВГ	2 циліндри	Після останнього робочого ходу відбувається випуск ВГ.	
Випускні клапани Циліндри 2 і 3		Після завершення випуску ВГ блок управління задіє виконавчі механізми випускних клапанів, подавши на них короткий імпульс маси. Блоки кулачків зсуваються, і по роликах важелів клапанів тепер прокочуються нульові кулачки. Випускні клапани більше газорозподільним механізмом не задіюються.	

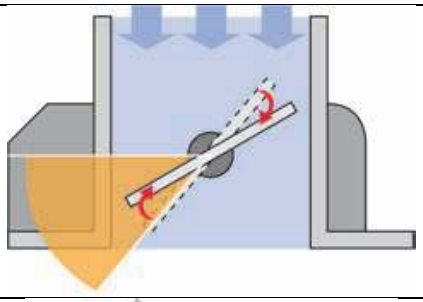
Фаза 3 Впорскування, запалювання Циліндри 2 і 3	2 циліндри	Відключаються впорскування палива і запалювання.	
Фаза 4 Впускні клапани Циліндри 2 і 3	2 циліндри	Ще раз відбувається впуск повітря. Замкнене в циліндрі повітря діє як пружина. Та сама сила, що потрібна для його стиснення, у наступному такті прискорює рух поршня вниз.	
		Після завершення впуску повітря блок управління задіє виконавчі механізми впускних клапанів, подавши на них короткий імпульс маси. Блоки кулачків зсуваються, і ролики важелів клапанів тепер обертаються під нульовими кулачками. Впускні клапани більше клапанним механізмом не задіюються.	
Фаза 5 Зміна випередження запалювання Циліндри 1 і 4	2 циліндри	Моменти запалювання циліндрів 1 і 4 зміщуються в бік "раніше" для забезпечення максимальної ефективності згорання.	

Процес включення

Під час включення відключених циліндрів також важливо не допустити стрибків крутного моменту, які будуть відчуватися водієм і пасажирами як поштовхи. Тому і в цьому випадку для запобігання стрибкоподібній зміні крутного моменту вживають найрізноманітніших заходів як у механічній частині, так і з боку системи управління двигуна.

П'ять фаз процесу включення

Фаза / дія	Режим	Опис	Ілюстрація
Фаза 1 Випускні клапани Циліндри 2 і 3	2 циліндри	Блок управління двигуна задіює виконавчі механізми впускних клапанів, подаючи на них короткий сигнал маси. Блоки кулачків переміщуються в інше положення, і ролики важелів тепер знову обертаються під робочими кулачками. Випускні клапани задіюються, і з циліндрів випускається раніше замкнене в них повітря.	
Фаза 2 Випускні клапани Циліндри 1 і 4	2 циліндри	Через випуск чистого повітря, ВГ на каталізаторі збіднюються і значення λ стає більшим за 1. Оскільки для оптимальної роботи трикомпонентного каталітичного нейтралізатора потрібно λ = 1, циклічна подача пального в циліндрах 1 і 4 збільшується таким чином, що λ на нейтралізаторі стає рівною 1.	
Фаза 3 Впускні клапани Циліндри 2 і 3	4 циліндри	Блок управління двигуна задіює виконавчі механізми впускних клапанів, подаючи на них короткий сигнал маси. Блоки кулачків переміщуються в інше положення, і ролики важелів тепер знову обертаються під робочими кулачками. Впускні клапани задіюються, і відбувається впуск повітря в циліндри.	
Фаза 4 Зміна випередження запалювання Циліндри 1-4	4 циліндри	Оскільки тепер знову ввімкнено всі циліндри, впорскування і запалювання, а дросельну заслінку широко відкрито, під час наступного робочого ходу відбудеться істотне збільшення крутного моменту. Щоб цього не допустити, момент запалювання зсувається в бік "пізніше", за рахунок чого зменшується ефективність згорання. Крутний момент залишається на попередньому рівні.	

Фаза 5 Поворот дросельної заслінки	4 циліндри	Оскільки наразі повітря отримують усі чотири циліндри, дросельна заслінка переміщується в бік закриття, щоб запобігти стрибку крутного моменту.	
Зміна випередження запалювання Циліндри 1-4		Моменти запалювання всіх циліндрів зміщуються в бік "раніше" для забезпечення максимальної ефективності згорання.	

Індикація системи відключення циліндрів на дисплеї в комбінації приладів

Завдяки індикації на дисплеї в комбінації приладів, водій бачить, коли він їде у 2-циліндровому режимі, заощаджуючи пальне. Індикація системи вимкнення циліндрів відображається на багатофункціональному дисплеї в пункті меню "Миттєва витрата палива".

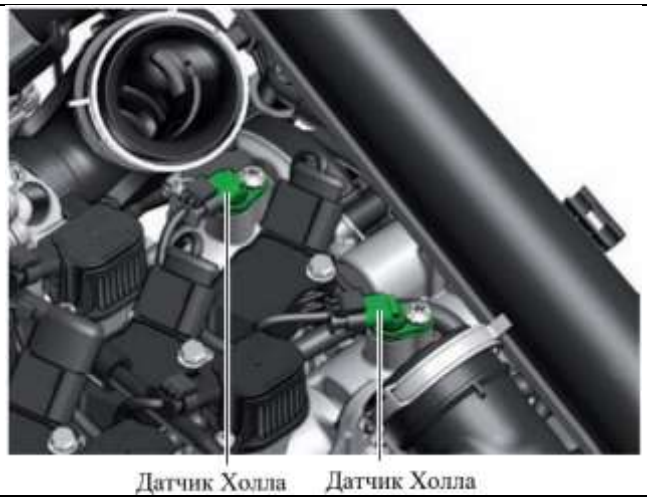
Завжди, коли двигун працює у 2-циліндровому режимі, у цьому пункті меню відображається повідомлення "2-циліндровий режим". У 4-циліндровому режимі індикація гасне і виводиться тільки поточна витрата палива.

Наслідки відмови

При відмові індикації вона більше не відображається в комбінації приладів. На роботу самої системи така відмова ніяк не впливає.

ДАТЧИКИ

Система управління двигуна використовує сигнали розглянутих далі датчиків для регулювання дії різних функцій і систем. Використовує їх і система вимкнення циліндрів, як для управління своєю роботою, так і для діагностики.

Датчики Холла	
За сигналами обох датчиків Холла, а також датчика частоти обертів двигуна блок управління двигуна визначає точне положення розподільчих валів. Це необхідно для розрахунку моменту висунення металевого стрижня.	Датчик Холла Датчик Холла

Наслідки відсутності сигналу

У разі виходу одного з датчиків з ладу двигун перемикається на 4-циліндровий режим, система відключення циліндрів відключається.

У реєстраторі подій робиться запис, і вмикається контрольна лампа електроприводу акселератора.

Датчик числа обертів двигуна	
Сигнал датчика числа обертів двигуна використовується: ✓ для генерації дозволу на включення 2-циліндрового режиму. Такий режим може використовуватися тільки тоді, коли оберти перебувають у діапазоні 1250-4000 об/хв. ✓ для точного розрахунку моменту висування металевого стрижня. Блок управління двигуна розпізнає точне положення в комбінації з сигналами датчиків Холла.	Датчик числа обертів двигуна

Наслідки відсутності сигналу

За відсутності сигналу двигун перемикається на 4-циліндровий режим, система відключення циліндрів вимикається. У реєстраторі подій робиться запис, і вмикається контрольна лампа електроприводу акселератора.

Виконавчі механізми впускних і випускних кулачків

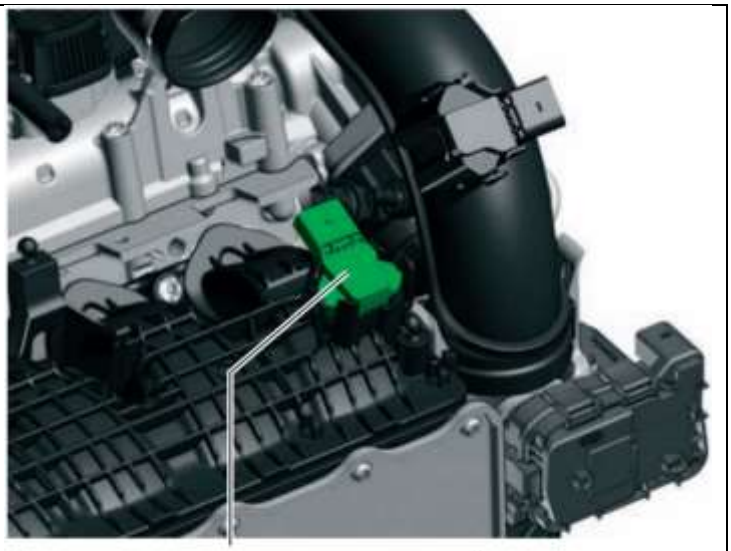
Під час повернення металевого стрижня у вихідне положення в котушці виконавчого механізму виникає, внаслідок явища індукції, імпульс напруги. Блок управління двигуна розглядає цей імпульс індуктивної напруги як сигнал повернення стрижня, що підтверджує переміщення блоку кулачків.

Наслідки відсутності сигналу

За відсутності сигналу система відключення циліндрів відключається. У реєстраторі подій здійснюється запис, і вмикається контрольна лампа електропривода акселератора.

Датчик тиску у впускному колекторі з датчиком температури повітря на впуску

Датчик тиску у впускному колекторі також використовується для контролю перемикання між режимами. У результаті різного відкривання і закривання клапанів у кожному з двох режимів у впускному колекторі створюється характерна картина тиску. Якщо фактична картина тиску відрізняється від номінальної (тобто тієї, яка має бути), то блок управління виходить із несправності або збою в механізмі перемикання.



Датчик тиску у впускному колекторі з датчиком температури повітря на впуску

Наслідки відсутності сигналу

За відсутності сигналу система відключення циліндрів вимикається. У реєстраторі подій робиться запис, і вмикається контрольна лампа електропривода акселератора.

Блок дросельної заслінки з датчиками кута повороту електропривода дросельної заслінки Під час перемикання між режимами має відповідним чином коригуватися масова витрата повітря. Датчики кута повороту повідомляють інформацію про положення дросельної заслінки, на підставі якої визначається, наскільки електропривод повинен повернути під час виконання перемикання.	 Блок дросельної заслінки

Наслідки відсутності сигналу

У разі виходу з ладу одного з датчиків система вимкнення циліндрів вимикається.

У реєстраторі подій робиться запис, і вмикається контрольна лампа електроприводу акселератора.

Датчики положення педалі акселератора

За допомогою датчиків положення педалі акселератора блок управління двигуна визначає запитувану водієм потужність двигуна, а також стиль водіння.

При розпізнаванні інтенсивного прискорення або яскраво вираженого спортивного стилю водіння двигун перемикається на 4-циліндровий режим або залишається в ньому.

За частих перемикань витрата пального тільки збільшиться.

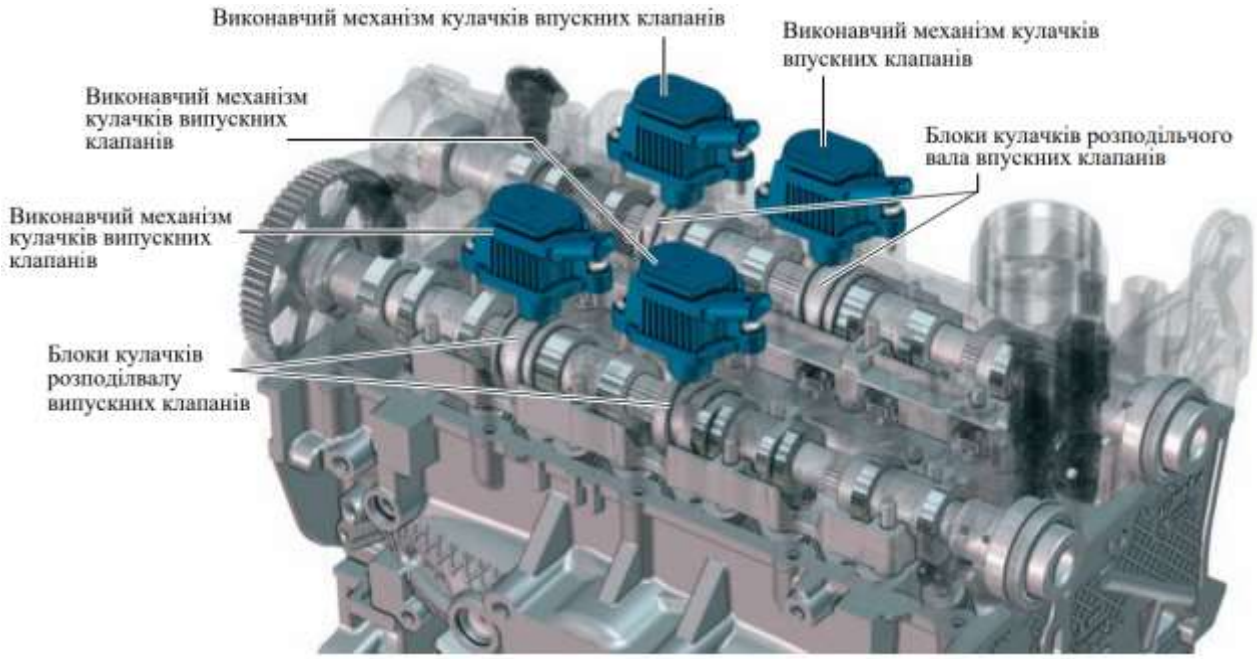
Наслідки відсутності сигналу

За відсутності сигналу запитувана потужність, прискорення або спортивний стиль водіння більше не можуть розпізнаватися. Крім інших заходів, вимикається система відключення циліндрів. У реєстраторі подій робиться запис, і вмикається контрольна лампа електроприводу акселератора.

ВИКОНАВЧІ МЕХАНІЗМИ

Виконавчі механізми кулачків впускних клапанів і випускних клапанів

На корпусі розподільчих валів кріпляться болтами чотири виконавчі механізми системи відключення циліндрів: два для блоків кулачків впускних клапанів і два для блоків кулачків випускних клапанів.



Призначення

Виконавчі механізми блоків кулачків являють собою електромагнітні приводи, що пересувають блоки кулачків в осьовому напрямку по шліцах розподільчого вала. При їх активації відключаються або знову підключаються циліндри 2 і 3.

Крім того, сигнал повернення стрижня дає змогу системі проконтролювати спрацьовування кожного з виконавчих механізмів.

Наслідки виходу з ладу одного або декількох виконавчих механізмів переміщення кулачків

Вихід з ладу або неспрацьовування одного з виконавчих механізмів система управління розпізнає за відсутністю сигналу повернення стрижня від відповідного виконавчого механізму (див. стор. 31). Реакція системи управління на відмову одного або декількох виконавчих механізмів залежить від режиму роботи, в якому перебуває двигун у момент відмови: в 4- або в 2-циліндровому.

Перемикання з 4-циліндрового на 2-циліндровий режим

Якщо блок керування двигуна розпізнає, за відсутністю сигналу повернення стрижня, що, наприклад, виконавчий механізм кулачків випускних клапанів циліндра 2 не відключив випускні клапани, то вже відключені клапани циліндрів 2 і 3 вмикаються знову. Двигун працює в 4-циліндровому режимі.

Перемикання з 2-циліндрового на 4-циліндровий режим

Якщо блок керування двигуна розпізнає за відсутністю сигналу повернення стрижня, що, наприклад, виконавчий механізм кулачків впускних клапанів циліндра 3 не увімкнув впускні клапани, то вже увімкнені випускні клапани циліндра 3 знову відключаються. Двигун продовжує роботу на 3 циліндрах.

У разі виходу з ладу виконавчих механізмів кулачків 2 циліндрів відключаються й інші клапани/циліндри.

Двигун продовжує роботу в 2-циліндровому режимі.

Відсутність сигналів повернення стрижня

Якщо блок управління двигуна розпізнає відсутність одного або декількох сигналів повернення стрижня:

- система відключення циліндрів вимикається;
- у реєстраторі подій робиться відповідний запис;
- вмикається контрольна лампа електронного приводу акселератора

Наступний пуск двигуна

Під час наступного пуску двигуна система відключення циліндрів вмикається знову і знову намагається відключити або ввімкнути блоки кулачків, від яких не надходив сигнал повернення стрижня. Якщо цього разу перемикання відбудеться, то система знову працює справно. Контрольна лампа вимикається, запис у реєстраторі подій спочатку переводиться в категорію спорадичних, а через деякий час видаляється. Якщо перемикання не відбудеться і цього разу, то слідує така ж реакція, як за попередньої відсутності сигналу повернення стрижня.

Відсутність сигналів повернення стрижня кілька разів поспіль.

Якщо сигнал повернення стрижня відсутній у трьох їздових циклах поспіль, вмикається лампа check engine. Ця лампа залишається увімкненою доти, доки несправність не буде усунена. Новий їздовий цикл починається під час увімкнення запалювання і пуску двигуна.

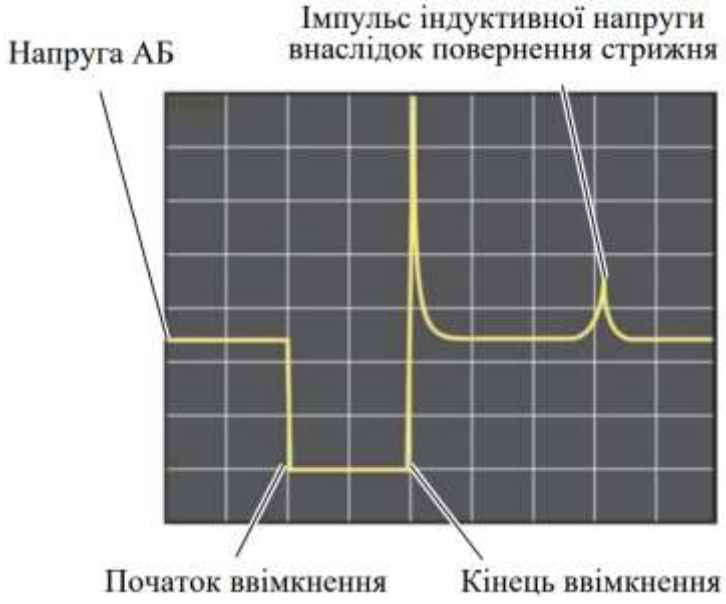
УПРАВЛІННЯ

До виконавчих механізмів кулачків через головне реле постійно (зокрема і в незадіяному стані) подається плюс АБ.

Для активації виконавчого механізму кулачків блок управління двигуна короткочасно замикає його ланцюг маси.

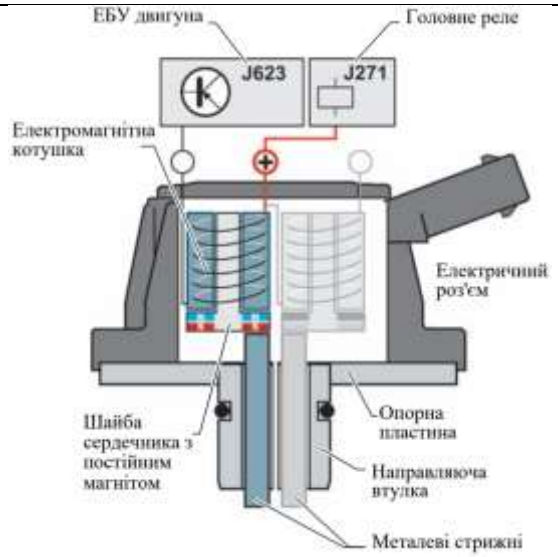
Металевий стрижень різко висувається, і починається процес переміщення блоку кулачків.

Після завершення переміщення похилий профіль дна напрямної канавки повертає металевий стрижень назад у вихідне положення. При цьому в котушці, внаслідок ефекту індукції, виникає імпульс напруги.



Металевий стрижень у вихідному положенні

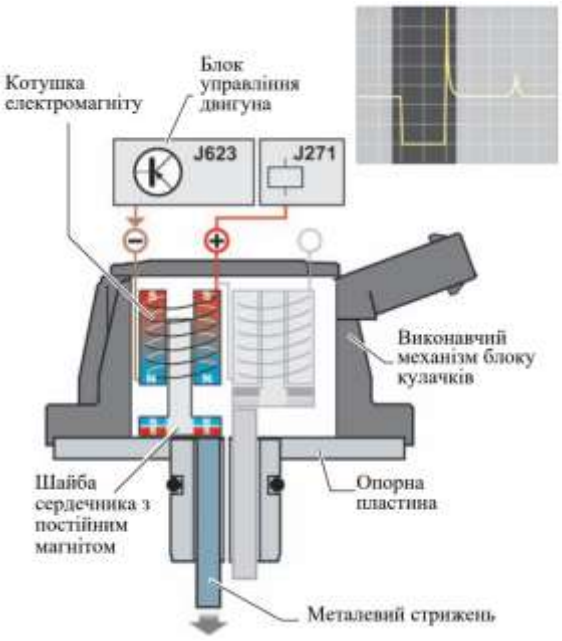
На електромагнітну котушку подається плюс АБ. Металеві стрижні утримуються у вихідному положенні двома постійними магнітами, по одному на кожен стрижень. Зсувні блоки кулачків циліндрів два і три фіксуються кульковим фіксатором у своєму поточному положенні (див. стор. 10).



сування металевого стрижня

Для активації виконавчого механізму блок управління двигуна короткочасно замикає його ланцюг маси. У котушці електромагніту створюється магнітне поле, і в результаті північний полюс електромагніту відштовхує північний полюс постійного магніту на шайбі сердечника.

Разом із постійним магнітом відштовхується і металевий стрижень, який у результаті висувається з великою швидкістю. Висунутий металевий стрижень входить у спіральну напрямну канавку, і в міру обертання розподільчого вала блок кулачків зсувається. Металевий стрижень утримується у висунутому положенні притяганням постійного магніту до опорної пластини.

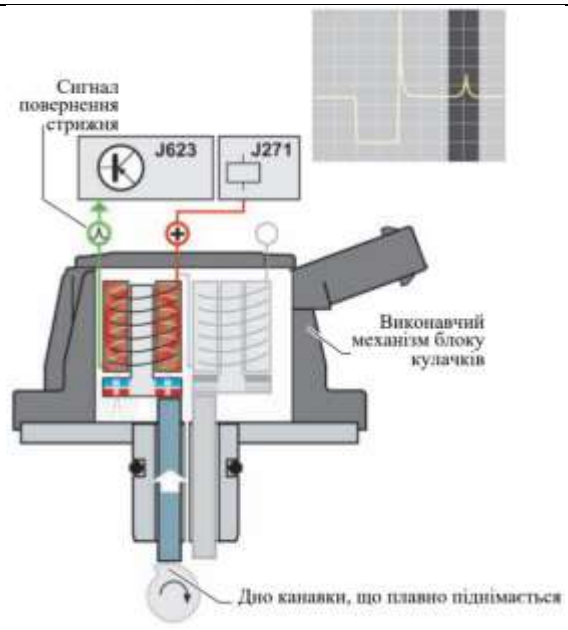


Повернення металевого стрижня у вихідне положення

Профіль дна напрямної канавки після приблизно одного обороту починає поступово підніматися, повертаючи металевий стрижень догори, в його початкове положення. Під час руху металевого стрижня з постійним магнітом до електромагнітної котушки, в ній, внаслідок ефекту індукції, виникає імпульс напруги.

Блок управління двигуна реєструє цей імпульс напруги і розглядає його як сигнал повернення стрижня, що підтверджує переміщення блоку кулачків і повернення стрижня у вихідне положення.

І в цьому разі металевий стрижень фіксується у своєму новому положенні постійним магнітом.



Додаток Б

Основні переваги і недоліки альтернативних палив в порівнянні з бензином і дизельним паливом

Транспортні засоби, що працюють на паливі	Переваги	Недоліки
Етанол	Етанол - поновлюване паливо	Більш висока вартість палива, ніж бензину
	Зниження витрати бензину	Вплив на вартість та доступність продуктів харчування (для харчової сировини)
	Не містить паливної сірки і ароматичних сполук	Ускладнений пуску холодного двигуна при високій концентрації етанолу в паливі
	Стійкість до детонації і поліпшення горіння завдяки більш високим октановим числом, ніж у бензину	Необхідність модифікації існуючих бензинових двигунів для використання більше 20% етанолу в паливі
	Скорочення емісії забруднювальних речовин у відпрацьованих газах, особливо твердих частинок	Більш низька економія палива (відстань, пройдена транспортним засобом, і кількість споживаного палива) з-за більш низької щільності енергії (GGe і Btu / галон), ніж у бензину, автомобілі E10 на 3-4%, E15 на 4-5% і E85 на 15-27% мають менше миль на галон, ніж автомобілі, що працюють на чистому бензині
	Практично не потребує модифікації існуючих бензинових двигунів (системи паливоподачі) за умови застосування до 20% етанолу в паливі.	Обмежена доступність етанолу у світовому масштабі (в даний час лише деякі країни мають сировиною і технологіями для великомасштабного виробництва етанолу)
	Скорочення викидів парникових газів (CO_2) протягом усього життєвого циклу за рахунок використання сировини з біомаси	
Біодизельне паливо	Біодизельне паливо - це поновлюване паливо	Збільшення вмісту NO_x
	Скорочення викидів вихлопних газів, таких як *CO*, C_mH_n і *PM*	Більш висока вартість палива порівняно з дизельним паливом
	Скорочення викидів парникових газів (CO_2) протягом усього життєвого циклу за рахунок використання відновлюваної сировини і скорочення викидів парникових газів на 15% для B20 і 74% для чистого біодизеля в порівнянні з дизельним паливом	Побоювання з приводу співвідношення продуктів харчування і палива
	Зниження витрат дизельного палива	Вплив на вартість і доступність продовольства (для харчової сировини, біодизеля)
	Практично не містить в паливі сірки і ароматичних сполук	Вирубка лісів для плантації олійних культур
	Практично немає необхідності модифікації існуючих двигунів аж до використання 20% біодизельного палива	Необхідність модифікації існуючих дизельних двигунів для використання більш 20% біодизельного палива
	Майже аналогічна потужність двигуна при використанні B20 або більш низьке процентне зміст біодизеля в порівнянні з	Викликає забруднення паливних баків, таке як ріст мікробів і утворення осаду

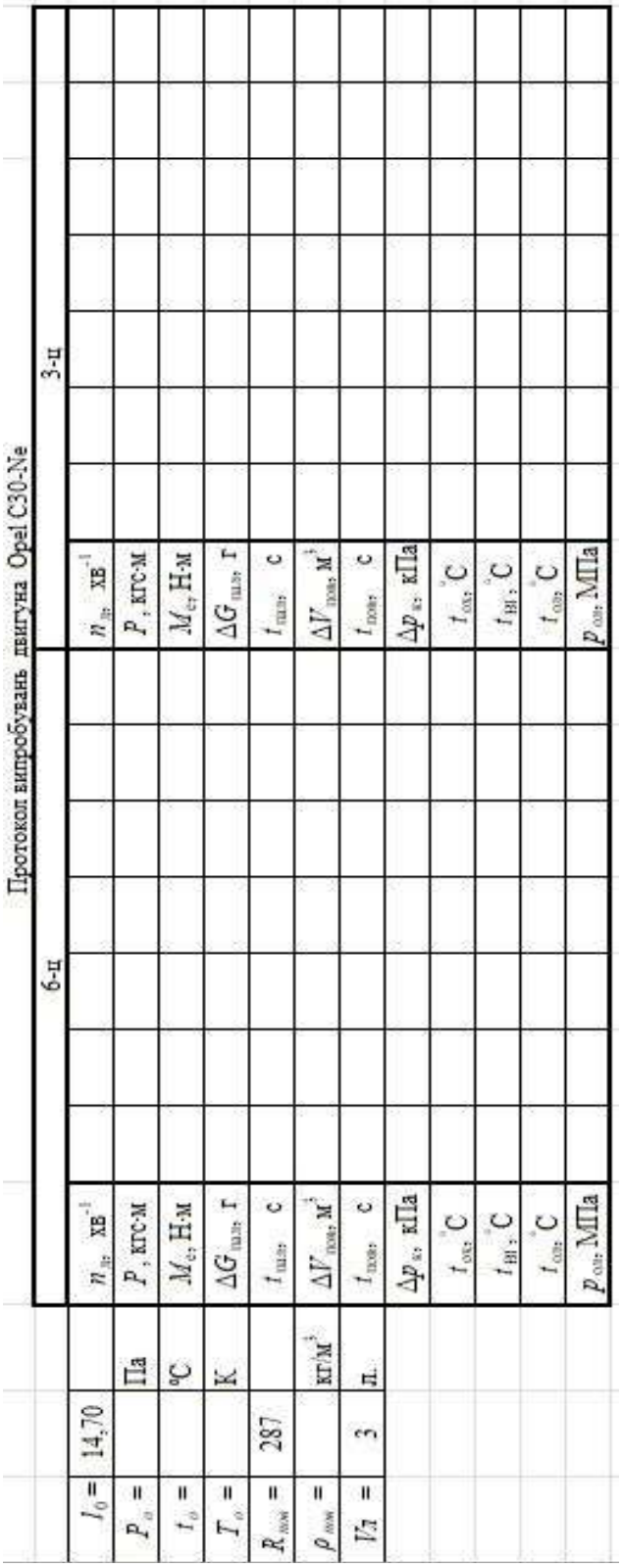
	дизельним паливом	
	Менший збиток, ніж від дизельного палива, при розливі або потрапляння біодизельного палива в навколишнє середовище	Збільшити ймовірність засмічення паливного фільтра, а також забруднення форсунок
	Безпечніше у зверненні, зберіганні і транспортуванні, ніж дизельне паливо	Зниження потужності двигуна і економії палива при використанні більш ніж на 20% біодизельного палива з-за його низької щільності енергії (Btu / галон) порівняно з дизельним паливом (більш низька економія палива і потужність на 10% для B100 і на 2% для B20)
	Поліпшується змащуюча здатність палива (збільшується термін служби рухомих частин двигуна) і підвищується цетанове число (поліпшується якість згоряння) суміші.	Якість біодизельного палива сильно варіюється через використання різних типів сировини
		Використання високої концентрації біодизеля (більше 20%) може призвести до пошкодження гумових і пластмасових деталей паливної системи або утворення нагару у двигуні
		Використання сумішей вище рівня B5 ще не отримало широкого схвалення багатьох автовиробників
Природний газ (КПГ і СПГ)	Компенсація початкових витрат на переклад традиційних транспортних засобів на використання природного газу за рахунок зниження витрат на паливо, експлуатацію та технічне обслуговування протягом терміну служби транспортних засобів, що працюють на природному газі.	Закупівельні ціни можуть бути трохи вище, ніж у традиційних бензинових або дизельних автомобілів, при цьому на 50-75% ця більш висока ціна обумовлена системою заправки природним газом. Але оскільки природний газ, як правило, дешевше бензину, таким чином, окупність інвестицій може бути швидкою
	Скорочення викидів парникових газів (CO_2) як безпосередньо (від транспортного засобу), так і протягом усього терміну служби в порівнянні з традиційними автомобілями, що працюють на бензині або дизельному паливі; наприклад, автомобілі малої вантажопідйомності, що працюють на природному газі, знижують викиди парникових газів на 6-11% порівняно з бензином протягом усього терміну служби палива	Необхідність регулярного огляду резервуарів для зберігання палива (газу або рідини) кваліфікованим сервісним центром (наприклад, не рідше одного разу на три роки або кожні 36 000 миль для СПГ) з питань безпеки
	Скорочення викидів з вихлопної труби	Підвищений ризик займання випливає палива (яке знаходиться в газоподібній формі) під час дорожньо-транспортних пригод
	Продовження терміну служби моторного масла за рахунок спалювання меншої кількості вуглецю, що міститься в природному газі.	Під час заправки МЕТАНОМ чутливий до деяким умовам, таким як витрата палива, номінальний тиск, температура навколишнього середовища і т. д.; наприклад, висока температура навколишнього середовища при використанні методу швидкої заправки може призвести до заповнення

		паливного бака лише на 75% від розрахункової потенційної ємності (якщо на заправній станції не використовується належна система регулювання тиску заправки).
	Порівнянна потужність, прискорення і крейсерська швидкість автомобілів, що працюють на природному газі, в порівнянні з дизельними або бензиновими автомобілями	Менший запас ходу (на одному паливному баку) автомобілів, що працюють на природному газі, в порівнянні з дизельними або бензиновими автомобілями з-за більш низької щільності енергії природного газу (GGe і Btu / галон).
	Природний газ дешевше бензину або дизельного палива	Хоча на природному газі розташоване майже найбільша кількість заправних станцій серед AFS, він має більш низьку інфраструктуру заправки в порівнянні з нафтовими (бензиновими або дизельними) станціями
	Автомобілі, що працюють на природному газі, можуть заощадити приблизно до 50% на вартості насоса за галон в порівнянні з автомобілями, що працюють на бензині або дизельному паливі	Автомобіль, що працює на СПГ, втрачає потужність двигуна на 10-15% порівняно з бензиновим автомобілем
	Природний газ забезпечує більш чистий і тривалий термін служби двигунів (свічок запалювання, моторного масла і циліндрів двигуна).	Потрібно більше часу заправки (від хвилин до годин), ніж бензиновим або дизельним автомобілям, якщо система заправки СПГ знаходиться в режимі тимчасової заправки; для режиму швидкої заправки час заправки МЕТАНОМ (менше 5 хвилин при 20 галонах бензину) майже така ж, як у бензину чи дизельного палива
	Стійкість до детонації і поліпшення горіння завдяки більш високим октановим числом природного газу в порівнянні з бензином	Транспортні засоби, що працюють на природному газі, виділяють метан (парниковий газ, який в кілька разів гірше, ніж CO_2, впливає на глобальне потепління), система подальшого очищення транспортного засобу може знизити викид метану
Зріджений нафтовий газ (LPG)	Стійкість до детонації і поліпшення горіння завдяки більш високим октановим числом, ніж у бензину	Автомобілі, що працюють на зрідженому газі, можуть коштувати кілька тисяч доларів дорожче, ніж аналогічні традиційні автомобілі, що працюють на бензині. Але оскільки паливо на зрідженому газі зазвичай дешевше бензину, таким чином, повернення інвестицій може бути швидким
	Запас ходу порівняємо із звичайним бензиновим автомобілем	Потрібно більше палива за обсягом (менша економія палива) для проходження того ж відстані, що і бензиновий автомобіль, з-за його низької щільності енергії (GGe і Btu / галон), ніж у бензинового палива (пропан містить на 27% менше енергії, ніж бензин на один галон). Однак більш низька вартість скрапленого газу за галон може швидко компенсувати його більш низьку паливну економічність

	Більш низькі витрати на технічне обслуговування автомобіля, що працює на зрідженому газі, в порівнянні з автомобілем, що працює на бензині, роблять його ідеальним вибором для поїздок з великим пробігом	Більш низька доступна інфраструктура заправки в порівнянні з нафтовими (бензиновими або дизельними) станціями
	Збільшення терміну служби двигуна автомобіля, що працює на зрідженому газі, завдяки більш високим октановим числом, а також більш низьким вмістом вуглецю і зниження забруднення маслом порівняно з бензином	Автомобіль, що працює на зрідженому газі спеціальним способом (двигун працює тільки на зрідженому паливі), має меншу, а іноді і такий же запас ходу (милі) на паливному баку в порівнянні з автомобілем, що працює на бензині
	Зниження проблем з холодним запуском і навіть майже повна відсутність необхідності у використанні збагаченої паливної суміші при запуску в холодну погоду. Оскільки паливна суміш в автомобілі, що працює на зрідженому газі, при вступі в циліндр двигуна повністю знаходиться в газоподібній формі (пропан і повітря)	Переклад транспортного засобу на використання скрапленого газу обходиться дорого. Але первісні витрати (кілька тисяч доларів, наприклад, 6 000-12 000 доларів США) на переведення традиційних автомобілів на газомоторный двигун можуть бути компенсовані за рахунок більш низьких витрат на паливо, експлуатацію та технічне обслуговування порівняно з бензиновими автомобілями протягом терміну служби автомобілів на газомоторном паливі
	Скорочення викидів парникових газів як безпосередньо (від транспортного засобу), так і протягом усього життєвого циклу (приблизно на 13%) порівняно з викидами традиційних транспортних засобів, що працюють на бензині.	Виробництво природного газу в якості ресурсу зрідженого нафтового газу призводить до утворення метану (парникового газу, який в кілька разів гірше, ніж CO_2, впливає на глобальне потепління).
	Скорочення викидів з вихлопної труби	
	Скорочення споживання нафти на 99%, якщо пропан буде побічним продуктом виробництва природного газу	
	Потужність, прискорення і крейсерська швидкість автомобіля, що працює на зрідженому газі, майже такі ж, як у автомобілів, що працюють на бензині	
	Автомобіль, що працює на зрідженому газі за двухтопливному принципом (двигун працює на зрідженому газі і бензиновому паливі), має такий же або більш високий (при використанні великої паливного бака) запас ходу на паливному баку в порівнянні з автомобілем, що працює на бензині	

Додаток В

Протокол випробувань для лабораторної роботи №1, №2, №3

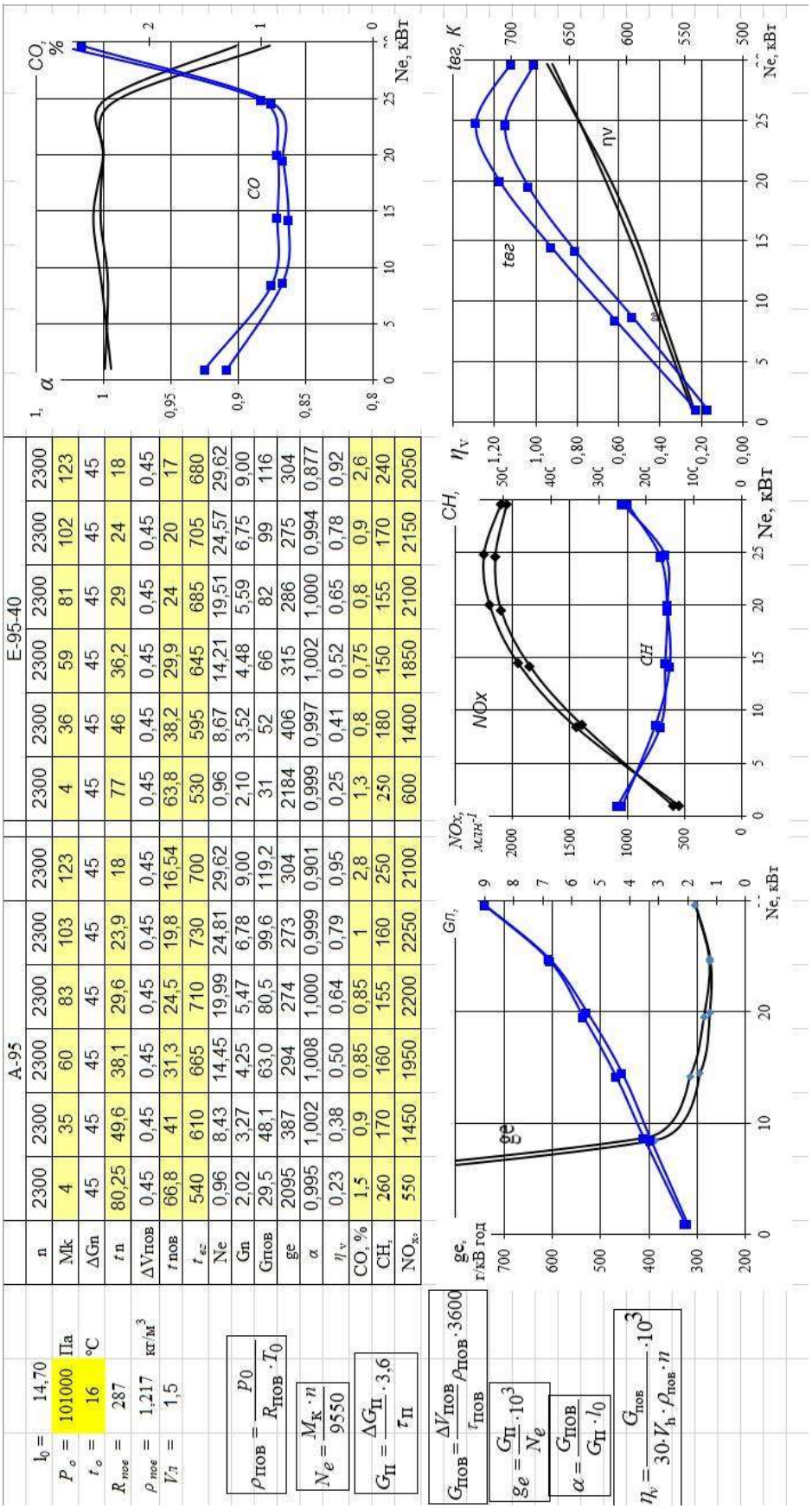


Протокол випробувань двигуна Opel C30-Ne

			6-ц								3-ц								
I_0 =	14,70																		
P_o =		Па	$n_{дв}$, хв$^{-1}$								$n_{дв}$, хв$^{-1}$								
			P, кгс·м								P, кгс·м								
t_o =		°С	$M_{ст}$, Н·м								$M_{ст}$, Н·м								
T_o =		К	$\Delta G_{пал}$, г								$\Delta G_{пал}$, г								
$R_{пов}$ =	287		$t_{пал}$, с								$t_{пал}$, с								
$\rho_{пов}$ =		кг/м^3	$\Delta V_{пов}$, м^3								$\Delta V_{пов}$, м^3								
$Vл$ =	3	л.	$t_{пов}$, с								$t_{пов}$, с								
			$\Delta p_в$, кПа								$\Delta p_в$, кПа								
			$t_{ок}$, °С								$t_{ок}$, °С								
			$t_{ВІ}$, °С								$t_{ВІ}$, °С								
			$t_{отр}$, °С								$t_{отр}$, °С								
			$p_{отр}$, МПа								$p_{отр}$, МПа								

Додаток Г

Протокол випробувань для лабораторної роботи №4, №5



		A-95						E-95-40					
l_0 =	14,70	n	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300	2300
P_o =	101000 Па	Mк	4	35	60	83	103	123	4	36	59	81	102	123
t_o =	16 °C	ΔGп	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45	45
$R_{пов}$ =	287	t п	80,25	49,6	38,1	29,6	23,9	18	77	46	36,2	29	24	18
$\rho_{пов}$ =	1,217 кг/м^3	ΔVпов	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
V_h =	1,5	t пов	66,8	41	31,3	24,5	19,8	16,54	63,8	38,2	29,9	24	20	17
		$t_{вг}$	540	610	665	710	730	700	530	595	645	685	705	680
		Ne	0,96	8,43	14,45	19,99	24,81	29,62	0,96	8,67	14,21	19,51	24,57	29,62
		Gп	2,02	3,27	4,25	5,47	6,78	9,00	2,10	3,52	4,48	5,59	6,75	9,00
		Gпов	29,5	48,1	63,0	80,5	99,6	119,2	31	52	66	82	99	116
		ge	2095	387	294	274	273	304	2184	406	315	286	275	304
		α	0,995	1,002	1,008	1,000	0,999	0,901	0,999	0,997	1,002	1,000	0,994	0,877
		η_v	0,23	0,38	0,50	0,64	0,79	0,95	0,25	0,41	0,52	0,65	0,78	0,92
		CO, %	1,5	0,9	0,85	0,85	1	2,8	1,3	0,8	0,75	0,8	0,9	2,6
		CH_1	260	170	160	155	160	250	250	180	150	155	170	240
		NO_x	550	1450	1950	2200	2250	2100	600	1400	1850	2100	2150	2050

$$\rho_{пов} = \frac{p_0}{R_{пов} \cdot T_0}$$

$$N_e = \frac{M_к \cdot n}{9550}$$

$$G_п = \frac{\Delta G_п \cdot 3,6}{\tau_п}$$

$$G_{пов} = \frac{\Delta V_{пов} \rho_{пов} \cdot 3600}{\tau_{пов}}$$

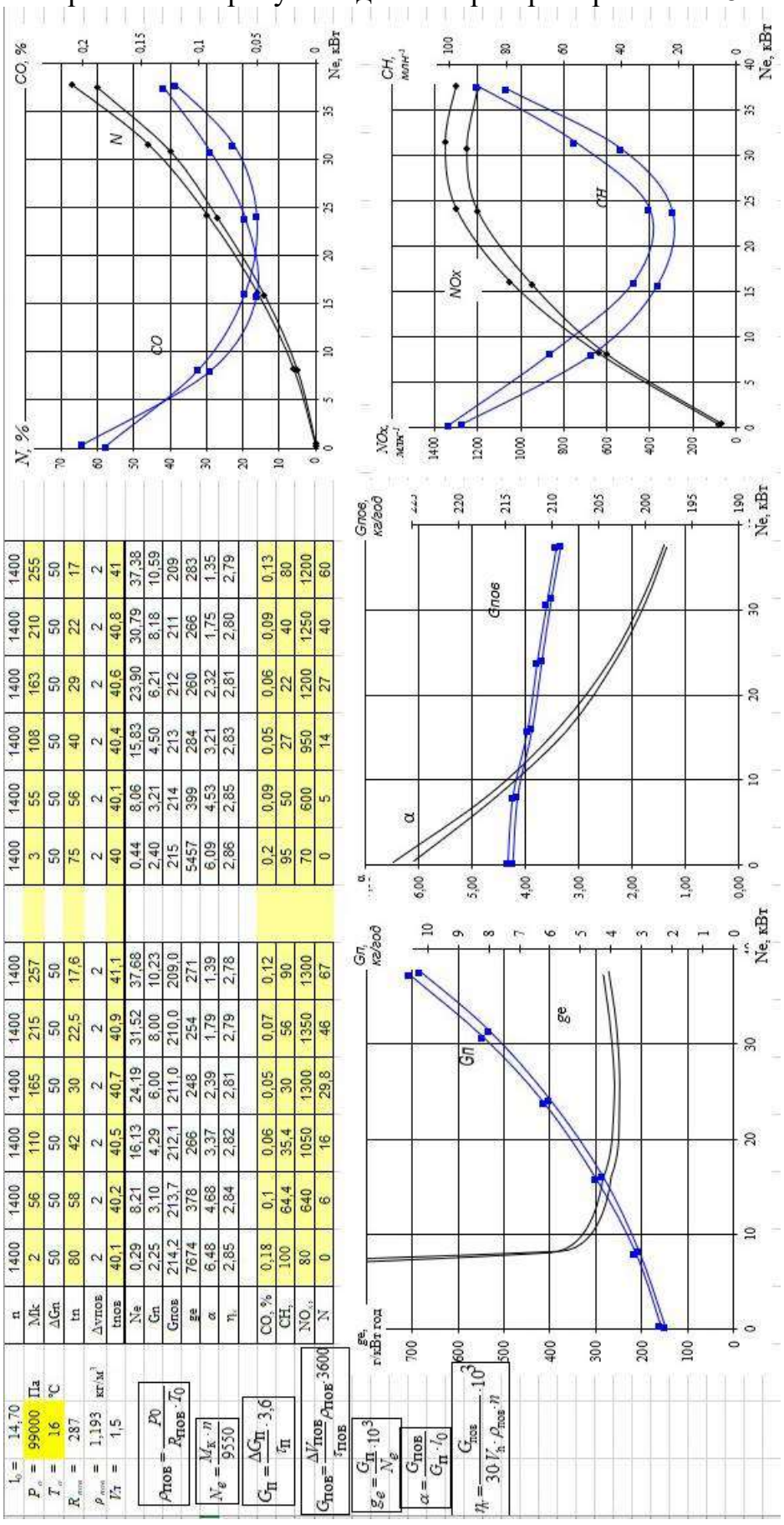
$$g_e = \frac{G_п \cdot 10^3}{N_e}$$

$$\alpha = \frac{G_{пов}}{G_п \cdot l_0}$$

$$\eta_v = \frac{G_{пов}}{30 \cdot V_h \cdot \rho_{пов} \cdot n} \cdot 10^3$$

Додаток Д

Протокол випробувань для лабораторної роботи №6



n	1400	1400	1400	1400	1400	1400		1400	1400	1400	1400	1400	1400
Mk	2	56	110	165	215	257		3	55	108	163	210	255
ΔGп	50	50	50	50	50	50		50	50	50	50	50	50
tп	80	58	42	30	22,5	17,6		75	56	40	29	22	17
Δvпов	2	2	2	2	2	2		2	2	2	2	2	2
tпов	40,1	40,2	40,5	40,7	40,9	41,1		40	40,1	40,4	40,6	40,8	41
Ne	0,29	8,21	16,13	24,19	31,52	37,68		0,44	8,06	15,83	23,90	30,79	37,38
Gп	2,25	3,10	4,29	6,00	8,00	10,23		2,40	3,21	4,50	6,21	8,18	10,59
Gпов	214,2	213,7	212,1	211,0	210,0	209,0		215	214	213	212	211	209
ge	7674	378	266	248	254	271		5457	399	284	260	266	283
α	6,48	4,68	3,37	2,39	1,79	1,39		6,09	4,53	3,21	2,32	1,75	1,35
ηt	2,85	2,84	2,82	2,81	2,79	2,78		2,86	2,85	2,83	2,81	2,80	2,79
CO, %	0,18	0,1	0,06	0,05	0,07	0,12		0,2	0,09	0,05	0,06	0,09	0,13
CH,	100	64,4	35,4	30	56	90		95	50	27	22	40	80
NOx,	80	640	1050	1300	1350	1300		70	600	950	1200	1250	1200
N	0	6	16	29,8	46	67		0	5	14	27	40	60

l_0 = 14,70

P_o = 99000 Па

T_o = 16 °C

$R_{пов}$ = 287

$\rho_{пов}$ = 1,193 кг/м³

V_T = 1,5

$$\rho_{пов} = \frac{P_0}{R_{пов} \cdot T_0}$$

$$N_e = \frac{M_к \cdot n}{9550}$$

$$G_п = \frac{\Delta G_п}{t_п} \cdot 3{,}6$$

$$G_{пов} = \frac{\Delta V_{пов}}{t_{пов}} \rho_{пов} \cdot 3600$$

$$g_e = \frac{G_п}{N_e} \cdot 10^3$$

$$\alpha = \frac{G_{пов}}{G_п \cdot l_0}$$

$$\eta_t = \frac{G_{пов}}{30\, V_h \cdot \rho_{пов} \cdot n} \cdot 10^3$$

Додаток Е

Протокол випробувань для лабораторної роботи №7