

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Запорізький національний технічний університет

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

з вивчення дисципліни

"Транспортні енергетичні установки"

та виконання контрольних завдань,
для студентів спеціальності

133 "Галузеве машинобудування"

("Колісні та гусеничні транспортні засоби"),
усіх форм навчання

2019

Методичні вказівки з вивчення дисципліни "Транспортні енергетичні установки" та виконання контрольних завдань, для студентів спеціальності 133 "Галузеве машинобудування" ("Колісні та гусеничні транспортні засоби"), усіх форм навчання. / Укл. : О. М. Артюх, О. В. Дударенко, А. Ю. Сосик, А. В. Щербина. Запоріжжя : ЗНТУ, 2019. 62 с.

Укладачі: О.М. Артюх, доцент, канд.техн.наук;
О.В. Дударенко, доцент, канд.техн.наук;
А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук;
А.В. Щербина, доцент, канд.техн.наук

Рецензент: О.С. Слюсаров, доцент, канд.техн.наук

Відповідальний за випуск: А.Ю. Сосик, доцент, канд.техн.наук

Затверджено
на засіданні кафедри "Автомобілі"
Протокол № 10
від « 10 » травня 2019.

Рекомендовано для видання
НМК Транспортного факультету
Протокол № 76
від « 17 » травня 2019.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Робоча програма дисципліни	5
2 Методичні вказівки	8
2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни	8
2.2 Задачі вивчення дисципліни	8
2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни	9
2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни	9
2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу	11
2.4.2 Тема 2. Класифікація двигунів і компоновальні схеми розміщення двигунів на транспортних засобах	14
2.4.3 Тема 3. Двигуни зовнішнього згоряння	16
2.4.4 Тема 4. Двотактні ДВЗ: робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння	25
2.4.5 Тема 5. Чотиритактні ДВЗ: робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння	26
2.4.6 Тема 6. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ	28
2.4.7 Тема 7. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ	30
2.4.8 Тема 8. Газові енергетичні установки на транспортних засобах	34
2.4.9 Тема 9. Роторно-поршневі ДВЗ	36
2.4.10 Тема 10. Газотурбінні ДВЗ	38
2.4.11 Тема 11. Гібридні й електричні енергетичні установки транспортних засобів	40
2.4.12 Тема 12. Двигуни внутрішнього згоряння з нетрадиційними робочими циклами	41
2.4.13 Тема 13. Водневі енергетичні установки	44
2.4.14 Тема 14. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок	47
3 Завдання на контрольні роботи	53
3.1 Список варіантів контрольних робіт	54
4 Контрольні заходи з перевірки якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни	58
5 Рекомендована література	59

ВСТУП

Метою курсу "Транспортні енергетичні установки" є вивчення робочих процесів енергетичних установок і особливостей їх конструкції.

Двигун внутрішнього згоряння - це основна енергетична установка сучасного транспорту (перед усім автомобільного), головною функцією якої є перетворення хімічної енергії палива в механічну роботу. Теорія енергетичної установки транспортної техніки вивчає робочі процеси, що відбуваються в енергетичній установці при перетворенні енергії палива в роботу за допомогою спеціальних пристроїв і механізмів, які складають конструкцію енергетичної установки. До енергетичної установки пред'являються вимоги по габаритах, масі та по надійності й довговічності.

Сучасна автомобільна транспортна техніка є складною машиною, створеною працею великої кількості інженерів з різних галузей науки й техніки багатьох країн.

Перші автомобілі з паровою силовою енергетичною установкою, що з'явилися в XVIII ст., були важкими й громіздкими. В 1860 р. французький інженер Етьєн Ленуар винайшов перший двигун внутрішнього згоряння, що працював на світильному газі. В 1870 р. Є. Ланген і М. Отто (Німеччина) побудували чотиритактні газові двигуни із примусовим запаленням суміші, а в 1897 г. німецький інженер Р. Дизель створив перший стаціонарний двигун із запаленням робочої суміші від стиску - дизель. В 1883 г. з'явився автомобіль із двигуном внутрішнього згоряння, побудований К. Бенцем, в 1888 г. - перший мотоцикл Г. Даймлера. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) поступово став основним джерелом енергії на транспорті будь якого типу та призначення.

Методичні вказівки мають ціль допомогти студентам отримати теоретичні знання, а також дають відповідне розуміння і широке роз'яснення складу і структури дисципліни "Транспортні енергетичні установки".

1 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Наведені назви змістових модулів та найменування тем дисципліни для самостійного вивчення. Навчальним планом дисципліни, для самостійного вивчення тем лекцій, передбачено час для студентів денної форми навчання - 78 годин, заочної – 112 годин.

Далі для кожної теми вказано час самостійної роботи студентів денної форми навчання. Також наведений перелік питань, які повинні бути самостійно розглянуті студентом при вивченні обраної теми.

Змістовий модуль 1. Двигуни внутрішнього згоряння: історія розвитку, конструктивні особливості та принципи розрахунку

Тема 1. Вступ до курсу (2 год.)

Особливості двигунів внутрішнього згоряння. Коротка історія розвитку двигунобудування. Характеристика двигунів внутрішнього згоряння як джерел енергії. Області застосування поршневих і комбінованих двигунів. Принципи конструювання й розрахунків сучасних двигунів.

Тема 2. Класифікація двигунів і компоновальні схеми розміщення двигунів на транспортних засобах (2 год.)

Абревіатури та скорочення систем двигунів світових виробників. Умовне позначення двигунів. Класифікація двигунів. Аналіз компоновальних схем розміщення двигунів на транспортних засобах.

Тема 3. Двигуни зовнішнього згоряння (2 год.)

Винахід і розвиток парових машин. Класифікація й типи парових двигунів. Переваги й недоліки парових машин. Двигун Стірлінга: історія появи, принцип роботи, термодинамічний цикл, переваги й недоліки, область застосування.

Тема 4. Двотактні ДВЗ (2 год.)

Робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння.

Тема 5. Чотиритактні ДВЗ (2 год.)

Робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння.

Тема 6. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ (2 год.)

Сумішоутворення. Запалення робочої суміші. Елементи конструкції двигуна. Системи впорскування бензину.

Тема 7. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ (2 год.)

Сумішоутворення. Запалення робочої суміші. Елементи конструкції двигуна. Система Common Rail.

Змістовий модуль 2. ДВЗ з нетрадиційними робочим циклами. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок

Тема 8. Газові енергетичні установки на транспортних засобах (2 год.)

Паливо для газобалонних автомобілів. Автомобільні газобалонні установки й газові дизелі. Особливості конструкції газобалонних автомобілів і автобусів. Автомобільні газові балони. Газові редуктори й випарники. Газозмішувальні пристрої. Автомобільні газонаповнювальні станції. Автомобільні газогенераторні установки.

Тема 9. Роторно-поршневі ДВЗ (2 год.)

Конструктивні схеми роторно-поршневих двигунів. Робочий цикл двигуна Ванкеля. Кінематична схема двигуна Ванкеля. Динаміка роторного двигуна. Автомобільні варіанти двигуна Ванкеля.

Тема 10. Газотурбінні ДВЗ (2 год.)

Історія створення й принцип дії. Основні характеристики. Термодинамічні цикли. Конструктивні схеми двигунів застосовуваних на автомобілях. Матеріали для виготовлення й шляхи поліпшення характеристик газотурбінних двигунів.

Тема 11. Гібридні й електричні енергетичні установки транспортних засобів (2 год.)

Схеми гібридних силових установок автомобілів: послідовна, паралельна й послідовно-паралельна. Переваги й недоліки автомобілів з гібридними силовими установками. Електромобілі. Механічні накопичувачі енергії. Електропневматичні силові установки.

Тема 12. Двигуни внутрішнього згоряння з нетрадиційними робочими циклами (2 год.)

Напрямки й методи модифікування робочого циклу ДВЗ. Двигуни з розділеними тактами. Двигуни з доданими тактами. Двигуни зі змінюваною комбінацією тактів. Двигуни з регульованими ступенем стиску й робочим об'ємом. Гібридні робочі процеси із самозапалюванням гомогенного заряду.

Тема 13. Водневі енергетичні установки (2 год.)

Моторні властивості водню й передумови його використання як палива для ДВЗ. Енергоекологічні показники водневого ДВЗ. Робочий процес автомобільних двигунів на водні й суміші бензину з воднем. Акумуляування водню на борту автомобіля.

Тема 14. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок (2 год.)

Екологічна безпека ДВЗ. Норми токсичності Євро. Альтернативні види палива ДВЗ. Біопаливо як засіб вирішення кліматичної проблеми. Напрямки і перспективи подальшого конструктивного вдосконалення ДВЗ.

2 МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

2.1 Загальні вказівки. Мета викладання дисципліни

Метою викладання дисципліни "Транспортні енергетичні установки" є вивчення студентами конструкції енергетичних установок транспортних засобів, їх основних механізмів і систем; формування знань і вмінь виконання розрахунків і проектування основних механізмів і систем енергетичних установок автомобілів і тракторів з урахуванням умов експлуатації.

2.2 Задачі вивчення дисципліни

Задача навчальної дисципліни полягає у формуванні у студентів сукупності знань, вмінь та уявлень відносно вирішення задач дослідження та випробування складних технічних систем.

У результаті вивчення курсу "Транспортні енергетичні установки" студент повинний **знати**:

- класифікацію й конструкцію енергетичних установок та їх систем, застосовуваних на транспорті;
- тенденції розвитку енергетичних установок наземних транспортно-технологічних засобів;
- методику добору енергетичних установок для наземних транспортно-технологічних засобів;
- інженерну термінологію в області виробництва ДВЗ;
- методи розрахунків основних експлуатаційних характеристик ДВЗ, їх типових вузлів і деталей;
- використовувані види палива для різних типів енергетичних установок;
- про вплив особливостей силового агрегату й умов його роботи на техніко-експлуатаційні показники автомобіля.

Вміти:

- аналізувати й оцінювати вплив конструкції на експлуатаційні властивості енергетичних установок наземних транспортно-технологічних засобів у цілому;
- аналізувати вплив конструкції на експлуатаційні властивості наземних транспортно-технологічних засобів;

- вибирати параметри енергетичних установок і систем наземних транспортно-технологічних засобів з метою одержання оптимальних експлуатаційних характеристик;
- виконувати розрахунки тягово-швидкісних і паливно-економічних властивостей, розраховувати параметри проводити критичний аналіз компоновальних схем і дизайнерських рішень;
- виконувати проектні роботи з компоновання енергетичних установок.

2.3 Загальні рекомендації щодо вивчення дисципліни

Вивчення дисципліни "Транспортні енергетичні установки" базується на знаннях наступних курсів: "Вища математика", "Фізика", "Автомобілі. Основи конструкції", "Деталі машин", "Теорія автоматичних систем автомобіля", "Робочі процеси автомобіля", "Теоретичні основи теплотехніки", "Основи САПР в автомобілебудуванні".

В процесі викладання дисципліни, в якості технічних засобів, використовується клас, обладнаний персональними комп'ютерами типу IBM PC, та матеріально-технічне забезпечення кафедри Автомобілі: розрізи двигунів автомобілів, дослідні стенди, вимірювальне обладнання та інструмент. Успішне вивчення дисципліни передбачає також використання сучасних інформаційних технологій (Internet).

2.4 Методичні вказівки для студентів по освоєнню дисципліни

Викладання дисципліни передбачає наступні форми організації навчального процесу: лекції, практичні заняття, самостійну роботу студента, консультації.

Робота на практичних заняттях передбачає активну участь студента в освоєнні поставлених завдань. Для підготовки до занять рекомендується звертати увагу на проблемні питання, що піднімаються викладачем під час лекції, і групувати інформацію навколо них.

Бажано виділяти у використовуваній літературі постановки питань, на які різними авторами можуть бути дані різні оцінки. На підставі постановки таких питань слід обирати аргументи на користь різних варіантів вирішення поставлених проблем.

У текстах авторів, таким чином, слід виділяти наступні компоненти:

- постановка проблеми;
- варіанти рішень;
- аргументи на користь тих або інших варіантів рішень.

На основі виділення цих елементів простіше становити власну аргументовану позицію по розглянутому питанню. При роботі з невідомими термінами необхідно звертатися до словників, у тому числі доступних в Інтернеті.

При написанні рефератів (контрольних робіт), у матеріалі слід виділити невелику кількість (не більш 5) проблем, що зацікавили Вас, і згрупувати матеріал навколо них. Слід домагатися чіткого розмежування окремих проблем і виділення їх часткових моментів.

При підготовці до лабораторних занять Вам може знадобитися матеріал, що вивчався раніше, тому варто звертатися до відповідних джерел (підручників, монографій, статей). Письмова домашня робота й завдання можуть бути індивідуальними й загальними.

При підготовці до іспиту необхідно опиратися насамперед на лекційні заняття, а також на джерела, які розбиралися на заняттях протягом семестру.

Самостійна робота студента виконується за завданням і при методичному керівництві викладача, але без його особистої участі. Самостійна робота підрозділяється на самостійну роботу на аудиторних заняттях і на позааудиторну самостійну роботу.

Самостійна робота студента включає як повністю самостійне освоєння окремих тем (розділів) дисципліни, так і пророблення тем (розділів), освоюваних під час аудиторної роботи. Під час самостійної роботи, студенти читають і конспектують навчальну, наукову й довідкову літературу, виконують завдання, спрямовані на закріплення знань і відпрацьовування вмій і навичок, готуються до поточного й проміжного контролю по дисципліні.

При вивченні тем курсу наведених нижче, студентові необхідно повторити лекційний навчальний матеріал, вивчити рекомендовану літературу, а також навчальний матеріал, наявний в зазначених інформаційних ресурсах.

На завершальному етапі вивчення кожного модуля необхідно, скориставшись запропонованими питаннями для самоконтролю, перевірити якість засвоєння навчального матеріалу. У випадку утруднення

у відповідях на поставлені питання рекомендується повторити навчальний матеріал.

Після вивчення всіх модулів приступити до виконання контрольної роботи, керуючись методичними рекомендаціями з її виконання.

По завершенню вивчення навчальної дисципліни в семестрі студент зобов'язаний пройти проміжну атестацію. Вид проміжної атестації визначається робочим навчальним планом. До проміжної атестації допускаються студенти, що виконали вимоги робочого навчального плану.

2.4.1 Тема 1. Вступ до курсу

Література: [1], с. 6; [2], с. 11-14; [3], с. 8-20; [4], с. 8-26; [5], с. 8-9; [6], с. 7-12; [16], с. 3-7; [34], с. 5-10, 51-80.

Двигуни внутрішнього згоряння належать до найпоширенішого типу теплових двигунів, тобто таких двигунів, у яких теплота, що виділяється при згорянні палива, перетворюється в механічну енергію. Теплові двигуни можуть бути розділені на дві основні групи:

- двигуни зовнішнього згоряння - парові машини, парові турбіни, двигуни Стірлінга і т.п.;
- двигуни внутрішнього згоряння.

Із групи двигунів зовнішнього згоряння в даному курсі більш детально розглянуті тільки двигуни Стірлінга, тому що їхні конструкції близькі конструкціям двигунів внутрішнього згоряння.

У двигунах внутрішнього згоряння процеси спалювання палива, виділення теплоти й перетворення частини її в механічну роботу відбуваються безпосередньо усередині двигуна. До таких двигунів відносяться поршневі й комбіновані двигуни, газові турбіни й реактивні двигуни.

У газових турбінах спалювання палива відбувається в спеціальній камері згоряння. Паливо в неї подається насосом через форсунку. Повітря, необхідне для горіння, нагнітається в камеру згоряння компресором, установленим на одному валу з робочим колесом газової турбіни. Продукти згоряння через напрямний апарат надходять у газову турбіну.

У рідинних реактивних двигунах рідке паливо й окиснювач тим або іншим способом (наприклад, насосами) подаються під тиском з

баків у камеру згоряння. Продукти згоряння розширюються в соплі й виходять у навколишнє середовище з великою швидкістю. Витікання газів із сопла є причиною виникнення реактивної тяги двигуна.

Позитивною властивістю реактивних двигунів слід вважати те, що реактивна тяга їх майже не залежить від швидкості руху установки, а потужність її зростає зі збільшенням швидкості доступу у двигун повітря, тобто з підвищенням швидкості руху. Цю властивість використовують при застосуванні турбореактивних двигунів в авіації. Основні недоліки реактивних двигунів - відносно низька економічність і порівняно невеликий термін служби.

Комбінованими двигунами внутрішнього згоряння називаються двигуни, що складаються із поршневої частини й декількох компресійних і розширювальних машин (або пристроїв), а також пристроїв для підведення й відводу теплоти, об'єднаних між собою загальним робочим тілом. У якості поршневої частини комбінованого двигуна використовується поршневий двигун внутрішнього згоряння. Енергія в такій установці передається споживачеві валом поршневої частини, або валом іншої розширювальної машини, або обома валами одночасно.

Поршневий двигун і газова турбіна в складі комбінованого двигуна вдало доповнюють один одного: у першому найбільше ефективно в механічну роботу перетворюється теплота малих обсягів газу при високому тиску, а в другий щонайкраще використовується теплота більших обсягів газу при низькому тиску.

Найбільш економічними є поршневі й комбіновані двигуни внутрішнього згоряння, що одержали широке застосування в транспортній і стаціонарній енергетиці. Вони мають досить великий термін служби, порівняно невеликі габаритні розміри й масу, високу економічність, їх характеристики добре узгоджуються з характеристиками споживача. Основним недоліком двигунів слід вважати зворотно-поступальний рух поршня, пов'язане з наявністю кривошипно-шатунного механізму, ускладнюючого конструкцію й обмежуючого можливість підвищення частоти обертання, особливо при значних розмірах двигуна.

До позитивних особливостей двигунів внутрішнього згоряння слід віднести також те, що вони можуть бути з'єднані практично з будь-яким споживачем енергії. Це пояснюється можливостями одержання відповідних характеристик зміни потужності й крутного моме-

нту цих двигунів. Двигуни успішно використовуються на автомобілях, тракторах, сільськогосподарських машинах, тепловозах, судах, електростанціях і т.п., тобто двигуни внутрішнього згоряння відрізняються широкою областю застосування.

Без двигунів внутрішнього згоряння неможливий розвиток будівельно-дорожнього машинобудування; їх установлюють на бульдозерах, скреперах, грейдерах, екскаваторах, самохідних кранах, бетоновозах; вони є приводами бетононасосів, зварювальних агрегатів і компресорних установок.

У стаціонарній енергетиці двигуни внутрішнього згоряння широко використовують на невеликих електростанціях (потужністю в декілька кіловат), енергопоїздах і аварійних енергоустановках. Дизельні електростанції можуть будуватися великої потужності не тільки для покриття пікових навантажень, але й для роботи в якості базисних.

Порівняно невисока вартість виготовлення, компактність і мала маса двигунів внутрішнього згоряння дозволили широко застосовувати їх у силових установках. Двигуни внутрішнього згоряння одержали велике поширення також у якості привода компресорів і насосів для подачі газу, нафти, рідкого палива по трубопроводах, при виробництві розвідницьких робіт, для привода бурильних установок при буравленні шпар на газових і нафтових промислах.

Поряд з позитивними якостями двигуни внутрішнього згоряння мають і ряд недоліків. Серед них: обмежена в порівнянні, наприклад, з паровими й газовими турбінами агрегатна потужність; високий рівень шуму; відносно більша частота обертання колінчатого вала при пуску й неможливість безпосереднього з'єднання його з ведучими колесами споживача; токсичність випускних газів; зворотно-поступальний рух поршня, що обмежує частоту обертання, що і є причиною появи невірноважених сил інерції й моментів від них.

Двигун внутрішнього згоряння є основним джерелом енергії на автомобілях різного типу й призначення. Незважаючи на успіхи розвитку двигунів інших типів, вони ще по своїх основних характеристиках уступають двигунам внутрішнього згоряння і їх застосування поки носить експериментальний характер. Проте потужність автомобільних двигунів внутрішнього згоряння в цей час вже перевищує 1500 кВт.

У морському флоті двигуни внутрішнього згоряння також є основним джерелом енергії для суден. На судах застосовують двигуни

внутрішнього згоряння потужністю 29,4 МВт, можливий випуск дизелів потужністю до 37,5 МВт. Широкому поширенню дизелів на судах сприяє істотне поліпшення їх економічності, досягнуте за останні роки, а також те, що в цей час дизелі великої й середньої потужності можуть працювати на важкому паливі, вартість якого значно нижче, ніж звичайного дизельного палива. У зв'язку із цим використання важкого палива для суднових двигунів, не тільки основних, але й допоміжних, буде тільки розширюватися.

Питання для самоперевірки

1. Що обумовило розробку ДВЗ як силового агрегату?
2. Коли і ким були збудовані перші ДВЗ із запалюванням від іскри?
3. Якими особливостями характеризуються режими роботи автомобільних ДВЗ?
4. Які двигуни називаються комбінованими?
5. Коли і ким були збудовані перші ДВЗ із самозайманням від стиску?

2.4.2 Тема 2. Класифікація двигунів і компоновальні схеми розміщення двигунів на транспортних засобах

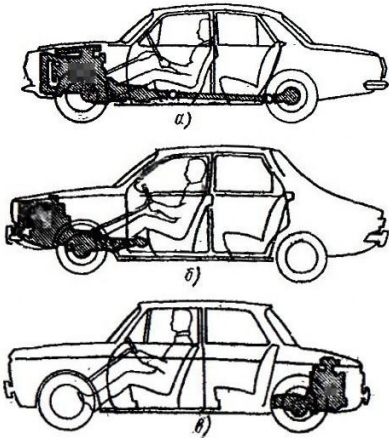
Література: [1], с. 13; [2], с. 13-14; [30], с. 12-19; [31], с. 14-135; [32], с. 21-29; [33], с. 10-21.

Розбираючи цю тему слід звернути увагу на те що компонуванням називають порядок розміщення на автомобілі окремих його механізмів і систем (компонування шасі), а також частин кузова, що відрізняються по призначенню (компонування кузова). Компоновальна схема автомобіля повинна насамперед відповідати умовам експлуатації, призначенню й вартості автомобіля, а також характеру його виробництва. Основними цілями компонування, загальними для автомобілів усіх типів, є забезпечення:

- такого розподілу повної маси автомобіля по осях, при якому буде здійснюватися надійне зчеплення ведучих коліс із поверхнею дороги;
- мінімальних розмірів і маси автомобіля при заданій його вантажопідйомності;

- зручного й безпечного розміщення людей і вантажу, доступності механізмів для їхнього обслуговування й ремонту.

Компонування шасі вантажних автомобілів загального призначення всіх типів однакове. У цих автомобілів зчеплення, коробка передач об'єднані із двигуном у єдиний силовий агрегат, розміщений у передній частині. Головна передача, диференціал, півосі й ведучі колеса являють собою, іншу складальну одиницю - ведучий міст, розташований у задній частині автомобіля.



а - класична; б - із приводом на передню вісь, в - із заднім розміщенням двигуна

Рисунок 2.1 - Компонування легкових автомобілів

Доцільність такого компонування пояснюється в основному наступним. При передньому розташуванні силового агрегату підвищується зручність керування їм і спрощується охолодження двигуна.

Використання задніх коліс як ведучих обумовлене їхнім кращим зчепленням з дорогою, тому що на задні колеса навантаження завжди більше. Для автобусів з метою підвищення місткості, комфортабельності й безпеки використовують особливу вагонну схему компонування.

Внутрішнє планування автобуса: число й розташування дверей, сидінь; наявність, розміри й розташування багажного відділення можуть бути різними залежно від призначення автобуса.

Ведучими завжди є задні колеса (у зчленованого автобуса задні колеса передньої або останньої секції). Двигун може бути розташований попереду, позаду, а також у середній частині (усередині бази) під підлогою кузова.

Для легкових автомобілів застосовують наступні компонувальні схеми (рис. 2.1):

- двигун установлений попереду; задні колеса ведучі - класичне компонування;
- двигун установлений попереду; передні колеса ведучі;
- двигун установлений позаду; задні колеса ведучі.

Переваги першої схеми перераховані вище. Її недоліком є наявність карданного вала. При установці карданного вала збільшується маса автомобіля, ускладнюється трансмісія, з'являється джерело вібрацій і шуму; обмежується можливість зменшення висоти автомобіля; потрібен тунель у днищі кузова, який виступає усередину пасажирського салону й зменшує його обсяг. За цією схемою будують переважно автомобілі малого класу або високих класів, для яких габаритні розміри, маса й вартість не мають вирішального значення.

При використанні інших схем карданний вал не встановлюють, двигун і трансмісію можна об'єднати в єдиний силовий агрегат і компактно розмістити його на автомобілі. По цих схемах - будують автомобілі переважно особливо малого й малого класів.

Питання для самоперевірки

1. Наведіть класифікацію автомобільних двигунів.
2. Які переваги передньоприводної компоновочної схеми легкових автомобілів?
3. Яким чином і для чого необхідно зменшувати масу автомобіля?
4. Охарактеризуйте компоновочні схеми автобусів.
5. Які можливі схеми розміщення двигуна на вантажних автомобілях?
6. Які дві основні причини найбільшого поширення передньоприводної схеми на легкових автомобілях?

2.4.3 Тема 3. Двигуни зовнішнього згоряння

Література: [1], с. 175-191; [5], с. 23-28; [6], с. 255-258; [26]; [27]; [28]; [29].

Перші парові силові установки довго й надійно служили на залізничному транспорті. Парові машини мають цілий ряд переваг: працюють тихо, м'яко й при розгоні розвивають великий крутний момент тощо. На початку ХХ століття, в Європі, а особливо в Великобританії, широкого розповсюдження в якості вантажного транспорту для комерційних перевезень набули парові вантажівки. Це було зумовлено тим що консервативні англійські покупці, особливо в багатому дешевим вугіллям графстві Ланкашир, віддавали перевагу тільки паровому транспорту. Оскільки на той час двигуни внутрішнього згоряння тільки

з'явилися і за своєю конструкцією не були досконалими. Отже більшість англійських вантажівок, на відміну від континентальної Європи, у той час ходили на паровій тязі.

Перші комерційні парові автомобілі які з'явилися приблизно в 1890 році у Великобританії, за своїм розміром були не набагато більші, ніж парові трактори (локомотиви). І вже починаючи з 1900 років вони вже розроблялися саме як вантажівки. Усього існувало майже 160 виробників парового вантажного транспорту.

Так наприклад компанії "Thornycroft" і "Leyland Motors" почали виробництво парових вантажівок в 1896 році, "Sentinel" в 1906 році, у Німеччині "Hanomag" і "Henschel".

Деякі відомі в 1960-ті роки європейські виробники вантажного комерційного транспорту, тільки з дизельними двигунами, як наприклад англійський "Atkinson", починали саме з виробництва парових вантажних автомобілів: брати Едвард і Гаррі Аткінсони в 1916 році побудували свою першу шеститонну парову вантажівку, а під час Першої світової війни, їхня фірма набрала обертів і значно розширилася саме за рахунок великого замовлення від англійського військового відомства на побудову парових вантажних машин.

Від бензинових машин парові відрізнялися надзвичайною довговічністю й надійністю й могли працювати на всьому що горить - вугіллі, дровах, соломі. У цих машин була невелика швидкість (до 50 км/год), вони брали на борт сотні літрів води й випускали пару в атмосферу.

Парова машина має здатність автоматично пристосовуватися до дорожніх умов. Якщо опір руху зростає, вона сповільнює обертання й збільшує крутний момент. Якщо ж опір руху зменшується, вона обертається усе швидше й швидше.

Згадаємо паровоз. Поршень його парової машини з'єднувався шатуном безпосередньо з колесами. Зчеплення й коробки передач не було й у спомині. Простою подачею пари в циліндр паровози торкали з місця тисячотонні состави, поступово збільшуючи їх швидкість, інший раз кілометрів під двісті. І все це робив без яких-небудь проміжних елементів найпростіший (якщо порівнювати із ДВЗ) двигун.

Тому інженери й воліли виготовити легкий компактний парогенератор і обійтися лише однією тільки паровою машиною, не прибігаючи до коробки передач і зчепленню.



Рисунок 2.2 - Паровий вантажний 3-х вісний Garrett 1931 року (фірми "Richard Garrett & Sons")



Рисунок 2.3 – Паровий легковий Doble Model E 1924 року

Перші парові автомобілі на рідкому паливі починали свій рух вже через 23 хвилини. Вони випускали пару в атмосферу, і їм було потрібно близько 30 л бензину й більше 70 л води на 100 км шляху.

Багато тогочасних виробників локомотивів також випускали свої варіанти парових вантажівок, але деякі фірми спеціалізувалися суто на парових. Вони поставляли парові вантажівки в армію, розробляли комерційні парові вантажівки й фургони, парові автомобілі (протягом декількох років), і також автобуси. До речі, перший у Лондоні комерційно успішний автобус, був двоповерховим паровим автобусом фірми "Thornycroft".

В СРСР, за часів індустріалізації велися роботи з переведення автомобілів і тракторів у ряді віддалених міст і сіл країни на більш дешеве місцеве паливо – вугілля, дрова, спирти. З цієї метою в країні велися власні науково-дослідні роботи в напрямку розробки парових автомобілів і газогенераторних установок. В той час дуже ретельно вивчався досвід провідних західних країн в цих напрямках.

Так в Одесі, у 1936 році, було видано книгу проф. Добровольського В.А. "Современные паровые автомобили и тракторы", в якій був систематизований весь матеріал по паровим автомобілям і тракторам, існувавший на той час. В книзі був даний не тільки аналіз конструкцій парових автомобілів і тракторів, але й наведені методики розрахунків вузлів та агрегатів цих парових машин. Автором основних підручників по паровим машинам і турбінам у СРСР, був основоположник фундаментальної інженерної освіти в області теплоенергетики й теплотехніки - проф. Георгій Сергійович Жирицький.

У 1935 році на Московському автозаводі ім. Сталіна (потім ЗІЛ), під керівництвом академіка Чудакова Є.О. досліджували паровий легковий автомобіль вищого класу з кузовом із цінної деревини на шасі "Паккард" із хромонікелевої сталі. Цей паровий автомобіль був зроблений американською фірмою "Беслер" по ліцензії компанії "Добль" в 1924 році.

Під його капотом розміщалися парогенератор і два (один за іншим) радіатори. На задньому мосту стояла невелика парова машина, виконана в єдиному блоці з диференціалом. Зчеплення, коробки передач і карданного вала на автомобілі не було. Керування двигуном здійснювалося педаллю подачі пари. Зрідка доводилося змінювати відсічення - фазу припинення впуску пари в циліндр. Звичайний поворот ключа запалювання - і через 45 секунд автомобіль рушає з місця.

Ще пару хвилин - і він готовий почати розгін до швидкості 150 км/год із прискоренням $2,7 \text{ м/с}^2$. Двигун автомобіля "Добль-Беслер" працював по замкненому циклу з конденсацією пари. 70 л води йому вистачало на 500 км їзди. Випускати пару на вулицю доводилося лише в рідких випадках. Тому при добре зроблених механізмах в автомобілі просто нічого не могло шуміти, а з парогенератора доносився лише шум полум'я.

У СРСР, в 1948 році був побудований дослідний вантажний паровий автомобіль НАМИ-012 на шасі семитонного ЯАЗ-200 (пізніше МАЗ-200). Характеристики трициліндрової парової машини були цілком звичними: потужність - 100 к.с., оберти - до 1250 у хвилину. А габарити й маса вийшли навіть меншими, чим у дизеля з коробкою передач. Правда, цю економію зводив нанівець важений (близько тонни) "котлоагрегат".



Рисунок 2.4 – Паровий НАМИ-012 на шасі семитонного ЯАЗ-200, 1948 рік

У парових автомобілях викид відпрацьованого пару неприпустимий, тому що це веде до дуже великої витрати води. Пару необхідно конденсувати для повторного використання в котлі. Це, однак, вимагає значного збільшення габаритів і маси силової установки. Крім того, значна частина корисної потужності, вироблюваної паровим двигуном, витрачається на привод вентилятора. У принципі, застосування парових машин в автотранспорті не таке просте, як це видається на перший погляд. Вода має ряд незручних експлуатаційних властивостей, зокрема, вона замерзає при низьких температурах, а якої-небудь рідини, якою можна було б її замінити, поки що не існує.

Складно видаляти воду з котла, якщо це необхідно, у всякому

разі, набагато складніше, чим просто злити її з радіатора звичайного двигуна. Підтримувати ж постійну температуру в паровому двигуні, щоб вода не змерзнула, також складно. Уживають спроби використувати в парових двигунах у якості робочого тіла фреон, застосовуваний у холодильній техніці. Цей газ має деякі переваги, зокрема, його простіше конденсувати, але, на жаль, він токсичний.

Дотепер немає повної ясності, який паровий двигун кращий - поршневий або турбінний. Поршневий двигун має гарні пускові властивості й більш сприятливу криву крутного моменту, однак для змащування циліндрів вимагає високоякісне масло. Крім того, пару що відробила, перед конденсацією доводиться пропускати через масловіддільник. Поршень, що поступально рухається, потрібно врівноважувати або виконувати двигун багатоциліндровим.

Поршні, застосовувані у двигунах внутрішнього згорання, для поршневих парових двигунів не придатні, тому що їх важко змазувати, і вони не забезпечують ефективного ущільнення; пара проникає в картер. Не ясно також, чи використовувати розширення пари в одному рівні, або при більш високому тиску - у двох рівнях? Іншими словами, невирішених проблем багато.

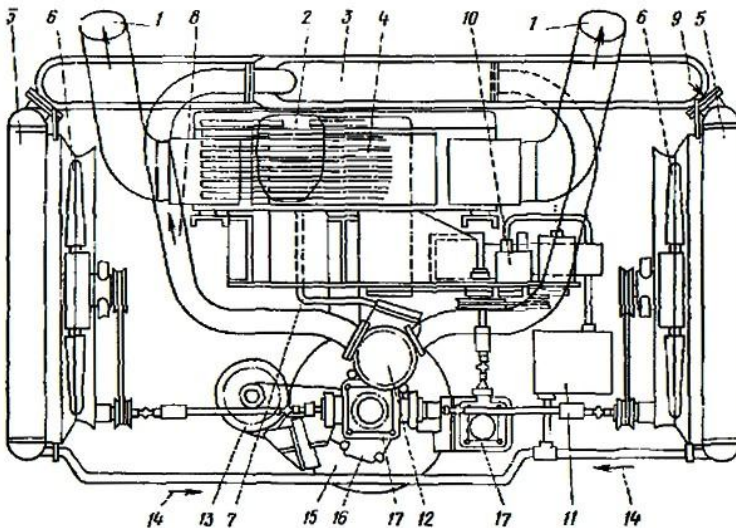
Парова турбіна має незрівнянно менші розміри й добре врівноважена. Уже накопичений досить великий досвід створення високоефективних парових турбін - їх виготовлення й експлуатації. Парова турбіна є найбільш поширеним у світі джерелом енергії, у тому числі й в атомних електростанціях, де тепловий котел замінений ядерним реактором. Однак малопотужні турбіни не вигідні, тому що вони не економічні як газові турбіни. При використанні на автомобілі парової турбіни відсутня проблема відділення масла від пари.

Однак крива крутного моменту парової турбіни менш сприятлива, ніж в парового поршневого двигуна. Крім того, при установці парової турбіни на автомобілі необхідна трансмісія з більшим передатним відношенням для значного зниження частоти обертання, а також спеціальний пристрій для заднього ходу. Турбіна має більшу інерцію, так що її однаково важко й розігнати й загальмувати швидко. В обох видах парових двигунів більші утруднення викликає привод допоміжного устаткування, для яких потрібен спеціальний двигун.

З викладеного видно, що реалізація парового привода - не проста справа. Однак деякі великі фірми провели відповідні пошукові роботи. Емісія токсичних речовин при спалюванні дизельного палива

така ж, як у двигунах із зовнішнім згорянням (Стірлінга). Умови безперервного горіння палива у гарячому топці при порівняно низьких температурах досить сприятливі. Котел парового двигуна повинен постійно перебувати в стані високої експлуатаційної готовності. Звичайно котел парового двигуна складається з однієї труби з малим обсягом води, щоб виключити небезпеку вибуху. Для введення в дію топки сучасного парового котла потрібно близько 20 секунд. Однак серйозним недоліком є те, що для виготовлення парових котлів потрібні дорогі матеріали.

В 1970-ті роки, у Європі продовжувалися окремі дослідні роботи по використанню парових машин на автомобільному транспорті. Найбільших успіхів по застосуванню парового приводу для автомобільного транспорту добився відомий інженер Б. Лір - один з піонерів у цій області. Колись він працював в області поршневих парових двигунів; його останні роботи були присвячені паровим турбінам.



- 1 - випуск, 2 - палиник, 3 - теплообмінник, 4 - котел, 5 - конденсатор,
- 6 - вентилятор, 7 - гаряча пара, 8 - відвід від турбіни пари що відробила,
- 9 - підведення пари з теплообмінника в конденсатор,
- 10 - водяний заправний насос, 11 - водяний бак, 12 - парова турбіна,
- 13 - генератор, 14 - трубопроводи від конденсатора до водяного бака,
- 15 - автоматична коробка передач,
- 16 - понижувальна передача, 17 - допоміжні приводи

Рисунок 2.5 - Схема парової силової установки автобуса Лір

У 1970-ті роки був розроблений автобус із паровим приводом, масою 20 т. Емісія токсичних речовин такого двигуна невелика, а вся силова установка розміщується в задній частині автобуса (рис. 2.5).

Парова турбіна, що працює з повною конденсацією, розвиває потужність 220 к.с. У цій паросиловій установці використовується незамерзаюча рідина. Крім того у свій час Лір розробив легковий автомобіль із паросиловою установкою моделі Шевроле Монте Карло. Розміри установки 610х660х410 мм, маса 115 кг, а потужність 59 кВт (80 к.с.). Витрата палива в обох випадках досить висока.

Дотепер не можна стверджувати, що паровий привод знайде широке застосування для автомобілів. Автомобільні двигуни внутрішнього згоряння давно перебували у центрі уваги й досягли високого ступеня досконалості. Заміна двигунів внутрішнього згоряння іншими видами силових установок досить складне завдання, що вимагає вагомих причин і дуже великих зусиль багатьох галузей промисловості.

Після Другої світової війни, у Європі більша частина парових вантажівок була утилізована. Але в 1950-ті роки парові автомобілі ще продовжували серійно випускати в Бразилії.

У наш час значна кількість парових вантажних і легкових автомобілей, парових тракторів і локомотивів збережена в робочому стані й продовжує брати участь у так званих "парових ярмарках", які особливо популярні у Великобританії.

Попри все, світові автоконцерни продовжують вести дослідницьку роботу в напрямку використання принципів роботи парових машин у сучасній автомобільній техніці.

Так компанія BMW у 2006 році успішно випробувала дослідний зразок гібриду ДВЗ і парової машини, названий "Турбостімером" (рис. 2.6).

Рідкий теплоносіє, що циркулює по двом замкненим контурам, розігрівается до температури паротворення. Спочатку випар відбувається у високотемпературному парогенераторі, що відбирає до 80% тепла від випускного тракту відразу за нейтралізатором.

Далі пара надходить в аксіально-поршневу машину, з'єднану з колінчатим валом ДВЗ. На її виході теплоносіє, однак, ще не настільки охолов, щоб зневажати енергією, що втримується в ньому. Тому він проходить через додаткові, низькотемпературні, теплообмінники, відбираючи тепло вже від системи охолодження двигуна й від випускного тракту за резонатором. Ця друга "порція" пари надходить у низько-

температурну машину, яка також підкручує колінчастий вал двигуна.

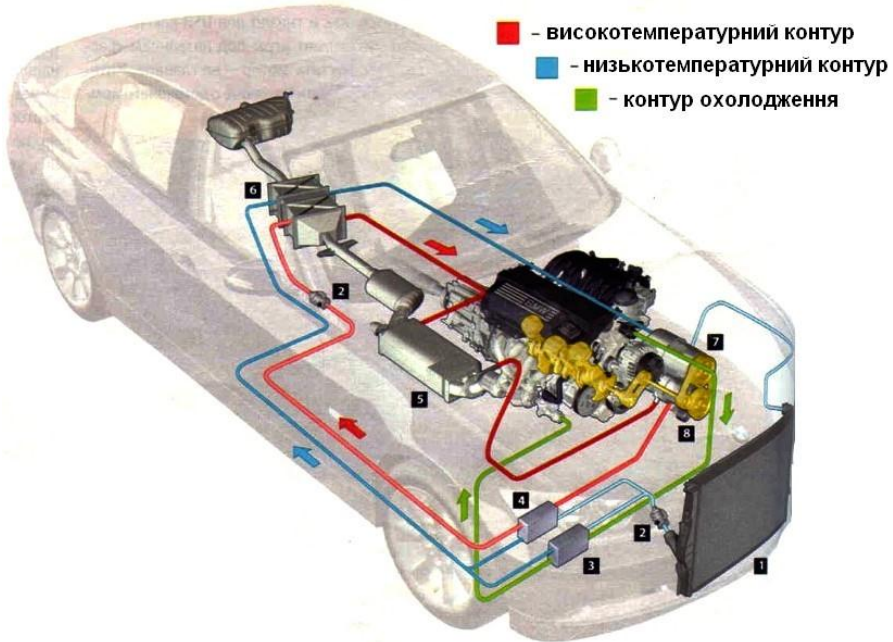


Рисунок 2.6 – Схема паробензинової установки "Турбостімер", фірми BMW 2006 року

У підсумку бензиновий мотор обсягом 1,8 л став на 15 % економічніше, додав 10 кВт потужності й 20 Нм крутного моменту! А температура газів на виході з глушника тепер усього лише 50°C. Проте для серійного впровадження цієї розробки, необхідно вести додаткові дослідження.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть про минуле і сучасне паросилових автомобільних установок.
2. Поясніть принципи роботи поршневого двигуна Стірлінга.
3. Опишіть перспективи розвитку двигунів Стірлінга для транспортних засобів.
4. Поясніть відмінність перебігу робочого процесу двигунів із зовнішнім підведенням теплоти від робочого процесу ДВЗ.

2.4.4 Тема 4. Двотактні ДВЗ: робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння

Література: [1], с. 21-23; [2], с. 58-60; [5], с. 18-23;
[6], с. 52-53; [7], с. 15-20; [34], с. 28-30.

Двотактний ДВЗ звичайно не має клапанів (за винятком двотактних дизелів), а замість них у певних місцях циліндра виконані отвори, які називаються продувними вікнами.

Через одне вікно надходить паливно-повітряна суміш (або повітря в дизелях), а через інше видаляються відпрацьовані гази. У головці циліндра встановлюється свіча запалювання (або форсунка в дизелі). Поршень у таких двигунах, як правило, має спеціальну форму. Під час першого такту відбуваються впуск і стиск. Коли поршень перебуває в НМТ, обидва продувних вікна відкриті.

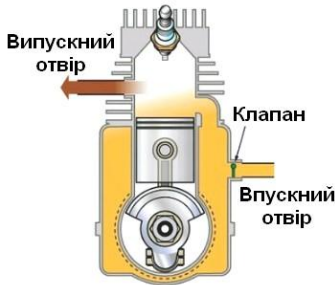


Рисунок 2.7 – Схема двотактного двигуна

Через одне з них під тиском від окремого продувного насоса або з використанням підпоршневої порожнини (картера) надходить свіжа горюча суміш (або чисте повітря в дизелях) і, заповнюючи циліндр, одночасно витісняє залишки відпрацьованих газів. Поршень що рухається до ВМТ перекриває продувні вікна, і починається процес стиску.

Поблизу від ВМТ подається іскра від свічі запалювання (або впорскується паливо в дизелі), після чого починається

другий такт - робочий хід, який переходить у випуск, після того, як відкривається випускне вікно. При однаковій потужності двотактний двигун виходить простішим й компактнішим, ніж чотиритактний. Крім того, у двотактних двигунах робочий хід відбувається у два рази частіше. Це привело до широкого застосування двотактних двигунів на невеликих транспортних засобах і агрегатах, таких, як мотоцикли, моторні човни, газонокосарки й т.п. В 60-ті рр. двотактні двигуни встановлювалися на автомобілях SAAB, а також на автомобілях, що вироблялися в НДР (Wartburg і Trabant).

На жаль, у класичних двотактних двигунах частина паливно-повітряної суміші неминуче губиться разом з відпрацьованими газами,

що обумовлює гіршу паливну економічність, у порівнянні із чотири-тактними двигунами, і погані екологічні показники. От чому всі автомобілі, що серійно випускаються в цей час, комплектуються чотири-тактними двигунами.

Необхідно відзначити, що останнім часом з'явилися двотактні двигуни, у яких використовується процес упорскування паливно-повітряної суміші, розроблений фірмою Orbital, що дозволило значно поліпшити показники таких двигунів. Багато дослідників відзначають також меншу довговічність двотактних двигунів, викликану тим, що поршневі кільця постійно перетинають крайки продувних вікон, і тому зношуються швидше.

Питання для самоперевірки

1. Охарактеризуйте індикаторні, механічні та ефективні показники робочого циклу двотактного двигуна.
2. Опишіть робочий цикл поршневого двотактного двигуна внутрішнього згоряння.
3. Назвіть переваги й недоліки двотактного двигуна.
4. Де найбільш широко використовуються двотактні двигуни?

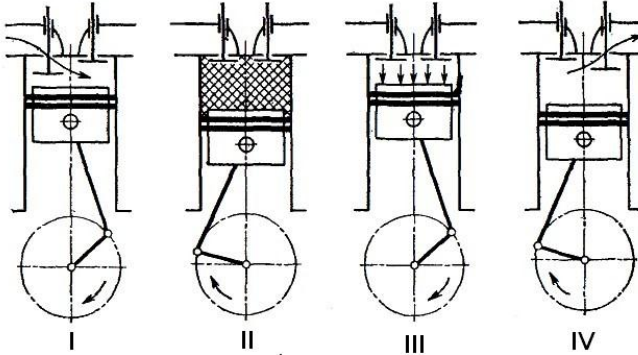
2.4.5 Тема 5. Чотиритактні ДВЗ: робочі цикли, діаграми, термодинаміка, процеси згоряння

Література: [1], с. 17-21; [2], с. 45-58; [5], с. 16-18; [6], с. 51-52; [7], с. 9-14; [34], с. 21-28.

В автомобільних двигунах перетворення хімічної енергії палива в теплову, потім її в механічну роботу відбувається не безупинно, а періодично, у результаті процесів, що чергуються в певній послідовності, у циліндрі двигуна. Сукупність цих процесів, що супроводжуються однократним, за кожні два оберти кривошипа, одержанням механічної роботи, називається робочим процесом двигуна.

Робочий процес - цикл двигуна схематично зображений на рис. 2.8. Він складається із чотирьох етапів - тактів. Кожний такт відповідає переміщенню поршня з однієї мертвої точки в іншу, тобто повороту кривошипа на 180° . Три такти є підготовчими, четвертий - робочим, тому що на цьому етапі процесу відбувається перетворення теплоти в механічну роботу.

Перший такт - впуск. Протягом цього такту поршень переміщується від в.м.т. до н.м.т., і у вивільнюваний над ним простір, під дією різниці тисків поза циліндром і усередині нього, через відкритий впускний клапан надходить повітря (у дизелі) або попередньо приготовлена горюча суміш парів бензину з повітрям (у бензиновому двигуні).



I - впуск свіжого заряду, II - стиск,
III - робочий хід, IV - випуск відпрацьованих газів

Рисунок 2.8 - Робочий процес одноциліндрового чотиритактного двигуна

Другий такт - стиск. Воно відбувається при русі поршня з н.м. т. у в.м.т. і закритих клапанів. У результаті стиску повітря в дизелі нагрівається до температури, достатньої для самозапалювання палива, яке надалі буде подано в циліндр. У бензиновому двигуні робоча суміш нагрівається й інтенсивно перемішується, що сприяє легкому наступному запаленню й швидкому згорянню палива, що втримується в суміші.

Третій такт - згорання (розширення). Такт протікає при закритих клапанах і починається в момент, коли поршень наприкінці стиску досягає в.м.т. У цю мить у циліндрі дизеля впорскується необхідна доза палива, а в циліндр бензинового двигуна подається електрична іскра. Паливо запалюється й згоряє, у результаті чого тиск у циліндрі різко зростає, і поршень під його впливом переміщується до н.м.т., обертаючи за допомогою шатуна й кривошипа вал двигуна. Під час даного такту теплота перетворюється в механічну роботу, тому його називають також робочим ходом.

Четвертий такт - випуск. Під час випуску із циліндра вида-

ляються відпрацьовані гази. Такт починається, коли поршень наприкінці робочого ходу приходить у н.м.т. У цей час відкривається випускний клапан, і гази під дією різниці тисків усередині й поза циліндром виходять в атмосферу. У процесі випуску поршень переміщається до в.м.т., і коли він приходить у вихідне положення, закривається випускний клапан, відкривається впускний, і цикл повторюється.

Безперервна, у певній послідовності повторюваність тактів, є обов'язковою умовою безперебійної роботи двигуна, забезпечується погодженою дією кривошипно-шатунного й газорозподільного механізмів, систем живлення й запалювання. Для надійної роботи двигуна він має також системи охолодження й змащення.

Потужність дизеля регулюють зміною дози палива, що впорскується, а бензинового двигуна - зміною за допомогою дросельної заслінки кількості горючої суміші, що надходить у циліндр.

Питання для самоперевірки

1. Опишіть робочий цикл поршневого чотиритактного двигуна внутрішнього згорання.
2. Охарактеризуйте індикаторні, механічні та ефективні показники робочого циклу чотиритактного двигуна.
3. Що показує індикаторна діаграма двигуна?
4. Що є обов'язковою умовою безперебійної роботи двигуна?
5. Які ще системи обов'язково наявні у двигуні?

2.4.6 Тема 6. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ

Література: [1], с. 52-70; [2], с. 219-231; [6], с. 233-252; [8], с. 18-65; [16], с. 30-36.

У бензиновому двигуні запалення паливно-повітряної суміші відбувається примусово за рахунок електричної іскри. Основними напрямками вдосконалювання бензинових двигунів є зниження витрати палива, токсичності відпрацьованих газів, підвищення потужності двигуна.

Для реалізації цих вимог на сучасних бензинових двигунах застосовуються ряд систем: безпосереднього упорскування, впускна й випускна системи, турбонаддув, зміни фаз газорозподілу, електронно-

го запалювання, рециркуляції відпрацьованих газів, керування двигуном.

Система безпосереднього упорскування забезпечує упорскування палива безпосередньо в камеру згоряння. Залежно від режиму роботи двигуна регулюється кількість палива, що впорскується, момент упорскування й утворюються різні види паливно-повітряної суміші (пошарова, гомогенна, стехіометрична гомогенна).

Сучасна **впускна система** характеризується дросельною заслінкою з електричним приводом і впускними заслінками на кожний циліндр. Впускні заслінки розділяють потік повітря на два канали – вільний, і такий що перекривається заслінкою. Закриті впускні заслінки забезпечують пошарове сумішоутворення за рахунок вихрового руху повітря в камері згоряння.

Турбонаддув є досить ефективною системою підвищення потужності бензинового двигуна, що ґрунтується на стиску усмоктуваного повітря за допомогою енергії відпрацьованих газів. Разом з тим, застосування турбонаддува на бензинових двигунах обмежене можливістю настання детонації.

Система зміни фаз газорозподілу забезпечує ефективну роботу газорозподільного механізму в різних режимах роботи двигуна (холостий хід, низькі оберти, високі оберти). У різних конструкціях систем, ефект досягається за рахунок зміни моменту відкриття (закриття) клапанів, тривалості їх відкриття, а також висоти підйому.

Найбільш досконалою системою запалення паливно-повітряної суміші бензинового двигуна є **електронна система запалювання**, у якій створення й розподіл струму високої напруги по циліндрах двигуна здійснюється за допомогою електронних компонентів – датчиків і блоку управління.

Випускна система крім випуску відпрацьованих газів, у значній мірі знижує їх токсичність. Цю функцію в системі виконує каталітичний нейтралізатор, що працює під керуванням кисневого датчика – лямбда-зонда.

Зниженню токсичності відпрацьованих газів, сприяє **система рециркуляції відпрацьованих газів**. Система зменшує вміст оксиду азоту у відпрацьованих газах, шляхом повернення їх частини у впускний колектор.

Система керування двигуном поєднує роботу всіх перерахованих систем, забезпечуючи їх оптимальне функціонування на всіх ре-

жимах роботи двигуна.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть роботу системи центрального впорскування бензину.
2. Поясніть роботу системи розподіленого впорскування бензину.
3. В чому полягає суть об'єднання системи впорскування і запалювання, принцип функціонування такої системи?
4. Як здійснюється зміна фаз газорозподілу і що досягають внаслідок цього?
5. Поясніть суть регулювання потужності відключенням циліндрів.

2.4.7 Тема 7. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ

Література: [1], с. 71-77; [2], с. 66-80; [6], с. 77-78, 143-182; [9]; [10]; [11]; [12]; [13].

Принцип роботи дизельного двигуна заснований на мимовільному (компресійному) запаленні дизельного палива, яке впорскується в камеру згоряння й змішується зі стислим і нагрітим до високої температури повітрям. На відміну від бензинового двигуна процес роботи дизеля не залежить від коефіцієнта надлишку повітря, а визначається гетерогенністю (неоднорідністю) паливно-повітряної суміші.

Дизельний двигун має ряд відмінних рис:

- має більший ступінь стиску і як наслідок більш високий коефіцієнт корисної дії, більшу вагу й габарити, низьку витрату палива;
- має низькі оберти колінчатого вала і як наслідок меншу питому потужність, супроводжувані неповним згорянням палива, сажеутворенням;
- не має дросельної заслінки, тому розвиває високий крутний момент на низьких обертах;
- має складну конструкцію паливної апаратури і як наслідок високу чутливість до якості палива.

Основними напрямками вдосконалювання дизельних двигунів є зниження витрати палива, токсичності відпрацьованих газів, рівня шуму, підвищення потужності двигуна, полегшення холодного запуску. Для реалізації цих вимог на сучасних дизельних двигунах застосо-

вустється ряд систем: Common Rail, впускна й випускна системи, рециркуляції відпрацьованих газів, турбонаддув, передпусковий підігрів.

Система Common Rail – це наступний крок у розвитку систем паливоподачі дизелів (а також бензинових двигунів). Її особливістю стало використання акумуляторного вузла (резервуара), який містить розподільний трубопровід (загальну рампу), лінії подачі палива й форсунки.

ЕБУ по заданій програмі передає керуючий сигнал до соленоїда форсунки, яка подає паливо в камеру згоряння двигуна. Використання тут принципу поділу вузла, що створює тиск (насос високого тиску), і вузла упорскування (електромагнітна форсунка) забезпечує підвищення точності керування процесом згоряння, а також збільшення тиску упорскування.

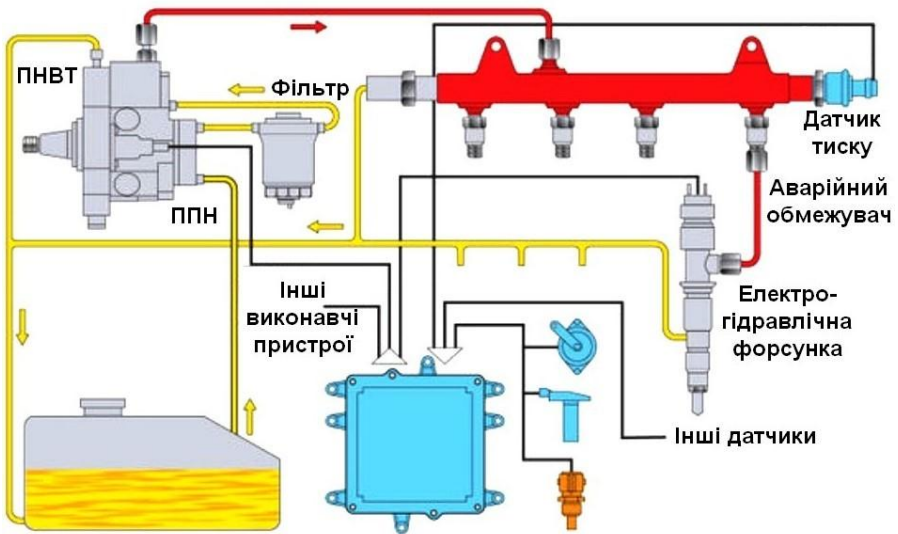


Рисунок 2.9 - Система Common Rail

Систему Common Rail, розроблену фірмою Bosch, відрізняють наступні особливості:

- можливість установки системи без радикальної зміни конструкції самого дизельного двигуна;
- тиск палива підтримується на необхідному рівні, незалежно від частоти обертання колінчатого вала двигуна. Це дає мож-

- ливість збільшити величину крутного моменту при малих обертах двигуна;
- керування системою здійснюється під контролем електроніки, тому кількість палива, що впорскується в циліндри, дозується більш точно. Це поліпшує процес згоряння й знижує витрати палива;
 - паливо впорскується під тиском близько 135 МПа. Такий високий тиск забезпечує одержання дуже дрібно розпиленого палива, яке згоряє повніше й приводить до зменшення шкідливих викидів і зниженню димності відпрацьованих газів. Ще більш повне згоряння може бути забезпечене застосуванням попереднього упорскування або багаторазового упорскування протягом одного такту;
 - організація процесу упорскування за допомогою електроніки дає можливість суттєво знизити гучність дизеля.

На відміну від інших систем живлення дизелів, керуючих роботою кулачкових механізмів, система Common Rail є акумуляторною системою, у якій паливо перебуває під високим тиском в акумуляторному вузлі (Rail).

Система Common Rail складається із трьох основних частин: контуру низького тиску, контуру високого тиску й системи датчиків. У контур низького тиску входять: паливний бак, насос що підкачує, паливний фільтр і сполучні трубопроводи.

Контур високого тиску складається з насоса високого тиску (який заміняє традиційний ТНВД) з контрольним клапаном, акумуляторного вузла високого тиску (рампи) з датчиком, що контролюють у ній тиск, форсунок і сполучних трубопроводів високого тиску.

Акумуляторний вузол являє собою довгу трубу з поперечно розташованими штуцерами для приєднання форсунок і виконаний двохшаровим (внутрішній шар виготовлений з хімічно інертного матеріалу).

Електронний блок керування системи Common Rail одержує електричні сигнали від наступних датчиків: положення колінчатого вала, положення розподільного вала, переміщення педалі "газу", тиску наддування, температури повітря, температури охолодної рідини, масової витрати повітря й тиску палива в акумуляторному вузлі.

Датчики визначають значення відповідних фізичних величин, а ЕБУ на основі отриманих сигналів обчислює необхідну кількість по-

даваного палива, дає команду на початок упорскування, визначає тривалість відкриття форсунки, коректує параметри упорскування й управляє роботою всієї системи.

У контурі низького тиску насос що підкачує, засмоктує паливо з бака, пропускає його через фільтр, у якому затримуються забруднення, і доставляє його до контуру високого тиску.

У контурі високого тиску, насос високого тиску подає паливо в акумуляторний вузол, де воно перебуває при максимальному тиску 135 МПа за допомогою контрольного клапана. Якщо контрольний клапан насоса високого тиску відкривається по команді ЕБУ, паливо від насоса по зливальному трубопроводу надходить у паливний бак.

Кожна форсунка з'єднується з акумуляторним вузлом окремим трубопроводом високого тиску, а усередині форсунки є керуючий соленоїд (електромагнітний клапан).

При одержанні командного електричного сигналу від ЕБУ, форсунка починає впорскувати паливо у відповідний циліндр. Упорскування палива триває доти, поки електромагнітний клапан форсунки не відключиться по команді блоку керування, який визначає момент початку упорскування й кількість палива, одержуючи дані від датчиків і аналізуючи отримані значення по спеціальній програмі, закладеної в пам'яті комп'ютера.

Крім того, блок робить постійний контроль працездатності системи. Оскільки в акумуляторному вузлі паливо перебуває при постійному й високому тиску, це дає можливість упорскування невеликих і точно відміряних порцій палива. З'явилася можливість упорскування попередньої порції палива перед основною, що дає можливість значно поліпшити процес згорання.

Питання для самоперевірки

1. В чому полягає принцип роботи дизельного двигуна?
2. Опишіть акумуляторну паливну систему Common Rail.
3. Що означає термін "рециркуляція відпрацьованих газів", для чого її застосовують?
4. Які відмінні риси притаманні дизельному двигуну?
5. Від чого залежить процес роботи дизеля?
6. З чого складається акумуляторний вузол?
7. Які основні напрямки вдосконалення дизельних двигунів?

Змістовий модуль 2. Експериментальні дослідження, випробування та сертифікація складних технічних систем.

2.4.8 Тема 8. Газові енергетичні установки на транспортних засобах

Література: [1], с. 152-164; [2], с. 263-282; [5], с. 49-54, 151-152; [8], с. 58-62; [18]; [35]; [36], с. 121-130.

При вивченні цієї теми слід звернути увагу на те, що природний газ у газові двигуни стаціонарних і транспортних енергетичних установок надходить безпосередньо з магістральних газопроводів з тиском 5,4-7,4 МПа.

Для живлення стаціонарних двигунів газоподібним паливом з газопроводів високого тиску на магістралі, що йде від газопроводу до двигуна, розміщують пристрій для зниження тиску газу. Перед змішувальними органами двигуна встановлюють регулятор тиску газу, який автоматично підтримує заданий тиск газу незалежно від його витрати двигуном.

На автомобільних газових заправних станціях природний газ, що надходить із магістральних газопроводів, після очищення й сушіння стискується до 20 Мпа й надходить для заправлення газових балонів транспортних установок. Внаслідок більших змін тиску газу і його витрати в газових двигунах транспортних установок, на шляху газу від балонів до двигуна встановлюють редуктор, що знижує тиск газу перед змішувальними пристроями.

Цей редуктор являє собою автоматичний регулятор тиску газу. Він відрізняється від регулятора тиску газу, використовованого в системі живлення стаціонарного двигуна, лише більш високим ступенем зниження тиску газу. Залежно від числа елементів, у яких відбувається послідовне зниження тиску газу, розрізняють одне-, двох- і багатоступінчасті редуктори.

Для двигунів транспортних установок можна використовувати газ середнього й низького тиску, одержуваний на газорозподільних станціях кінцевих ділянок газопроводів. Ці станції призначені для зниження тиску газу перед його подачею в міську мережу. У цьому випадку запас палива в балонах буде менше, відповідно поменшується й пробіг транспортного засобу.

У місцях, віддалених від магістральних газопроводів, а також у сільській місцевості доставка палива для транспортних установок здійснюється пересувними автогазозаправщиками, які перевозять газ у балонах при тиску 32 МПа.

Застосування зрідженого природного газу характерно для головних газорідинних двигунів судів метановозів, що перевозять газ у зрідженому стані в теплоізольованих ємностях. Щодня кількість перевезеного газу що випарувався внаслідок природного нагрівання становить 0,09...0,25 % від загальної кількості.

Щоб уникнути підвищення тиску в ємностях, пари газу повинні видалятися. Цієї кількості газу цілком достатньо для роботи головних двигунів на повній потужності. При відсутності газу двигун автоматично перемикається на рідке паливо.

У газових двигунах так само, як і у двигунах, що працюють на рідкому паливі, може бути здійснене зовнішнє або внутрішнє сумішоутворення. Залежно від типу й призначення газового двигуна, як і у двигунах, що працюють на рідкому паливі, застосовують кількісне, якісне й змішане регулювання.

Найбільше поширення одержало змішане регулювання, при якому в області більших навантажень потужність двигуна міняється в результаті зміни якості горючої суміші, а в області малих навантажень регулювання здійснюється зміною кількості свіжого заряду постійного складу, що надходить у циліндри двигуна.

До змішувальних пристроїв із газовими клапанами газоподібне паливо підходить під тиском, який залежить від способу сумішоутворення й схеми регулювання двигуна.

Для двигунів із зовнішнім сумішоутворенням без наддування газ надходить до змішувальних пристроїв під тиском, можливо близьким до атмосферного. Тільки в цьому випадку можна запобігти витіку газу у зовнішнє середовище й проникнення повітря в газопровід. При надлишковому тиску відбувається витік газу, а у випадку наявності вакууму в газопроводі утвір горючої суміші з газу у повітрі може привести до вибуху.

У двигунах із внутрішнім сумішоутворенням без наддування, а також у двигунах з будь-яким сумішоутворенням, але з наддуванням газ підводить до газового клапана під тиском, що трохи перевищують тиск продувки або наддування.

Тиск газу перед змішувальними пристроями при кількісному ре-

гулюванні повинний підтримуватися постійним, незалежно від його витрат, при якісному регулюванні - змінюватися за встановленим законом. Це завдання виконують автоматичні регулятори тиску газу, які встановлені на вході в газовий трубопровід двигуна.

Питання для самоперевірки

1. Що таке зріджений нафтовий газ (Liquefied Petroleum Gas, LPG)?
2. Які переваги використання зрідженого нафтового газу на автомобілях?
3. Що таке стислий природний газ (Compressed Natural Gas, CNG)?
4. Які переваги використання природного газу?
5. Назвіть два види автомобілів на природному газі.
6. Які види автомобілів краще пристосовані для роботи на природному газі?

2.4.9 Тема 9. Роторно-поршневі ДВЗ

Література: [1], с. 99-115; [5], с. 253-260; [16], с. 41-43; [34], с. 80-81.

Перший працездатний роторний (роторно-поршневий) двигун був створений в 1958 р. інженером Феліксом Ванкелем. Поперечний розріз і схема роботи цього двигуна наведені на рис. 2.10. Його основними частинами є нерухливий охолоджуваний рідиною корпус 2, закритий двома торцевими кришками, роторний поршень 5 і ексцентриковий вал, що обертається в підшипниках, розміщених у торцевих кришках корпуса.

Роторний поршень вільно насаджений на ексцентрик вала; зубчастий вінець 6 поршня перебуває в постійному зачепленні із шестірнею 1, закріпленою на торцевій кришці й розташованої соосно з валом двигуна. Передатне відношення цієї зубчастої пари 3:2.

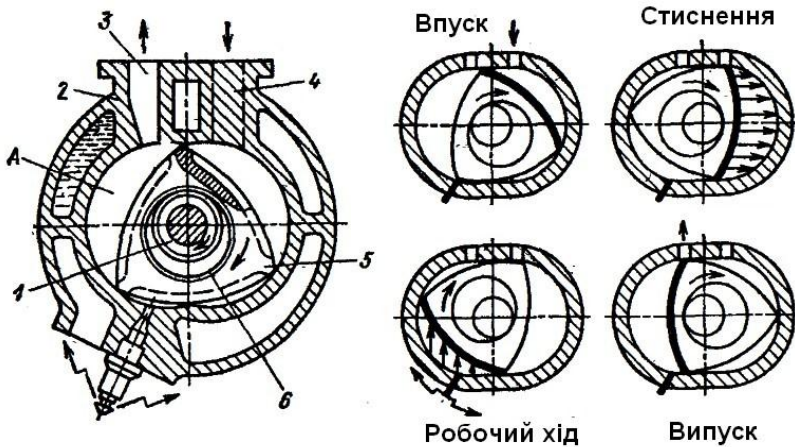
У результаті такої конструкції роторний поршень під час роботи двигуна обертається в 3 рази повільніше вала й робить складний рух - він одночасно обертається навколо своєї осі (осі ексцентрика) і разом з ексцентриком навколо осі вала. При цьому кожна із трьох його вершин описує криву, названу епітрохоїдою по якій обробляється внутрішня поверхня корпуса.

Вершини роторного поршня безупинно стикаються зі стінками

корпуса, внаслідок чого між поршнем і корпусом утворюються три робочі порожнини А.

Обсяг кожної з порожнин за один оберт роторного поршня змінюється від мінімального до максимального й від максимального до мінімального аналогічно зміні обсягу в надпоршневому просторі звичайного поршневого двигуна.

Це дозволяє робити в порожнинах А робочий цикл чотиритактного двигуна, у результаті чого за кожний оберт роторного поршня відбуваються три спалахи (робочих ходи).



- А - робоча порожнина, 1 - шестірня, 2 - корпус,
 3 - випускне вікно, 4 - впускне вікно,
 5 - роторний поршень, 6 - зубчастий вінець роторного поршня

Рисунок 2.10 - Поперечний розріз і схема роботи роторно-поршневого двигуна

Газорозподіл здійснюється по золотниковому принципу. Для випуску відпрацьованих газів, і впуску свіжого заряду в корпусі двигуна передбачені вікна 3 і 4, які відкриваються й закриваються роторним поршнем при його обертанні.

Завдяки відсутності шатунно-кривошипного й клапанного газорозподільного механізмів роторні двигуни по конструкції, розмірам і масі мають переваги в порівнянні зі звичайними поршневими двигунами.

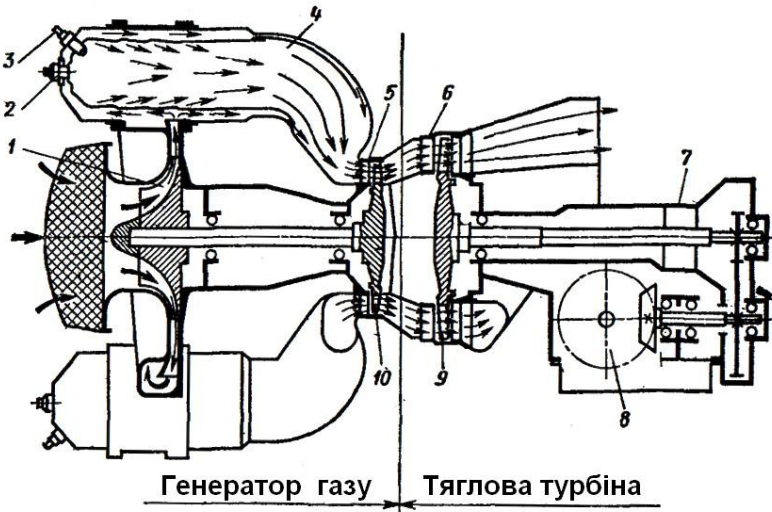
Питання для самоперевірки

1. Які основні задачі вирішують створюючи роторні двигуни?
2. В чому полягає принцип роботи роторно-поршневих двигунів?
3. Опишіть принцип роботи роторного двигуна Ванкеля.
4. Назвіть переваги й недоліки двигуна Ванкеля.
5. Які існують напрямки удосконалення конструкцій роторних двигунів?

2.4.10 Тема 10. Газотурбінні ДВЗ

Література: [1], с. 32-45; [20]; [21]; [22]; [34], с. 37-44, 81-84.

На відміну від поршневих двигунів у газовій турбіні механічну роботу одержують у результаті використання не потенційної, а кінетичної енергії продуктів згоряння, направляючи їх у вигляді організованого газового потоку на лопатки турбіни. Схема автомобільного газотурбінного двигуна наведена на рис. 2.11.



- 1 – компресор, 2 – форсунка, 3 – свіча запалювання,
 4 – камера згоряння, 5 і 6 – соплові апарати,
 7 – зубчастий редуктор, 8 – головна передача автомобіля,
 9 – колесо тягової турбіни, 10 – колесо турбіни компресора

Рисунок 2.11 - Схема двухвального газотурбинного двигателя

Компресор 1 відцентрового типу стискає повітря до тиску 0,40-0,45 Мпа й нагнітає його в камери згоряння 4. Туди ж через форсунки 2 безупинно подається паливо, яке при пуску двигуна запалюється свічею 3. Внаслідок безперервної подачі в камеру згоряння стисненого повітря й палива в ній підтримується постійний факел полум'я.

Продукти згоряння й нагріте ними надлишкове повітря, що утворюють робоче тіло - газ, пройшовши через нерухливі напрямні лопатки - сопловий апарат 5, спрямовуються на лопатки колеса 10 турбіни, що приводить в обертання компресор. Втративши тут частину енергії, газ, пройшовши через другий сопловий апарат 6, попадають на лопатки колеса 9 тягової турбіни, вал якої пов'язаний з головною передачею 8 автомобіля. Тому що колесо 9 обертається із частотою, що досягає декількох десятків тисяч обертів у хвилину, на додаток до головної передачі в трансмісії автомобіля передбачають зубчастий редуктор 7.

Таким чином, ліва частина газотурбінного двигуна є як би генератором газу, а права властиво двигуном. При такій схемі, що одержала назву двухвальної, продуктивність генератора газу не залежить від швидкості руху автомобіля. Цим обумовлюється сприятливий для автомобіля характер зміни крутного моменту на валу робочої турбіни залежно від швидкості руху автомобіля: зі зменшенням швидкості крутний момент росте й досягає максимуму при нерухливому автомобілі (початок рушання автомобіля з місця).

Автомобільні газотурбінні двигуни в порівнянні з поршневими мають значні переваги. Вони менші по розмірах і масі, конструкція їх простіша й надійніша, працюють на дешевих сортах палива, легко й швидко запускаються при будь-якій погоді, не вимагають громіздкої системи рідинного охолодження, що ускладнює експлуатацію автомобілів при температурах нижче нуля, урівноважені й мають сприятливу швидкісну характеристику.

Питання для самоперевірки

1. Поясніть принцип роботи ГТД.
2. Які термодинамічні цикли реалізують у ГТД?
3. Назвіть основні конструктивні схеми та напрямки удосконалення ГТД.
4. Чи є перспективи подальшого застосування ГТД на транспортних засобах?

2.4.11 Тема 11. Гібридні й електричні енергетичні установки транспортних засобів

Література: [1], с.209-222.

Гібридним автомобілем називається транспортний засіб, що приводиться в рух за допомогою гібридної силової установки. Відмінною рисою гібридної силової установки є використання двох і більше джерел енергії й відповідним їм двигунів, що перетворюють енергію в механічну роботу. У деяких джерелах інформації використовується термін "гібридний двигун", який з технічної точки зору невірний.

Незважаючи на різноманіття джерел енергії (теплова енергія бензину або дизельного палива, електроенергія, енергія стисненого повітря, енергія стислого зрідженого газу, сонячна енергія, енергія вітру та ін.) у промисловому масштабі на гібридних автомобілях використовується комбінація двигуна внутрішнього згоряння й електродвигуна.

Головна перевага гібридного автомобіля полягає в істотному скороченні витрати палива й викидів шкідливих речовин в атмосферу, яке досягається:

- погодженням роботи ДВЗ і електродвигуна;
- застосуванням акумуляторів великої ємності;
- використанням енергії гальмування, так зване рекуперативне гальмування, що перетворює кінетичну енергію руху в електроенергію.

Разом з тим, у гібридних автомобілях використовується безліч інших інноваційних розробок, що дозволяють заощаджувати паливо й берегти атмосферу, у тому числі: система зміни фаз газорозподілу; система стоп-старт; система рециркуляції відпрацьованих газів; система підігріву охолодної рідини відпрацьованими газами; поліпшена аеродинаміка; електропривод допоміжних пристроїв (водяного насоса, кліматичної установки, підсилювача керма та ін.); шини зі зниженим опором коченню.

Необхідно відзначити, що більший ефект від гібридних автомобілів спостерігається при русі в міському циклі, який характеризується частими зупинками, роботою в режимі холостого ходу. При русі з постійною високою швидкістю (заміський цикл) гібриди не так ефективні. Залежно від характеру взаємодії двигуна внутрішнього згоряння й електродвигуна розрізняють наступні схеми гібридних силових уста-

новок: послідовна, паралельна, послідовно-паралельна.

Під терміном "електричний автомобіль" або "електромобіль" розуміється транспортний засіб, який приводиться в рух одним або декількома електричними двигунами. При цьому живлення електромотора може здійснюватися від акумуляторної батареї, сонячної батареї або паливних елементів. Найбільше поширення одержала конструкція електромобіля з живленням від акумуляторної батареї.

Питання для самоперевірки

1. Назвіть основні екологічні показники поршневих ДВЗ.
2. Який транспортний засіб вважається гібридним?
3. Назвіть основні переваги та недоліки комбінованих (гібридних) силових установок.
4. Що розуміють під терміном "електромобіль"?
5. Назвіть переваги та розгляньте недоліки властиві електромобілям в процесі експлуатації.
6. В яких умовах проявляється найбільший ефект від гібридних автомобілів?
7. Поясніть принцип роботи та перспективи використання пневмодвигунів на транспорті.

2.4.12 Тема 12. Двигуни внутрішнього згоряння з нетрадиційними робочими циклами

Література: [1], с. 99-140; [5], с. 227-253; [15]; [19]; [24]; [25], с. 125-161; [37]; [38]; [39]; [40]; [41].

Аналіз перспектив розвитку двигунобудування свідчить про те, що в недалекому майбутньому поршневі двигуни внутрішнього згоряння збережуть своє домінуюче положення в традиційних галузях їх застосування (автомобільний і залізничний транспорт, сільськогосподарське машинобудування, суднобудування) при одночасному розширенні їх використання в транспортних засобах спеціального призначення. Поршневі двигуни постійно удосконалюються в першу чергу по екологічних і економічних показниках, обумовлених досконалістю робочого процесу. Однак в останні роки намітилася тенденція до зниження темпів поліпшення цих показників.

Поліпшення показників робочого процесу ДВЗ здійснюється за

рахунок розвитку гнучко керованих систем паливоподачі й повітропостачання. При цьому схема реалізації робочого процесу базується на традиційних дво- або чотиритактних циклах, що практично не перетерпіли змін, за більш ніж столітню історію розвитку ДВЗ. Удосконалювання традиційних циклів уже виявляється недостатньо ефективним. Тому можуть бути затребувані нетрадиційні модифіковані робочі цикли ДВЗ.

Двигунами з розділеними тактами називають такі, у яких такти робочого циклу (впуск - стиск - розширення - випуск) здійснюються в різних циліндрах, як правило, у двох. При цьому двигун складається із двоциліндрових модулів. Повний робочий цикл відбувається, як правило, за один оберт колінчатого вала, хоча двигун є чотиритактним.

Крім того, поділ тактів по різних циліндрах додає традиційному циклу ДВЗ додаткові позитивні якості. Наприклад, збільшивши розміри одного із циліндрів, можна забезпечити продовжене розширення робочого тіла. Додаткові такти додають до чотирьох тактів традиційного циклу з метою реалізувати продовжене розширення робочого тіла, або забезпечити додатковий відвід і рекуперацію теплоти від деталей циліндропоршневої групи.

Модифіковані робочі цикли можуть складатися з комбінації декількох елементарних циклів, що відрізняються тактами, або використанням робочим тілом. Елементарний цикл починається з такту впуску й завершується тактом випуску. Комбінований цикл, наприклад, складається із чотиритактного й двотактного циклів і позначається як 4+2. У двигунах з модифікованим циклом робочим тілом крім продуктів згоряння також можуть бути пара, суміш пари із продуктами згоряння, стиснене повітря.

Шеститактним двигуном називають ДВЗ, у якому до чотирьох тактів традиційного циклу, додано два додаткові такти. Шеститактні двигуни, як правило, є однооб'ємними зі здійсненням усіх тактів циклу в одному циліндрі. Під час додаткових тактів до робочого тіла підводиться теплота від нагрітих поверхонь камери згоряння, яка утилізується на такті розширення.

Різним режимам і умовам роботи двигуна в більшій або меншій мірі відповідають різні робочі цикли. Наприклад, на відміну від чотиритактного циклу, здійснюваного за два оберти колінчатого вала, двотактний цикл відбувається за один оберт колінчатого вала. Тому робочий обсяг двотактного двигуна буде значно менше робочого обсягу

чотиритактного двигуна такої ж потужності.

Переведення двигуна на режимах більших навантажень із чотиритактного на двотактний цикл, дозволив би забезпечити необхідні тягово-швидкісні властивості автомобіля, а двигуну зі зменшеним робочим об'ємом ще і знизити при цьому витрати палива. Підвищення паливної економічності відбувається за рахунок росту механічного ККД у першу чергу через збільшення середнього ефективного тиску, а також зниження втрат тертя при зменшенні кількості ходів поршня в робочому циклі.

До останнього часу вважалося аксіомою, що ступінь стиску є незмінним конструктивним параметром двигуна, таким як, наприклад, діаметр циліндра. Дійсно, у традиційних двигунах величина ступеня стиску однозначно визначається розмірами кривошипно-шатунного механізму, висотою поршня, а також розташуванням головки циліндра щодо осі колінчатого вала.

Як відомо, потужність і паливна економічність двигуна зростають при збільшенні ступеня стиску внаслідок підвищення індикаторного ККД. При досягненні величин ступеня стиску 13-14 поліпшення показників двигуна припиняється через неминучий ріст механічних втрат. Тому зазначені величини ступеня стиску є оптимальними.

У той же час закладена в конструкцію двигунів величина ступеня стиску відрізняється від оптимальної. У бензинових двигунах ступінь стиску менше оптимальної й обмежується детонацією. У дизелях ступінь стиску більше оптимальної й вибирається з урахуванням забезпечення надійного самозапалювання палива при пуску холодного двигуна.

Численні розрахунки й експериментальні дослідження показали, що й для бензинового двигуна, і для дизеля регулювання ступеня стиску здатне забезпечити приблизно однакове поліпшення паливної економічності на 20 %, хоча причини цього й алгоритм регулювання ступеня стиску для бензинового двигуна й для дизеля різні.

У дизеля з регулюванням ступеня стиску можна значно збільшити тиск наддування, підвищивши за рахунок цього потужність. А можна, зберігши колишній рівень потужності, знизити робочий об'єм (кількість циліндрів), поліпшивши при цьому паливну економічність, зменшивши масу й вартість двигуна.

У бензиновому двигуні при зниженні ступеня стиску можна збільшити тиск наддування без детонації, підвищивши при цьому літро-

ву потужність із усіма супутніми позитивними ефектами, у тому числі поліпшенням паливної економічності на режимах більших навантажень. При підвищенні ступеня стиску паливна економічність буде поліпшуватися на режимах малих навантажень.

Можливість регулювання робочого об'єму ще більш важлива для показників двигуна, ніж регулювання ступеня стиску. Великий робочий об'єм існуючих двигунів потрібний тільки для руху автомобіля зі швидкостями, близькими до максимальної швидкості.

Ці режими не перевищують 10 % загального часу руху автомобіля. Найбільшу частину часу, наприклад, при русі в місті - потрібен економічний двигун з малим робочим об'ємом. Спільне регулювання ступеня стиску й робочого об'єму відкриває широкі перспективи створення двигуна нового типу з керованим рухом поршнів. Це - "еластичний" двигун, що гнучко пристосовує свій об'єм і ступінь стиску до умов руху автомобіля. Наприклад, коли потрібна більша потужність, цей двигун еквівалентний 6-циліндровому двигуну. Якщо більша потужність не потрібна (міський режим руху), він буде відповідати 4-циліндровому й навіть 3-циліндровому двигуну звичайного типу. При цьому може бути забезпечене значне зниження витрати палива.

Питання для самоперевірки

1. Які позитивні якості властиві безшатунним ДВЗ?
2. Опишіть конструктивну схему безшатунного силового механізму двигуна Баландіна.
3. В чому полягає суть двостадійного згоряння реалізованого у двигуні Кушуля?
4. Назвіть переваги й недоліки двигуна Кушуля.
5. Які сучасні розробки ДВЗ нетрадиційних схем Ви знаєте?
6. Розкажіть про інерційні накопичувачі енергії, як силові установки для транспортних засобів.

2.4.13 Тема 13. Водневі енергетичні установки

Література: [1], с. 145-152; [17]; [34], с. 162-165.

Вперше, мотор що працює на водні, розробив у 1806 році французький винахідник Франсуа Ісак де Ріваз (він робив водень за допомогою електролізу води). Прошло кілька десятиріч, і в Англії

видали перший патент на водневий двигун (1841 рік), а в 1852 році вже німецькі вчені сконструювали ДВЗ, який міг працювати на повітряно-водневій суміші.

Трохи пізніше, у часи блокади Ленінграда, коли бензин був дефіцитним продуктом, а водень був у досить великій кількості, технік Борис Шелищ запропонував використовувати для роботи загороджувальних аеростатів повітряно-водневу суміш. Після цього на водневе живлення перевели всі ДВЗ автомобілів ГАЗ-АА, на яких були встановлені лебідки аеростатів. Тоді загальне число працюючих на водні машин досягало 600 одиниць.

У першій половині ХХ століття інтерес громадськості до водневих двигунів був невеликий, але із приходом паливно-енергетичної кризи 70-х років ситуація різко змінилася. Зокрема, в 1979 році компанія BMW випустила перший автомобіль, який цілком успішно їздив на водні (без вибухів і водяної пари, що виривається з вихлопної труби). Слідом за BMW, у цьому напрямку почали працювати інші великі автовиробники. Самими активними є компанії BMW, General Motors, Honda Motor, Ford Motor. Вони всі вже мають власну концепцію розробки машини на водневому паливі.

Основною відмінністю водневої установки від традиційних двигунів є спосіб подачі паливної рідини й наступне запаленням робочої суміші. При цьому принцип трансформації зворотно-поступальних рухів кривошипно-шатунного механізму в корисну роботу залишається незмінним. Враховуючи, що горіння нафтового палива відбувається досить повільно, паливно-повітряна суміш наповнює камеру згоряння раніше, чим поршень займе своє крайнє верхнє положення (так звану верхню мертву точку). Якщо водневому двигуну створити ідеальні робочі умови, то він може мати паливну систему живлення закритого типу, коли процес сумішоутворення буде проходити без участі атмосферних повітряних потоків. У такому випадку після такту стиску в камері згоряння залишається водяна пара, яка, проходячи через радіатор, конденсується й знову перетворюється у звичайну воду.

Але все це можливо тільки тоді, коли на транспортному засобі є електролизер, що відокремлює водень від води для його повторної реакції з киснем. На даний момент добитися таких результатів украй складно. Крім всього, для стабільної роботи двигунів застосовується моторне масло, а його випари є частиною вихлопних газів. Тому безпроблемний запуск силової установки і її усталена робота на гриму-

чому газі без використання атмосферного повітря – поки що нездійснення завдання. Розрізняють два варіанти автомобільних водневих установок: агрегати, що функціонують на основі водневих паливних елементів, і водневі двигуни внутрішнього згоряння.

Останні дослідження вчених в області експлуатації водневих двигунів показали, що вони не тільки дуже екологічні (як електродвигуни), але можуть бути дуже ефективними в плані продуктивності. Більше того, за технічними показниками водневі силові установки обходять своїх електричних побратимів, що вже було доведено (приміром, Honda Clarity).

Також слід зазначити, що, на відміну від систем Tesla Powerwall, водневі аналоги мають один істотний недолік: зарядити акумулятор за допомогою сонячної енергії вже не вийде, а замість цього прийдеться шукати спеціальну заправну станцію, яких на сьогоднішній день навіть у світовому масштабі налічується не так вже й багато.

При всіх своїх перевагах, не можна сказати, що водневий транспорт позбавлений певних недоліків. Зокрема, необхідно розуміти, що горюча форма водню при кімнатній температурі й нормальному тиску представлена у вигляді газу, що викличе певні труднощі в зберіганні й транспортуванні такого палива. Тобто існує серйозна проблема конструювання безпечних резервуарів для водню, що застосовується в якості палива для автомобілів.

Крім того, балони із цією речовиною вимагають періодичної перевірки й сертифікації, які можуть виконуватися тільки кваліфікованими фахівцями, які мають відповідну ліцензію. Також до цих проблем варто додати й дорожнечу обслуговування водневого мотора, не говорячи вже про дуже обмежену кількість заправних станцій.

Не варто забувати й про те, що воднева установка збільшує вагу автомобіля, через що він може виявитися не настільки маневреним, як би того хотілося.

Питання для самоперевірки

1. Розкажіть про використання водню, як джерела енергії для транспортних засобів.
2. Поясніть можливість застосування паливних елементів, як способу отримання електричної енергії на борту автомобіля.
3. В чому полягає основна небезпека використання водню?
4. Які фактори стримують впровадження водневих технологій?

2.4.14 Тема 14. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок

Література: [1], с. 6-9; [16], с. 39-41; [40].

Ера двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) ще далека від занепаду - такої думки дотримується досить велика кількість фахівців провідних автоконцернів світу, і навіть простих автолюбителів. І для такого твердження в них є всі підстави. По великому рахункові, існує тільки дві серйозні претензії до ДВЗ – значні витрати палива і шкідливий вихлоп. Звісно, запаси нафти не безмежні, але ж автомобілі є одними з основних її споживачів. Вихлопні гази отруюють природу й людей і, накопичуючись в атмосфері, створюють парниковий ефект. Парниковий ефект приводить до зміни клімату й далі до інших екологічних лих.

Зі вказаними обома недоліками конструктори й інженери за останні десятиліття навчилися досить ефективно боротися, переконливо довівши усім скептикам, що у ДВЗ є ще невикористані резерви для подальшого розвитку й удосконалювання.

Так істотне зниження витрати палива було досягнуто завдяки впровадженню в конструкцію двигуна ряду технічних нововведень. Першим кроком став перехід від карбюраторних двигунів до систем впорску палива. Сучасні системи упорскування забезпечують подачу палива в циліндри під високим тиском, у результаті чого відбувається його тонке розпилення й гарне змішування з повітрям. У ході такту стиску паливо впорскується в камеру згоряння точно дозованими порціями до 5-7 раз. Використання наддування, збільшення числа клапанів, підвищення ступеня стиску також дозволили більш повно спалювати робочу суміш. Оптимізація форми камери згоряння, днища поршнів, застосування систем з регульованими фазами газорозподілу сприяли поліпшенню процесів сумішоутворення. У результаті двигун може працювати на більш бідних сумішах, заощаджуючи паливо й знижуючи викид шкідливих речовин. Отже подальші дослідницькі роботи в цьому напрямку будуть вестись і надалі.

На сьогодні у сучасних автомобілях все більш широко застосовується система старт-стоп, що дає помітну економію палива в міському режимі руху. Ця система автоматично виключає двигун при зупинці автомобіля. Запуск проводиться при натисканні на педаль зчеп-

лення (в автомобілях з механічною коробкою передач) або при відпусканні педалі гальма (в автомобілях з автоматичною коробкою). Це технічне рішення у найближчий час має законодавчо стати обов'язковим до використання на всій нових автомобілях.

Система рекуперації енергії гальмування, що вперше з'явився на гібридних автомобілях, поступово перекочувала й на звичайні. Кінетична енергія автомобіля, що вповільнюється, яка раніше розтрачувалася на нагрівання деталей гальмової системи, тепер перетворюється в електричну й використовується для підзарядки акумулятора. Витрата палива при цьому знижується до 3 %.

Дуже важливою обставиною є те, що поліпшення технічних характеристик двигунів відбувається при неухильному зниженні їхнього об'єму. Наприклад, фольксвагеновський мотор 1,4 TSI, визнаний кращим двигуном 2010 року, при обсязі 1390 см³ розвиває потужність до 178 к.с. Тобто, з кожного літра знімається 127 к.с.! Отже питома витрата палива за минулі 20-30 років була знижена майже у два рази. А раз знижується витрата палива, відповідно знижується й викид шкідливих речовин, та й запаси нафти можна розтягти на більший строк.

Усі перераховані вище заходи знижують шкідливі викиди, так би мовити побічно, за рахунок поліпшення технічних характеристик. Але вже є ряд систем, призначення яких – безпосередньо зменшувати кількість шкідливих речовин у вихлопних газах.

Насамперед це, звичайно ж, каталітичний нейтралізатор і система рециркуляції вихлопних газів EGR. У нейтралізаторі шкідливі речовини, що містяться у вихлопних газах, вступають у хімічну реакцію з речовинами, нанесеними на його щільник. У результаті реакції шкідливі речовини розкладають на нешкідливі складові.

Система EGR (Exhaust Gas Recirculation) має більш "вузьку" спрямованість. Вона призначена для зниження вмісту оксидів азоту у вихлопних газах на режимах прогріву й різкого прискорення, коли двигун працює на збагаченій суміші. Принцип роботи системи полягає в перенапрямку частини вихлопних газів назад у циліндри. Це викликає зниження температури горіння й, відповідно, концентрації оксидів азоту. При роботі двигуна не всі вихлопні гази попадають у випускную систему. Частина їх проривається в картер. Для запобігання їхнього потрапляння в атмосферу використовується система вентиляції картера. Пари бензину так само, як і вихлопні гази, містять шкідливі для людини речовини. Тому на сучасних автомобілях вже встановлюється

система поглинання пар бензину. Використання таких систем на всіх нових та розроблюваних автомобілях у найближчий час теж має стати обов'язковим для всіх автовиробників.

Усі перераховані вище системи універсальні, тобто використовуються як на бензинових моторах, так і на дизельних. Однак вихлопні гази дизеля відрізняються підвищеною концентрацією оксидів азоту й сажі. Тому у випускній системі дизелів додатково встановлюється сажовий фільтр.

У деяких конструкціях може використовуватися **система SCR (Selective catalytic reduction)** або, у вільному перекладі - упорскування сечовини. Принцип роботи цієї системи: водяний розчин сечовини впорскується у вихлопну систему перед каталізатором. У результаті хімічної реакції майже половина високотоксичних оксидів азоту перетворюється у звичайний нешкідливий азот.

Вибір підходящого типу двигуна залежить від класу автомобіля. Згідно досліджень проведених компанією Bosch, сучасний дизельний двигун споживає до 25 % менше палива й менше забруднює навколишнє середовище, проте бензиновий має меншу вартість, його страхування й експлуатація обходяться дешевше. Однак якщо річний пробіг перевищує 15 000 кілометрів, купувати дизель вигідніше.

Сучасні бензинові силові агрегати досить ефективні в компактних автомобілях, а нинішні дизелі дозволяють досягати низької витрати палива й дають задоволення від водіння в більших універсалах. Бензинові мотори забезпечують чудову динаміку "гарячим" спортивним автомобілям, а високий крутний момент дизелів як не можна до речі пасує позашляховикам та великим вантажівкам.

Підсумовуючи сказане можна стверджувати, що в найближчі десятиліття ми будемо і надалі співіснувати із двигунами внутрішнього згоряння. Для цього є вагомі технічні й економічні причини. Налагодженість технології виробництва ДВЗ забезпечує їх порівняно низьку вартість. Удосконалювання робочого процесу дозволило одержати високі характеристики й знизити шкідливі викиди.

Ріст продажів "зелених" автомобілів – електрокарів, багато в чому стимульований урядовою підтримкою. А тому як тільки держава згортає програму знижок на такі "екологічні автомобілі", попит на них стрімко падає. Отже об'єктивний факт – на сьогоднішній день, всі численні спроби створити гідну альтернативу ДВЗ поки що так і не увінчалися успіхом.



Рисунок 2.12 - Паралельна гібридна схема додатково додає 300 кг до ваги 12-тонної голландської вантажівки DAF

Якщо ж навіть принципово новий двигун незабаром і з'явиться, то для його впровадження в серійне виробництво знадобляться величезні капіталовкладення й тривалий проміжок часу.

А у нинішній нестабільній економічній ситуації у світі, коли існує переконлива загроза настання довготривалої економічної рецесії у провідних західних економіках, жоден провідний автоконцерн не ризикує йти на такі колосальні фінансові витрати.

Ще одним переконливим доказом того що традиційні ДВЗ ще далекі від занепаду є щорічний звіт про перспективи енергетичних ринків Міністерства енергетики США - Annual Energy Outlook (EIA). Так згідно їхніх розрахунків, на основі урахування усіх сучасних технологій, однозначно стверджується, що електромобілі не будуть користуватися масовим попитом навіть у 2040 році.

Тобто фахівці з міністерства енергетики США переконливо, з цифрами, доводять що навіть у віддаленому майбутньому електромобілі не зможуть потіснити автомобілі із традиційними двигунами внутрішнього згоряння, і майже 80 % автомобілів на дорогах будуть працювати за рахунок горючого палива.

Фахівці порахували і довели, що автовиробники віддадуть перевагу створенню ефективних двигунів внутрішнього згоряння радикальним змінам свого модельного ряду.

Міністерство енергетики США зокрема дослідило питання про тип автомобілів, який буде домінувати в майбутньому. За даними експертів, в 2040 році 78 % автомобілів на дорогах США будуть оснащені двигунами внутрішнього згоряння, що працюють на горючому паливі природнього походження.

При цьому мінімум 42 % усіх автомобілів із ДВЗ будуть оснащені системами - "старт-стоп" і рекуперативними гальмами, які дозволяють зберігати отриману від затримки машини енергію. Гібриди й "чисті" електромобілі що заряджаються від електромережі, складуть лише по 1 % автопарку відповідно. Традиційні гібриди, які користуються й ДВЗ, і електромотором, складуть близько 5 % автомобілів на дорогах.

У 2015 році топ-менеджери декількох найбільших у світі автомобільних корпорацій вже висловлювалися про те, що автомобілі, які повністю працюють на електротязі, позбавлені майбутнього.

Гібриди із ДВЗ і електромоторами, навпаки, мають велике майбутнє, вважають автомобільні менеджери. У подібному ключі, зокрема, висловилися глави Toyota, Volvo і Renault-Nissan. Раніше кількар-

зові маркетингові дослідження встановили, що великому попиту на електромобілі заважає висока вартість таких машин.

Крім того, американське агентство JD Power установило, що майже половина нинішніх покупців електромобілів обирають таку машину тільки з іміджевих міркувань, а не керуючись турботою про екологію або прагненням заощаджувати.

Разом з тим, середня витрата палива автомобілів у США повинна скласти в 2040 році 6,3 л на 100 км шляху проти нинішніх 11 л. Проте, даний результат все-таки відстає від завдання, поставленою ще адміністрацією президента США Барака Обами на 2025 рік. На думку глави держави, на цей термін усі нові автомобілі на ринку США повинні споживати не більш 4,3 л на 100 км шляху.

За даними міністерства енергетики, з урахуванням постійного росту видобутку нафти, в 2040 році літр бензину буде коштувати у США близько \$1,03. Такий же об'єм дизельного палива буде коштувати в 2040 році вже \$1,3.

Варто відзначити, що легкові автомобілі з дизельними двигунами рідко зустрічаються в США: за прогнозом ЕІА їхня частка до 2040 року зросте лише до 4% з нинішніх 2%. Разом з тим, у міністерстві припускають, що кількість автомобільних поїздок до 2040 року збільшиться на 30%.

Отже у той час як світові лідери автопрому відмовляються від двигунів на електротязі, влади ряду європейських країн, навпаки, бачать в електромобілях певний потенціал і обнулюють мита на електромобілі. Стимулюючи таким чином автовиробників крупно вкладатися не тільки у виробництво електромобілів але й вести подальші наукові дослідження в цьому напрямку.

Питання для самоперевірки

1. Які суттєві недоліки властиві сучасним ДВЗ?
2. Які напрями розвитку силових установок вважають перспективними у вирішенні проблем економічного споживання палив нафтового походження і дотримування екологічних вимог?
3. Розгляньте можливі варіанти об'єднання різних видів двигунів в єдину силову установку.
4. Обґрунтуйте можливість застосування як моторного палива енергоносіїв з поновлювальних джерел.

3 ЗАВДАННЯ НА КОНТРОЛЬНІ РОБОТИ

Студенти заочної форми навчання відповідно до програми курсу "Транспортні енергетичні установки" самостійно вивчають літературу, що рекомендується, і виконують одну контрольну роботу, яка складається з трьох питань.

Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем. Оформляти роботу рекомендується на аркушах формату А4 (210х297), зброшурованих і закріплених у швидкозшивачі. При оформленні роботи слід керуватися вимогами ДСТУ 3008-95 - "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" і СТП 15-96 "Пояснювальна записка до курсових і дипломних проектів. Вимоги і правила оформлення".

При виконанні контрольної роботи необхідно пояснювати текст схемами і рисунками в масштабі. На обкладинці роботи треба вказати: назву предмета; прізвище, ім'я, по батькові студента; шифр; спеціальність; номер залікової книжки; домашню адресу (для іногородніх) з поштовим індексом; дату виконання. Контрольна робота повинна бути підписана студентом.

Матеріал контрольної роботи розташовується в наступному порядку:

- титульний лист;
- теоретична частина;
- графічна частина;
- висновки;
- перелік посилань.

Наприкінці роботи обов'язково необхідно привести список використаної літератури та електронних джерел, на які наведені посилання в контрольній роботі, з обов'язковим зазначенням по кожному літературному джерелу прізвища та ініціалів автора, назви книги, місця видання, видавництва і року видання, URL електронного ресурсу.

Контрольна робота повинна бути особисто підписана студентом. Залік по контрольній роботі студент одержує при особистій співбесіді з викладачем.

3.1 Список варіантів контрольних робіт

ВАРІАНТ 1

1. Двигуни внутрішнього згоряння і їхні характеристики.
2. Схеми розташування циліндрів у ДВЗ.
3. ДВЗ з регульованим процесом стискування.

ВАРІАНТ 2

1. Способи зрівноважування поршневих ДВЗ.
2. Конструктивні особливості систем рідинного охолодження двигунів.
3. Удосконалення систем живлення бензинових двигунів.

ВАРІАНТ 3

1. Конструктивні особливості систем повітряного охолодження двигунів.
2. Наддув двигунів.
3. Двотактні двигуни.

ВАРІАНТ 4

1. Чотиритактні двигуни.
2. Екологічні показники двигунів внутрішнього згоряння.
3. Роторно-поршневий двигун Ванкеля.

ВАРІАНТ 5

1. Двигун Стірлінга.
2. Парові двигуни на автомобільному транспорті.
3. Удосконалення систем живлення дизелів.

ВАРІАНТ 6

1. Гібридні силові установки транспортних засобів.
2. Водневі двигуни автомобілів.
3. Газові енергетичні установки на транспортних засобах.

ВАРІАНТ 7

1. Напрямки розвитку транспортних енергетичних установок.
2. Особливості конструкцій сучасних автомобільних бензинових ДВЗ.
3. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ.

ВАРІАНТ 8

1. Турбокомпаунди.
2. Електропневматичні силові установки транспортних засобів.
3. Маховичні накопичувачі енергії.

ВАРІАНТ 9

1. Геліомобілі.
2. Системи центрального впорскування бензину.
3. Двигуни двостадійного згоряння.

ВАРІАНТ 10

1. Системи регулювання потужності двигунів із відключенням циліндрів.
2. Безшатунні двигуни.
3. Роторно-лопатеві двигуни.

ВАРІАНТ 11

1. Водень як джерело енергії для двигуна.
2. Двигуни з живленням синтез-газом (газогенераторні автомобілі).
3. Двигуни з живленням паливами з поновлювальних джерел: біогаз, спиртові палива, рослинні олії.

ВАРІАНТ 12

1. Інерційні (маховичні) двигуни для автомобілів.
2. Електромобілі.
3. Системи рециркуляції відпрацьованих газів.

ВАРІАНТ 13

1. Автомобілі з реактивними двигунами.
2. Індикаторні показники робочого циклу поршневого ДВЗ.
3. Показники механічних втрат в поршневих ДВЗ.

ВАРІАНТ 14

1. Кінематичні схеми поршневих ДВЗ.
2. Газотурбінні ДВЗ.
3. Адіабатні дизелі.

ВАРІАНТ 15

1. Системи розподіленого впорскування бензину.
2. Характеристика двигунів внутрішнього згоряння як джерел енергії.
3. Умовне позначення двигунів.

ВАРІАНТ 16

1. Коротка історія розвитку двигунобудування.
2. Аббревіатури та скорочення систем двигунів світових виробників.
3. Принципи конструювання й розрахунків сучасних двигунів.

ВАРІАНТ 17

1. Області застосування поршневих і комбінованих двигунів.
2. Особливості конструкцій сучасних автомобільних дизельних ДВЗ.
3. Двигуни зовнішнього згоряння.

ВАРІАНТ 18

1. Перспективи розвитку двигунів нетрадиційних схем.
2. Використання систем САПР при проектуванні ДВЗ.
3. Палива, моторні масла та охолоджуючі рідини для двигунів.

ВАРІАНТ 19

1. Системи фільтрації повітря у ДВЗ.

2. Судові енергетичні установки.
3. Принципи роботи двигунів.

ВАРІАНТ 20

1. Глушіння шуму ДВЗ.
2. Автомобільні турбокомпресори.
3. Паливна система Common Rail.

ВАРІАНТ 21

1. Система управління циліндрами двигуна.
2. Аксіально-поршневий двигун внутрішнього згоряння.
3. Схеми гібридних силових установок автомобілів.

ВАРІАНТ 22

1. Історія розвитку двигунів внутрішнього згоряння.
2. Альтернативні види палива для автомобілів.
3. Електробуси.

ВАРІАНТ 23

1. Система впорскування води у ДВЗ.
2. Орбітальний двигун (двигун Ральфа Сейрича).
3. Норми токсичності відпрацьованих газів Євро.

ВАРІАНТ 24

1. Детонація у ДВЗ.
2. Гіробуси.
3. Газогенератори на автомобілях.

ВАРІАНТ 25

1. Система контролю переміщення клапанів Valvetronic.
2. Двигун з вільним поршнем (двигун Ван Бларігана).
3. Електромобілі.

4 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

На підставі робочої програми дисципліни та вимог організації навчального процесу, кафедра розробляє контрольні заходи з перевірки якості засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни. Контрольні заходи з дисципліни "Транспортні енергетичні установки" передбачають наступне:

- опитування за окремими темами лекційного курсу;
- виконання тестових письмових робіт на рубіжному контролі;
- виконання та захист практичних робіт;
- виконання та захист контрольних робіт;
- складання іспиту.

Для закріплення поточних знань протягом семестру, до проведення підсумкового модульного контролю, проводяться контрольні заходи (письмове опитування студентів за матеріалами лекцій, що були прочитані), на підставі яких студент отримує загальну оцінку.

При виконанні письмової роботи, студенти одержують завдання по висвітленню певних теоретичних питань або розв'язку завдань. Робота виконується студентом письмово й здається викладачеві. При цьому оцінюються володіння матеріалом по темі роботи, аналітичні здатності студента, його володіння методами, уміння й навички, необхідні для виконання завдань.

Іспит націлений на комплексну перевірку освоєння дисципліни. Іспит проводиться в усній або письмовій формі по білетах, у яких наводяться питання (завдання) по всіх темах курсу. Студенту дається час на підготовку. Оцінюється володіння матеріалом, його системне освоєння, здатність застосовувати потрібні знання, навички й уміння при аналізі проблемних ситуацій і розв'язку практичних завдань.

Слід зазначити, що всі заплановані заходи мають бути складені позитивно. Негативна оцінка з будь якого контрольного заходу свідчить про незасвоєння студентом навчального матеріалу.

Студент, який одержав за результатами модульного контролю позитивні оцінки, виконав всі завдання, що передбачені робочим навчальним планом дисципліни допускається до складання іспиту.

Студент, який отримав на модульному контролі незадовільну оцінку або не з'явився на нього, має можливість повторного складання протягом одного-двох тижнів.

5 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Надається перелік навчальної та довідникової літератури, що рекомендується при вивченні дисципліни "Транспортні енергетичні установки". Слід мати на увазі, що джерела, які можуть бути використані, не обмежуються тільки цим переліком.

Основна

1. Транспортні енергетичні установки (традиційні, нетрадиційні та альтернативні), принцип роботи та особливості будови : навч. посіб. / Ю. Ф. Гутаревич та ін. К. : НТУ, 2015. 244 с.
2. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є. Автомобільні двигуни: Підручник. К. : Арістей, 2006. 476 с.
3. Загальний курс транспорту: Підручник / М. Ф. Дмитриченко, І. І. Кельман, Є. К. Вільковський, З. І. Пеклич, О. І. Мельниченко Львів, 2011. 524 с.
4. Двигатели внутреннего сгорания : Конструирование и расчет на прочность поршневых и комбинированных двигателей. Под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1984. 384 с.
5. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А. С. Орлина, М. Г. Круглова. М. : Машиностроение, 1990. 286 с.

Додаткова

6. Гроэ Х., Русс Г. Бензиновые и дизельные двигатели. М. : "Издательство "За рулем", 2013. 272 с.
7. Курасов В. С. Теория двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие. Краснодар, КубГАУ. 2013. 86 с.
8. Кузнецов А. С. Устройство и работа двигателя внутреннего сгорания: учеб. пособие. М. : Издательский центр "Академия", 2011. 80 с.
9. Системы управления дизельными двигателями. Перевод с немец-

- кого. Первое русское издание. М. : "За рулем", 2004. 480 с.
10. Системы управления и основы диагностики дизельных двигателей : учебное руководство. Германия : Mazda Motor Europe GmbH., 2010. 263 с.
 11. Корнилов Э. В., Фока А. А., Бойко П. В. Судовые главные двигатели с электронным управлением. Одесса, Экспресс-Реклама, 2010. 224 с.
 12. Возницкий И. В. Судовые Двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. М. Моркнига, 2008. Т 1. 282 с.
 13. Возницкий И. В. Судовые Двигатели внутреннего сгорания : в 2 т. М. Моркнига, 2008. Т 2. 470 с.
 14. Автомобильные двигатели. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М. Г. Шатров, И. В. Алексеев, С. Н. Богданов и др. ; под ред. М. Г. Шатрова. М. : Издательский центр "Академия", 2011. 256 с.
 15. Тер-Мкртчян Г. Г. Двигатели внутреннего сгорания с нетрадиционными рабочими циклами М. : МАДИ, 2015. 80 с.
 16. Пушкарева О. Б. Энергетические установки автомобилей и тракторов. Екатеринбург : ФГБОУ ВПО "Уральский государственный лесотехнический университет", 2015. 48 с.
 17. Мищенко А. И. Применение водорода для автомобильных двигателей. К. : Наукова думка, 1984. 143 с.
 18. Копытов В. Газификация конденсированных топлив: ретроспективный обзор, современное состояние дел и перспективы развития. М. : Litres, 2017. 504 с.
 19. Тер-Мкртчян Г. Г. Управление движением поршней в двигателях внутреннего сгорания. М. : Metallurgizdat, 2011. 304 с.
 20. Кей Энтони Л. История разработки и создания реактивных двигателей и газовых турбин в Германии (1930-1945). Рыбинск : НПО Сатурн, 2006. 329 с.
 21. Газотурбинные энергетические установки : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев и др. ; под ред. С. В. Цанева. М. : Издательский дом МЭИ, 2011. 428 с.
 22. Вертолетные газотурбинные двигатели / В. А. Григорьев, В. А. Зрелов, Ю. М. Игнаткин и др.; под общ. ред. В. А. Григорьева и Б. А. Пономарева. М. : Машиностроение, 2007. 491 с.
 23. Автомобильные двигатели : учебник для студ. высш. учеб. заведений / М. Г. Шатров, К.А. Морозов, И. В.Алексеев и др. ; под ред. М.Г.Шатрова. М. : Издательский центр "Академия", 2011. 464 с.

24. Тер-Мкртчян Г. Г., Кутенев В. Ф., Яманин А. И. Вопросы теории двигателей с управляемым движением поршней с плоскими преобразующими механизмами. М. : НАМИ, 2004. 240 с.
25. Машиностроение. Энциклопедия. М. : Машиностроение, 2013. Т. IV-14 : Двигатели внутреннего сгорания / под ред. А. А. Александрова и Н.А. Иващенко. 784 с.
26. Ридер Г., Хупер Ч. Двигатели Стирлинга. М. : Мир, 1986. 464 с.
27. Уокер Г. Двигатели Стирлинга М. : Машиностроение, 1985. 408 с.
28. Трухов В. С., Турсунбаев И. А., Умаров С.Я. Расчет параметров внутреннего теплообменного контура двигателя Стирлинга. Ташкент : Фан, 1979. 80 с.
29. Мышинский З. Л., Рыжков-Дудонов М. А. Судовые поршневые двигатели внешнего сгорания (двигатели Стирлинга). Л. : Судостроение, 1976. 76 с.
30. Осепчугов В. В., Фрумкин А. К. Автомобиль : Анализ конструкций, элементы расчета. М. : Машиностроение, 1989. 304 с.
31. Прохвостов А. Шасси автомобиля : Типы приводов. М. : Машиностроение, 1989. 232 с.
32. Конструкция автомобиля. Шасси / под ред. А. Л. Карунина. М. : МАМИ, 2000. 528 с.
33. Долматовский Ю. А. Автомобиль в движении. М. : Машиностроение, 1987. 159 с.
34. Рытвинский Г. Н. Знакомьтесь – двигатель. М. : Машиностроение, 1993. 176 с.
35. Григорьев Е. Г., Колубаев Б. Д., Ерохов В. И. Газобаллонные автомобили. М. : Машиностроение, 1989. 216 с.
36. Тур Е. Я. Устройство автомобиля : Учебник для учащихся автотранспортных техникумов. М. : Машиностроение, 1991. 352 с.

Інформаційні ресурси

37. A Compelling Alternative to the conventional Internal Combustion Engine URL: <http://www.scuderigroup.com/our-patents/> (дата звернення: 12.04.2019)
38. Platform for Complete Combustion
<http://www.zajacmotors.com/technology.phtml> (дата звернення: 12.04.2019)
39. Tour Engine Technology URL: <http://www.tourenengine.com/technology>

(дата звернення: 12.04.2019)

40. Alternative Motorentechnik bei Verbrennungsmotoren URL:
<http://www.mein-werkstattwagen.de/wissen/alternative-motorentechnik-bei-verbrennungsmotoren/> (дата звернення: 12.04.2019)
41. Six-stroke engine high level of efficiency URL:
<http://bajulazsa.com/Site/sixstroke.html> (дата звернення: 12.04.2019)