

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

А.Т. Свідерський
І.В. Косминський

АВТОТРАКТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

Конспект лекцій
для студентів спеціальностей
7.090214 “Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні,
меліоративні машини і обладнання” та 7.010104 “Професійне
навчання. Виробництво, експлуатація та ремонт підйомно-
транспортних, будівельних, дорожніх і меліоративних
машин і обладнання” усіх форм навчання

Київ 2009

УДК 621.43

ББК 39.34

C13

Рецензент В.І. Лесько, доцент

Затверджено на засіданні науково-методичної ради Київського національного університету будівництва і архітектури, протокол № 11 від 30 червня 2009 р.

Свідерський А.Т., Косминський І. В.

C13 Автотракторне устаткування: конспект лекцій / А.Т. Свідерський, І.В. Косминський. – К.: КНУБА, 2009. – 136 с.

Розглянуто основні системи сучасних двигунів внутрішнього згорання, зокрема в будівельній індустрії. Наведено основні технічні розробки та дослідження систем, які використовуються в двигунах внутрішнього згорання, будівельної галузі.

Призначений для студентів спеціальностей 7.090214 "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання" та 7.010104 "Професійне навчання. Виробництво, експлуатація та ремонт підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх і меліоративних машин і обладнання" усіх форм навчання.

УДК 621.43

ББК 39.34

© А.Т. Свідерській, І.В. Косминський, 2009

© КНУБА, 2009

ВСТУП

Сучасні автотракторні двигуни відрізняються прийнятними показниками потужності й економічності, достатньою надійністю і довговічністю. Проте подальше підвищення ефективності використання автомобілів і тракторів вимагає вдосконалення їх силових установок, що неможливе без глибоких знань конструкції, процесів, які супроводжують роботу автотракторного двигуна, і розрахунку його елементів.

Знання робочих процесів, основ конструювання і розрахунку деталей двигуна необхідне не лише конструкторам і дослідникам, що створюють силові установки, але і технічному персоналу, що експлуатує і ремонтує їх.

Завданням цього видання є розгляд конструкцій і ознайомлення з системами, які використовуються в сучасних двигунах внутрішнього згорання. Методика викладу матеріалу максимально адаптована для сприйняття студентами основних термінів та визначень, які використовуються під час конструювання та дослідження двигунів внутрішнього згорання.

Видання призначене для студентів спеціальностей 7.090214 "Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання" та 7.010104 "Професійне навчання. Виробництво, експлуатація та ремонт підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх і меліоративних машин і обладнання" усіх форм навчання під час вивчення дисциплін: «Автотракторне устаткування» та «Двигуни внутрішнього згорання».

Отримані студентами знання та уміння в результаті вивчення цих дисциплін є дуже важливими під час підготовки спеціалістів з профілю «Інженерна механіка».

Лекція 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Використовувати внутрішню енергію – значить робити за її рахунок корисну роботу, тобто перетворювати внутрішню енергію в механічну. Для наочності розглянемо простий приклад. До пробірки наливають воду, закорковують її та доводять до кипіння. Корк під дією пари починає рухатися до гори і врешті вискакує з неї, іншими словами енергія палива переходить до внутрішньої енергії пари, а пара, розширюючись, вибиває корк. Якщо зробити заміну і замість корка поставити поршень, а замість пробірки – циліндр, то отримаємо найпростіший тепловий двигун.

Тепловими двигунами є машини, в яких внутрішня енергія палива перетворюється на механічну енергію руху. Найпершим згадуванням про теплові двигуни є гармата Архімеда. У III ст. до н.е. грецький механік і математик Архімед побудував гармату, яка стріляла за допомогою пари. Малюнок гармати Архімеда та її опис були знайдені 18 століть по тому в рукописах великого італійського вченого Леонардо да Вінчі (рис. 1). Принцип її стрільби полягав у такому: один бік ствола нагрівали на вогні, потім в нагріту частину ствола наливали воду, вона миттєво випаровувалася та перетворювалася на пару. Пара розширювалася, з силою та гуркотом виштовхуючи ядро. Для нас цікаво тут те, що ствол гармати являє собою циліндр по якому як поршень ковзало ядро. Тобто можна вважати гармату Архімеда першою паровою машиною, про що згадує в своїй роботі відомий історик і технік Матчосс [7].

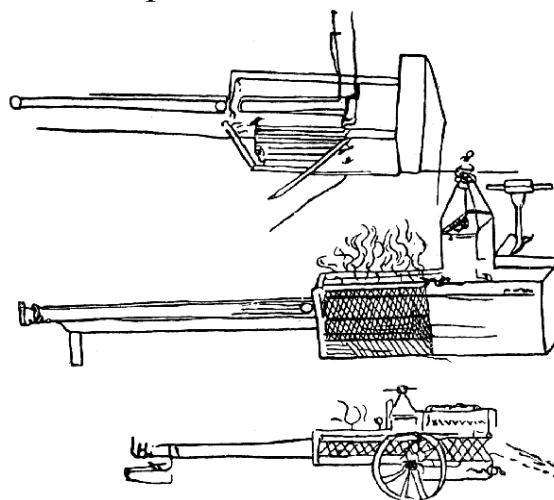


Рис. 1. Гармата Архімеда

Близько трьох століть по тому в Олександрії – культурному та заможному місті на африканському узбережжі Середземного моря – жив та працював видатний вчений Герон, якого інші вчені називають Героном Олександрійським. Він залишив по собі декілька робіт, які дійшли до нас, де він описав різні машини, механізми, прилади, відомі в той час. Так, зокрема, в одній з робіт зустрічається опис цікавого приладу, який зараз має назву геронова куля (рис.2). Це порожня всередині залізна куля, закріплена вона так, щоби могла обертатися навколо горизонтальної осі. Із закритого котла з киплячою водою пара по трубці потрапляє до кулі. Пара вибивається з кулі назовні крізь вигнуті трубки, при цьому куля починає обертатися. Таким чином внутрішня енергія пари перетворюється в механічну енергію обертання кулі. Можна вважати геронову кулю прообразом сучасних реактивних двигунів. На жаль в той час винахід Герона не знайшов застосування та залишився лише забавкою.

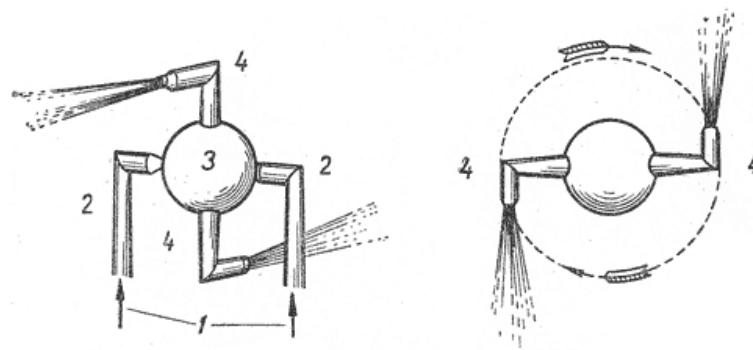


Рис. 2. Геронова куля (еоліпіл):

1 – підвід пари; 2 – трубки, які відводять пару; 3 – куля; 4 – вихлопні трубки

Пройшло 15 століть. Під час нового розквіту науки та техніки, який настав після періоду середньовіччя про використання внутрішньої енергії замислюється Леонардо да Вінчі. В його рукописах є декілька малюнків із зображенням циліндра та поршня. Під поршнем в циліндрі знаходилися вода, а сам циліндр підігрівався, збільшуючись в об'ємі, шукаючи вихід штовхати поршень вгору. Під час свого руху поршень міг здійснювати корисну роботу. Дещо по іншому бачив собі двигун, який

використовує енергію пари, Джованні Бранка, який жив на століття раніше Леонардо. Це було колесо з лопатями, в яке з силою бив струмінь пари, завдяки чому колесо починало обертатися (рис. 3). Саме ця машина і була першою паровою турбіною.

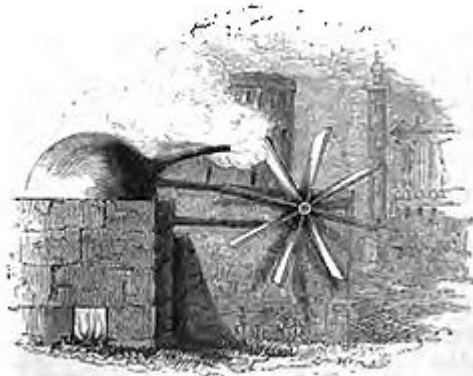


Рис. 3. Парова турбіна Джованні Бранка

У XVII – XVIII століттях над винаходом парової машини працювали англійці Томас Сейвері (1650-1715 рр.) та Томас Н'юмен (1663-1729 рр.), француз Дені Папен (1647-1714 рр.) та росіянин Іван Ползунов (1728-1766 рр.) і багато інших вчених.

Одним з дослідів Папена (рис. 4) було утворення вакуума в закритому циліндрі. У середині 1670-х рр. в Парижі він у співробітництві з голандцем Гюйгенсом працював над машиною, яка витісняла повітря з циліндра шляхом вибуху пороха в ньому. Побачивши неповноту вакууму, який утворювався при цьому, Папен після переїзду до Англії в 1680 р. створив варіант такого ж циліндру, в якому отримав більш повний вакуум за допомогою киплячої води, яка конденсувалася в циліндрі.

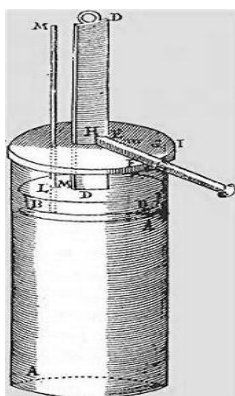


Рис. 4. Двигун Папена

Таким чином він зміг підняти вантаж, який було приєднано до поршня мотузкою, перекинутою через шків. Система працювала як демонстраційна модель, але для повторення процесу весь апарат потрібно було демонтувати та повторно зібрати. Папен швидко зрозумів, що для автоматизації циклу пара повинна бути вироблена окремо, у котлі. Тому Папена вважають винахідником парового котла. Він проклав шлях до парового двигуна Ньюкомена, однак конструкцію діючої парової машини не запропонував. Папен також проектував човен, що рухався за допомогою колеса з реактивною силою у комбінації концепцій Тагі-аль-Діна та Сейвері; йому також приписують винахід багатьох важливих пристроїв, наприклад, запобіжного клапана.

Першим застосованим на виробництві паровим двигуном була «пожежна установка», сконструйована англійцем Томасом Сейвері в 1698 році. Це був поршневий паровий насос, який використовувався як для обертання коліс водяного млина, так і для відкачування води з шахт. Але він був не надто ефективний, тому що тепло пари кожен раз втрачалось під час охолодження контейнера, і до того ж доволі небезпечний в експлуатації, оскільки внаслідок високого тиску пари ємності та трубопроводу двигуна іноді вибухали.

У 1712 році англійський коваль Томас Ньюкомен продемонстрував свій «атмосферний двигун», що був першим паровим двигуном, на який міг бути комерційний попит (рис. 5). Це був модернізований паровий двигун Сейвері, в якому Ньюкомен суттєво знизив робочий тиск пари. Першим застосуванням цього двигуна була відкачка води з глибокої шахти.

Перша в Росії двоциліндрова вакуумна парова машина була спроектована механіком І.І. Ползуновим у 1763 році та побудована у 1764 році для надання руху повітрянодувних міхів на Барнаульських Коливаново-Воскресенських заводах.

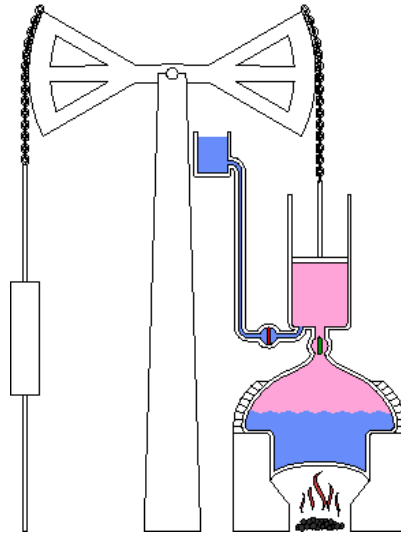


Рис. 5. «Атмосферний двигун» Томаса Ньюкомена

У 1769 році шотландський механік Джейн Ватт запатентував перші суттєві удосконалення до вакуумного двигуна Ньюкомена, які зробили його значно більш ефективним за витратою пального. Внесок Дж. Ватта був у відокремленні фази конденсації вакуумного двигуна в окремій камері, в той же час як поршень і циліндр мали температуру пари. Він також додав до двигуна Ньюкомена ще кілька важливих деталей. На основі цих патентів Ватт побудував паровий двигун в Бірнінгемі (рис. 6). До 1782 року паровий двигун Ватта виявився більш ніж у три рази продуктивніший за машину Ньюкомена. Це був двигун, який мав основні риси сучасних парових машин.

Подальшим підвищенням ефективності було вживання пари високого тиску (американець Олівер Еванс і англієць Річард Тревітік). Р.Тревітік успішно побудував промислові однокотлові двигуни високого тиску, відомі як «корнуельські двигуни». Вони працювали з тиском 50 фунтів на квадратний дюйм, або 345 кПа (3,405 атмосфери). Проте зі збільшенням тиску виникала і велика небезпека вибухів у машинах і котлах, що призводило спочатку до численних аварій. З цієї точки зору, найбільш важливим елементом машини високого тиску був запобіжний клапан, який випускав зайвий тиск. Надійна і безпечна експлуатація почалася лише з накопиченням досвіду і стандартизацією процедур споруди, експлуатації та обслуговування устаткування.

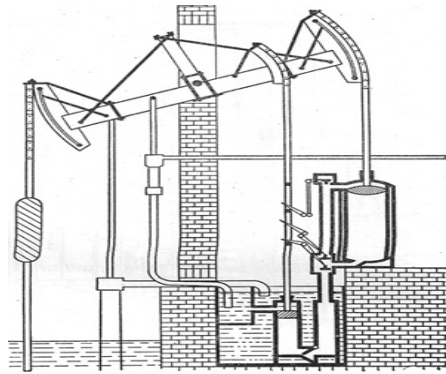


Рис. 6. Схема машини, побудованої Дж. Ваттом

Французький винахідник Ніколас-Йозеф Куньо в 1769 році продемонстрував перший самохідний паровий транспортний засіб, що діяв як "fardier à vapeur" (паровий віз). Можливо, його винахід можна вважати першим автомобілем. Самохідний паровий трактор виявився дуже корисним як мобільне джерело механічної енергії, що приводило в рух інші сільськогосподарські машини: молотарки, преси та ін. У 1788 році пароплав, побудований Джоном Фітчем, вже здійснював регулярне сполучення по річці Делавер між Філадельфією (штат Пенсільванія) і Берлінгтоном (штат Нью-Йорк). Він піднімав на борт 30 пасажирів і йшов зі швидкістю 7 – 8 миль за годину. Пароплав Дж. Фітча не був комерційно успішним, оскільки з його маршрутом конкурувала гарна дорога на суходолі. У 1802 році шотландський інженер Уільям Симінгтон побудував конкурентоздатний пароплав, а в 1807 році американський інженер Роберт Фултон використовував паровий двигун Дж. Ватта для приводу першого комерційно успішного пароплава. 21 лютого 1804 року на металургійному заводі Пенідаррен в Мертір-Тідвіле в Південному Уельсі демонструвався перший самохідний залізничний паровий локомотив, побудований Річардом Тревітіком.

Двигун для автомобіля, так само й автомобіль, мав з'явитися в останню чверть XIX ст. І він з'явився, і вже понад 120 років неподільно господарює на автомобілях. Мова йде про поршневий двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), який працює на бензині за чотиритактним циклом.

Винахідники перших транспортних ДВЗ відштовхувалися від конструкції парової машини. Найбільш об'ємні її елементи топка та казан. Тобто, їх і необхідно було замінити, вважали винахідники. Але чим? Відповідь на це питання виявилась простою: необхідний резервуар з горючим газом, наприклад, світільним. Газ необхідно змішати з повітрям, внести до циліндрів машини та запалити. Горіння та розширення суміші виробляють силу, яка замінить пару. І тоді топка та казан більше не потрібні.



Ще в 1860 році французький механік Етьєн Ленуар (1822-1900 рр.) побудував газовий двигун, який нагадував парову машину (рис. 7). Однак сама по собі суміш світільного газу та повітря, на відміну від пари, не давить на поршень, її необхідно підпалити. Для запалення слугували дві електричні свічки, які були вкручені до кришки циліндра.

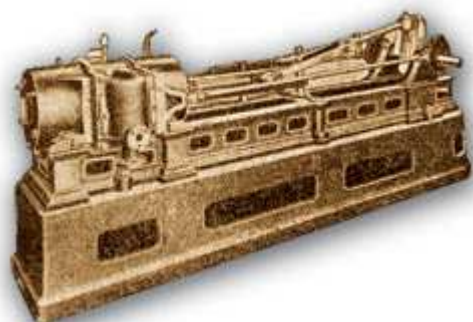


Рис. 7. Двигун Етьєна Ленуара

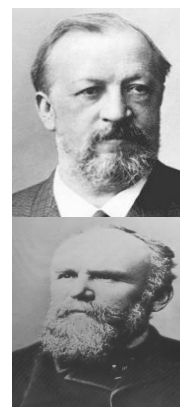
Двигун Ленуара – двобічний та двотактний, тобто повний цикл роботи поршня триває протягом двох його ходів. При першому ході здійснюється впуск, запалення та розширення суміші в циліндрі (робочий хід), а при другому – випуск відпрацьованих газів. Впуском та випуском керує задвижка-золотник, а золотником – ексцентрик, змонтований на валу двигуна.

Перевага нового двигуна над паровою машиною не обмежувалася ліквідацією казана та топки. Газові двигуни не потребували розведення пари, обслуговувати їх не було важко. Однак маса нового двигуна залишалась майже такою, як у парової машини. Одиниця виробленої потужності двигуна (кВт) коштувала

в сім разів дорожче, ніж у парової машини. Лише чверть теплоти спаленого газу здійснювала корисну роботу, тобто ККД двигуна становив 0,04. Інше виходило з відпрацьованими газами, витрачалося на нагрівання корпусу та відводилося до атмосфери. Коли частота обертання вала досягала 100 обертів на хвилину, запалення діяло ненадійно, двигун працював нестабільно. На охолодження витрачалося до 120 м³ води за годину. Температура газів доходила до 800 °С. Перегрівання спричинювало заїдання золотника. Неспалені частинки суміші забруднювали канали впуску-випуску.

Причина низької продуктивності двигуна була в самому принципі дії. Тиск запаленої суміші не перевищував 5 кг/см², а в кінці робочого ходу знижувався втричі. Простий розрахунок показує, що одноциліндровий двигун з робочим об'ємом 2 л при такому тискові, частоті обертання вала 100 об/хв та ККД 0,04 розвивав потужність не більше 0,1 кВт. Іншими словами, лемуаровський двигун в тисячу разів менш продуктивний, ніж двигун сучасного автомобіля.

Зробити газовий двигун більш ефективним вдалося у 1876 році комерційному службовцю з Кельна Ніколасу Августу Отто (Nikolaus August Otto) (1832-1891 рр.) разом з Еугеном Лангеном (Eugen Langen) (1833-1895 рр.)



Спостерігаючи роботу газового двигуна, який був схожий на конструкцію Лемуара, Отто дійшов висновку, що зможе досягти його більш продуктивної роботи, якщо буде запалювати суміш не на середині ходу поршня, а на його початку (рис. 8). Тоді тиск газів при згорянні суміші діяв би на поршень протягом всього його ходу. Але як наповнити циліндр сумішшю на початку ходу? Отто спробував таке: обертаючи маховик вручну, він наповнив циліндр та увімкнув запалення в той момент, коли поршень повернувся у вихідне положення. Маховик швидко «взяв» оберти, а до цього спалення суміші давало йому лише кволий поштовх. Отто не надав особливого значення тому, що суміш була стиснута перед запаленням, він вважав покращення процесу результатом тривалого розширення суміші в процесі згоряння.

Винахіднику знадобилося 15 років, щоб сконструювати економний двигун з ККД, який досяг 0,15. Двигун назвали чотиритактним тому, що процес у ньому здійснювався протягом чотирьох ходів поршня та відповідно двох обертів колінчастого вала. Золотник у потрібний момент відкривав доступ в циліндр від запальної суміші. Золотникове розподілення і запалення горілкою не застосовується в сучасних двигунах, але цикл Отто повністю зберігся до нашого часу. За цим циклом працює переважна кількість двигунів.

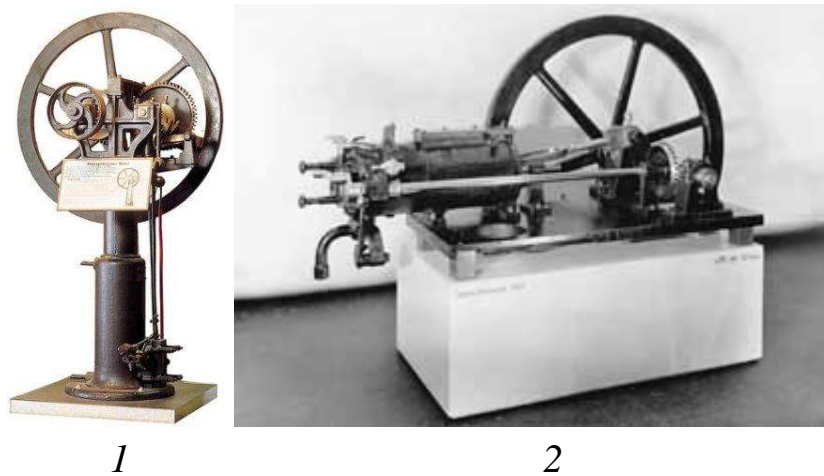


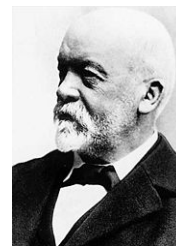
Рис. 8. Двигуни Отто:

1 – двотактний; 2 – чотиритактний

До недоліків двигуна Отто можна віднести його тихохідність та велику масу. Збільшення числа обертів вала призводило до нестабільної роботи та швидкого зносу золотника. Високий тиск в циліндрі вимагав підсилення міцності кривошипно-шатунного механізму та стінок циліндра, тому маса двигуна у перерахунок на 1 кВт×год досягала 500 кг. Для розміщення всього запасу газу необхідний був надвеликий резервуар. Все це зумовило невдачу: газовий двигун Отто, так як і його перший варіант, був непридатний для встановлення на автомобіль, хоча і набув широкого застосування в стаціонарних умовах.

Двигун внутрішнього згоряння став придатним для застосування на транспорті, після того як запрацював на рідкому паливі, став швидкохідним, компактним і легким.

Найбільший внесок у його створення зробили інженери-машинобудівники: Готліб Вільгельм Доймлер (Gottlieb Wilhelm Däumler) (1834-1900 рр.), технічний директор заводу Отто в місті Дойц, та його найближчий співробітник Аугуст Вільгельм Майбах (August Wilhelm Maybach) (1846–1929 рр), які пізніше заснували власну фірму.



Про винахідників машин часто пишуть, що вони з дитинства захоплювалися технікою, майстрували прилади, розбирали та збирали годинники, що ідею майбутньої нової машини вони виношували майже з пелюшок. І ще повідомляють, що винахідники наче знали наперед про те, яке велике економічне та соціальне значення вона матиме. Але у Готліба Доймлера та Вільгельма Майбаха насправді були біографії «зразкових винахідників». Доймлер з юнацьких років присвятив себе машинам, з успіхом закінчив Вище політехнічне училище в Штутгарті. Під час тривалої служби в Ельзасі та роботі на англійських машинобудівних заводах Доймлер добре вивчив найсучаснішу на той час техніку і до того ж, володіючи французькою та англійською мовами, отримав доступ до великого масиву спеціальної літератури. Спочатку у багатьох конструкторів виникала думка щодо побудови другого, третього варіантів машини, покращених за досвідом роботи над попередньою, і, разом з тим... про її продаж.



В опублікованій у 1935 році біографії одного із засновників фірми «Daimler-Benz AG» читаємо: "В 1881 році Доймлер об'їздив Росію, щоб на місці познайомитися з нафтою, йому вже тоді продукти нафти репрезентувалися паливом для транспортного двигуна... 1882 рік став дуже важливим у житті Доймлера. Цей рік можна вважати роком народження автомобільного двигуна, хоча сам двигун був готовий лише в наступному році» (рис. 9).

Чому саме подорож до Росії знадобилася Доймлеру для здійснення його задумів? Справа в тому, що в Росії вже працював завод з перегонки сирової нафти в керосин. Хімік Олександр

Олександрович Лєтній провів експерименти та довів, що перегонка нафти та її залишків через розпечені залізні труби дає різні продукти, зокрема таке паливо, як бензин. Це було саме те, що шукав Доймлер для екіпажного двигуна: легке нафтове паливо, яке добре випаровується, швидко та повно спалюється, є зручним в транспортуванні.

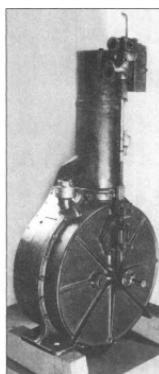


Рис. 9. Бензиновий двигун, розроблений Г. Доймлером у 1883 р.

Перший двигун Доймлера був придатним як для транспортного, так і для стаціонарного застосування, працював на газу та бензині. Наступні конструкції Доймлера були розраховані виключно на рідке паливо. Більшу частоту обертання вала двигуна, яка забезпечується, зокрема, інтенсивним запаленням суміші, Доймлер справедливо вважав головним показником роботи двигуна на транспортній машині. Частота обертання вала двигуна Доймлера була в 4-5 разів більшою, ніж у газових двигунів, і досягала 450-900 об/хв., а потужність у розрахунку на 1 л робочого об'єма – вдвічі більша. Відповідно могла бути зменшена маса. До цих рис «транспортної специфіки» додамо закритий картер (кожух) двигуна, заповнений змащувальною оливою та який захищає рухомі частини від пилу та бруду. Охолодженню води, в оточуючій двигун «сорочці», сприяв пластинчастий радіатор. Для пуску двигуна слугувала пускова рукоятка. Наразі було все необхідне для побудови легкого екіпажу, який би рухався сам – автомобіля.

Бензинові двигуни за короткий час були доведені до високих кондицій. Вже за перші десятиліття ХХ ст. вони дали крила авіації, електроенергію морякам і полярникам, утворили ґрунт для цілої низки видатних винаходів.

Що стосується традиційного важкого та транспортного машинобудування, то воно поки задовольнялося, переважно, паровими машинами, лише мріючи про потужні двигуни, які були б спроможні працювати на відносно недорогому паливі та мати не надвеликі габарити.

Побудувати подібний двигун, який був названий дизелем на честь його винахідника Рудольфа Крістіан Карла Дізеля (Rúdfolf Chrístian Karl Díesel) (1858 – 1913 рр.), вдалося лише на початку ХХ ст. (більш докладно постаті Дізеля присвячена лекція «Дизельні двигуни»). Перший дебют на автомобілі у 1908 р. виявився невдалим, і автомобілісти на деякий час забули про дизель, змушивши його шукати «взаємності» у моряків, залізничників та інших «великоваговиків». Іншими словами, дизелям відвели роль «тихоходів», якими вони були аж до 1920 – тих рр. минулого століття, коли перші такі двигуни з'явилися на вантажівках.



Успіх швидкого розвитку двигунобудування став можливим завдяки досягненням у розробці теорії робочого циклу ДВЗ. У 1906 році уродженець Києва професор МВТУ В.І. Гриневецький вперше в світі розробив метод теплового розрахунку двигуна, який у подальшому був розвинутий академіком Б.С. Стечкиним, професорами Є.К. Мазінгом, М.М. Глаголевим, І.Я. Леніном.

Сьогодні основна увага приділяється підвищенню економічності та екологічності ДВЗ, заміні нафтових палив альтернативними, широкому впровадженню електроніки та мікропроцесорів у системах керування двигунів.

Лекція 2. РОТОРНО-ПОРШНЕВІ ДВИГУНИ

В нотатках Л. Шугурова «Роторний двигун», для Великої радянської енциклопедії, читаємо: "...Ідея побудови роторного двигуна, відомого також як коловратний, або роторно-поршневий, була вперше висунута в XVI ст. Зареєстровано декілька тисяч патентів на роторний двигун. Першу спробу побудови діючого зразка роторного двигуна можна віднести до 1799 року, однак практично здатні до роботи двигуни з'явилися лише в 1957 році".



Винахідником роторного парового двигуна, а також піонером в дослідженні роторних ДВЗ був Джейн Ватт. Перші результати були отримані в 1924 році. Фелікс Генріх Ванкель (Felix Heinrich Wankel, 1902– 1988 pp.), якому на той час було 22 роки, займався дослідженнями різних можливостей роторних двигунів і знайшов оптимальну конструкцію статора та ротора.

Лише в 1957 році Фелікс Ванкель і Вальтер Фройде (W. Froude) продемонстрували на конференції Товариства німецьких інженерів (VDI) працюючий чотиритактний двигун DKM 54 з поршнем-ротором, який був забезпечений механічними ущільненням. Дещо раніше основні технічні рішення пройшли апробацію в конструкції компресора, що застосовувався для надуву мотоциклетного двигуна рекордного перегонного мотоцикла фірми NSU (у 1955 році ця фірма була найбільшим в світі виробником мотоциклів). Спільна діяльність Ванкеля і Фройде почалася ще в 1951 році після підписання угоди між фірмами NSU Motorenwerke AG і Wankel GMBH, тому 2001 рік можна вважати півстолітнім ювілеєм "роторно-поршневої" тематики в двигунобудуванні.

Кожен з цих двох німецьких інженерів зробив неоціненний внесок до розробки першого в світі роторно-поршневого двигуна (РПД). Велика заслуга Ванкеля (і його групи) у створенні класифікації кінематичних схем роторно-поршневих машин. Він провів дослідження механічних ущільнень клапанів (золотників),

що оберталися, сформував комплекс вимог до ефективних рухливих ущільнень. У цій області слід також відзначити важливу роль групи В. Бензінгера (W. Benzinger) фірми Daimler-Benz.

Зусиллями засобів масової інформації в науково-популярній літературі за РПД, очевидно за аналогією з дизелем, закріпилося найменування "ванкель". Слід підкреслити, що в професійній літературі такий жаргонізм зовсім відсутній, оскільки саме другому співавторові – Фройде, головному конструктору двигунів фірми NSU, належала вирішальна роль в обґрунтуванні та виборі базової кінематичної схеми, а також формування власне інженерної концепції РПД. Сам же Ванкель вважав варіант конструкції, прийнятий фірмою NSU за базовий, далеко не здійсненим через необхідність зрівноважувати противагами ротор, що ексцентрично обертається на валу. До кінця свого життя людина, ім'я якої було увічнене в найменуванні двигуна, працювала над створенням абсолютно іншого мотора з простим обертанням взаємодіючих роторів. Тому набагато логічніше було б іменувати РПД за ім'ям другого творця – "фройде", але історія розпорядилася по-іншому.

Перший РПД DKM-54 біроторної конструкції виявився надзвичайно складним (наприклад, свічки запалення встановлювалися в роторі) і ненадійним, але він довів принципову працездатність всієї запропонованої концепції і відкрив шляхи для подальшого доведення. У 1958 році NSU показала відразу дві вдосконалені моделі Фройде: КKM 125 (об'єм кожної з трьох робочих камер 125 см^3) і КKM 250 (об'єм 250 см^3), в яких свічки запалення розміщувалися в нерухомому корпусі (статорі) і були легкодоступними для обслуговування. Випробування підтвердили, що біля двигуна з планетарним обертанням ротора на ексцентриці вала відсутні серйозні механічні проблеми.

Спалах інтересу до "ванкеля" у всьому світі припав на кінець 50 – початок 70 -тих рр. Першою ліцензією на виробництво у NSU/Wankel придбала всесвітньо відома корпорація Curtiss-Wright в 1958 році, а в 1960-1961 рр. успіх визнали найбільші німецькі моторобудівні фірми Fichtel&Sachs, Daimler-Benz AG, MAN,

Friedrich Krupp GMBH, Klockner-Humboldt-Deutz AG і перші японські – Yanmar Diesel Co. і Toyo Kogyo Co., а також англійська фірма F/Perkins Ltd. У 1965 році ліцензії придбали такі авторитетні компанії, як Rolls-Royce, OMC і Porsche KG. Черга гігантів класу Nissan Motor Co., General Motors Corp., Suzuki Motor Co., Toyota Motor, Ford-Werke AG, Ingersoll-Rand, Mercury Div., Brunswick Corp., Yamaha Motor, Kawasaki Heavy Industries Ltd. і American Motors Corp. прийшла в 1970-1973 рр. Всього було укладено близько 30 ліцензійних угод на право виробництва.

"Серцем" типового РПД є ротор з трьома опуклими гранями, що ексцентрично обертається усередині циліндрової порожнини статора. Контур циліндра двигуна (рис. 10) є перітрохоїдою, тобто такою кривою по якій без відриву проходять вершини ротора у разі, коли радіус r зовнішньої шестерні планетарного механізму жорстко з'єднаний з ротором, перевищує радіус r_g внутрішньої нерухомої шестерні.

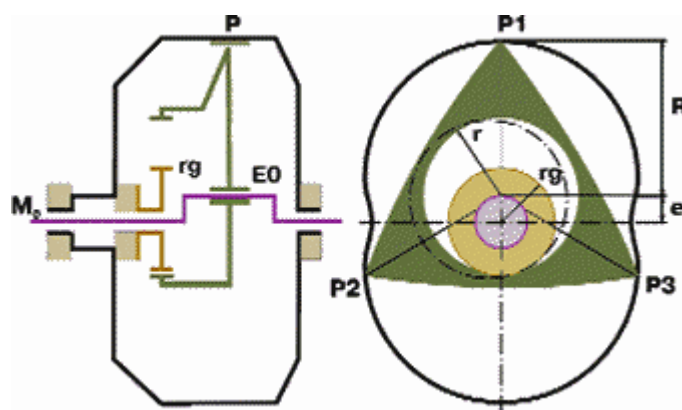


Рис. 10. Циліндр роторно-поршневого двигуна

Подібно до звичайного бензинового двигуна, в РПД реалізовано чотиритактний цикл. На рис. 11 показано чергування фаз в робочих камерах під час повного повороту ротора. Слід зазначити, що в ході такого повного повороту тричі здійснюється робочий хід, а також, що частота обертання вихідного вала в три рази вища за частоту обертання ротора, що відповідає одному робочому ходу на оберт вала.

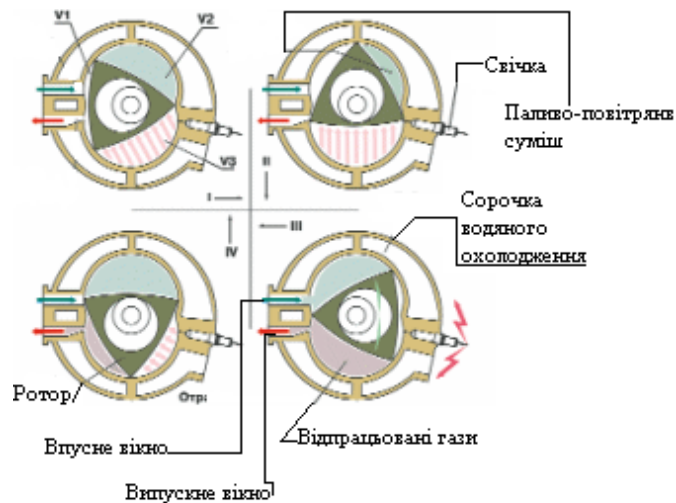


Рис. 11. Чергування фаз роторно-поршневого двигуна

Положення I відповідає початку фази всмоктування в робочу камеру VI, початку фази стискування в камері V2 і робочому ходу в камері V3. У положенні II робочий хід завершено, ось-ось відкриється вікно вихлопу. Положення III відповідає моменту подачі запалення в камеру V3, при цьому в двох інших камерах продовжуються процеси стискування і вихлопу. У положенні IV починається черговий робочий хід – тиск газів паливо-повітряної суміші, що запалала, в камері V3 призводить до енергійного провертання ротора.

"Золоте століття" РПД. Першим у світі серійним автомобілем з односекційним РПД став Spider-54, запущений у виробництво фірмою NSU в 1964 році. В 1967 році почався випуск Ro80 з двосекційним двигуном ККМ 612 потужністю 129 к.с. Але справжній успіх прийшов до "ванкеля", коли японська фірма Mazda (що уклала в 1961 р. договір з NSU) почала випуск автомобіля Cosmo Sport 110S. У 1973 році з 104 960 автомашин Mazda, проданих у США, понад 92 % були оснащені роторно-поршневим двигуном. На початку 70 рр. фірма Citroen виробляла два типи легкових автомобілів з РПД, Mercedes розробила декілька прототипів, а General Motors планувала встановити РПД на одній зі своїх перспективних машин (Corvette). У цей же період з'явилися у виробництві мотоцикли з РПД (Hercules W2000, Suzuki RE-5, Vaan-Veen, Norton Commander).

Найважливішими перевагами РПД порівняно з традиційними поршневыми бензиновими моторами є:

- менша на 35...40 % кількість деталей;
- менші в 1,5...2 рази габаритні розміри;
- мала питома маса за високої питомої потужності.
- низький рівень вібрацій, РПД повністю механічно зрівноважений, що дозволяє підвищити комфортність легких транспортних засобів типу мікроавтомобілів, мотокарів і юнікарів;
- відмінні динамічні характеристики.

Наприклад, сучасний серійний РПД з об'ємом робочої камери 1300 см³ має потужність 220 к.с., а з турбокомпресором – 350 к.с. Мініатюрний моторчик OSMG 1400 (робочий об'єм 5 см³) потужністю 1,27 к.с. важить всього 335 г.

Маса рухомих частин в РПД значно менша, ніж в аналогічних за потужністю "нормальних" поршневих двигунах, адже в ньому відсутні колінчастий вал і шатуни.

Середина 60-тих років була знаменна все більш широким засуванням різноманітних варіантів РПД як транспортних, стаціонарних і переносних багатоцільових двигунів. Наприклад, Curtiss-Wright продемонструвала багатопаливний двигун моделі RC 2-60 для приводу генератора потужністю 60 кВт. Він важив вчетверо менше аналогічного дизеля і займав об'єм в півтора рази менше, ніж традиційний бензиновий поршневий двигун. Тоді ж було показано, що РПД приблизно на 20 % економічніший за звичайні двотактні підвісні човнові мотори за меншої маси та набагато нижчого рівня шуму. Важливою позитивною особливістю "ванкеля" стала його багатопаливність. Роторно-поршневому двигуну знайшлося місце і на катерах, і на снігоходах, і на легких літаках. Проте найбільш важливою сферою вживання у той час було автомобілебудування.

Прагнення отримати швидкий економічний ефект від впровадження РПД не був підкріплений глибокими науковими дослідженнями особливостей робочого процесу і шляхів оптимізації теплового стану двигуна. Гостро стояла проблема

вибору конструктивних елементів і матеріалів, що забезпечують ефективність ущільнень, і встановлення взаємозв'язку між характеристиками джерел запалення і згорання за малих навантажень і частот обертання. Серйозно теорія РПД починає складатися лише сьогодні.

Слід визнати, що у зв'язку з новизною конструкції варіант РПД, застосований на автомашинах Mazda в 70 році, мав конструктивно-виробничі й експлуатаційні недоліки. Найважливішою з них була підвищена витрата палива. Нафтове ембарго, введене у 1973 році, у відповідь на підтримку, надану Сполученими Штатами Ізраїлю у війні проти арабської коаліції, завдало чутливого удару по американських автомобілістах і висунуло проблему економічності на перший план, тоді як розробники фірми Mazda не приділили цій проблемі належної уваги. Внаслідок всіх цих причин "японське диво" поступово потьмяніло в очах американських споживачів. У 1974 році фірмі вдалося продати в США всього 61 192 автомобілів. Багато компаній змушені були відмовитися від планів виробництва РПД, оскільки реальними технічними засобами для швидкого вирішення двоєдиного завдання – зменшення витрати палива і зниження викидів токсичних компонентів з відпрацьованими газами – вони не мали.

Та все ж у 1978 році Mazda зуміла продати мільйон автомобілів з РПД, а до 2000 року загальна кількість проданих автомобілів перевищила два мільйони.

Сучасний РПД. Аж до 1996 року Mazda продовжувала виробляти і поставляти до США спортивний автомобіль RX-7. У результаті проведення широкої програми досліджень компанії Mazda вдалося вирішити проблему недостатньої економічності РПД і понизити емісію токсичних компонентів відпрацьованих газів до прийнятих норм. У жовтні 1999 року на 33-й токійській автомобільній виставці демонструвався новий спортивний автомобіль RX-EVOLV, оснащений сучасним варіантом "ванкеля" – двосекційним двигуном MSPRE потужністю 280 к.с. Цю машину фахівці компанії називали "концепт-каром", обіцяючи в найближчому майбутньому перенести закладені в ній новинки в серійні моделі RX-7.

У США сформувалася помітна група гонщиків-любителів, яким Mazda свого часу зробила прекрасний дарунок. Оцінюючи попередні варіанти RX-7, ці люди не скупилися на похвали. На їх думку, відмінною особливістю РПД, встановленого на "сімці", є приголомшлива надійність: навіть під час експлуатації в надзвичайно напруженому "гоночному" режимі "ванкель" без якогось-небудь ремонту легко забезпечував пробіг понад 100 000 миль! Фанати RX-7 організували збирання підписів з вимогою відновити постачання їх улюбленця в США. Цих людей не лякала ціна.

До речі, про ціну. Сучасний РПД, як вже наголошувалося раніше, має меншу кількість деталей порівняно з однаковим за потужністю "нормальним" бензиновим двигуном. Для нинішніх верстатів з ЧПУ обробка поверхонь типу перітрохоїди є цілком посильним завданням, а вимоги до точності відтворення форми для деталей РПД навіть менш жорсткі, ніж для класичного двигуна з його циліндрами і поршнями. У РПД немає клапанів, а значить, немає розподільчого вала зі штовхачами і т. п. Вживання зносостійких покриттів, а також керамічних, вирішує проблему надійності і довговічності. Таким чином, потенційно, за відповідних масштабів виробництва, "ванкель" не дорожчий за хороший класичний бензиновий мотор рівної потужності за однакової економічності і, принаймні, не гірших екологічних показників! В усякому разі, фірма Mazda серйозно має намір додати РПД друге дихання і змінити стереотипне уявлення про найважливіші якості "ванкеля", що склалося у споживачів за результатами експлуатації його ранніх моделей.

Низка фірм робила спроби реалізації дизельного робочого процесу в РПД. Проте успіхи Curtiss-Wright, що вперше успішно застосувала пошарове сумішоутворення (що дозволило "ванкелю" працювати на дизельному паливі, авіаційному газі і т. п.), зробили неактуальною розробку дизельних варіантів РПД. "Всеїдність" РПД дозволяє використовувати як паливо зріджений природний газ, а також водень. Прекрасні перспективи відкриваються для вживання РПД в авіації. Перш за все, це стосується безпілотних літальних

апаратів (БПЛА) – розвідувальних, метеорологічних та літаків-ретрансляторів і навіть невеликих транспортних машин. Приймач глобальної навігаційної системи NAVSTAR дозволяє новітнім безпілотникам літати на величезні відстані, не збиваючись з курсу, а цифрова автоматизована система зльоту/посадки DGPS забезпечує збереження вантажу. Сучасний БПЛА типу Hermes 1500 UAV з двома РПД здатний нести 350 кг корисного вантажу і триматися в повітрі 30 год! Його льотний ресурс 20 000 год, що свідчить про перехід БПЛА з класу "одноразових дорогих іграшок" в розряд цілком статичних, "багаторазових" транспортних засобів.

"Ванкель" на теренах колишнього СРСР. Історія вітчизняного "ванкеля" почалася у 1961 році, коли Мінавтопром і Мінсільгоспмаш СРСР поставили відповідне завдання перед науково-дослідними інститутами – НАМІ, НАТІ і ВНДІмотопром. Паралельно по лінії Міноборони вивченням РПД зайнявся НДІД. Творцями вітчизняних конструкцій роторно-поршневого двигуна були Чистозвонов, Ханін, Турянський, Зіновьев (НАМІ), Гостева і Беніовіч (НАТІ), а також Іваніцький, Карманов і Александров (ВНДІмотопром).

У період 1961-78 рр. в галузевих НДІ і навчальних інститутах СРСР були проведені дослідницькі і дослідно-конструкторські роботи, які завершилися створенням дослідних зразків РПД різного призначення і технологій для їх виробництва.

У 1974 р. рішенням уряду подальші роботи по РПД були доручені Волзькому автозаводу, де розгорталася спеціальне конструкторське бюро (СКБ РПД). Це рішення, з одного боку, додало новий імпульс розробці вітчизняного варіанта РПД (почалися, зокрема, проектні роботи з будівництва цехів для серійного виробництва "ванкелей"), а з іншої – призвело до фактичної втрати багато чого з того, що напрацювали інститути, оскільки як прототип фахівці ВАЗа вирішили орієнтуватися на двигун фірми Mazda і досвід його масового виробництва. Біля витоків РПД стояли такі керівники, як В.Н. Поляков, Е.А. Башинджагян, А.А. Житков, Б.С. Поспелов і М.А. Коржов.

СКБ РПД розробило сімейство двигунів потужністю 40...200 к.с. різного призначення. Найбільші зусилля були зосереджені на доведенні агрегатів потужністю 120 і 140 к.с. Вдалося успішно вирішити проблеми РПД, пов'язані з працездатністю підшипників, газових і маслоскидальних ущільнень, відладати ефективний робочий процес в камері несприятливої форми. Крім того, було знято проблему викривлення корпусних деталей через їх нерівномірне прогрівання, а також створена багатоканальна цифрова система запалення.

Російському досліднику І.В. Зінов'єву вдалося уточнити особливості процесів згорання в РПД, вплив систем запалення і досягнути значного поліпшення економічності РПД, застосувавши пошарове спалювання палива в камері згорання і динамічний наддув за рахунок відображеної хвилі від суміжної секції. Проблема зниження токсичності РПД вирішується переважно шляхом впровадження удосконалень, звичайних для поршневих двигунів - оптимізації сумішоутворення і процесу згорання, а також вживання засобів знешкодження відпрацьованих газів. Крім того, отримала експериментальне підтвердження висока ефективність подачі водню в паливо-повітряну суміш.

У резерві зберігається і такий спосіб поліпшення економічних і екологічних показників автомобіля з РПД при забезпеченні високих динамічних якостей, як повне відключення однієї або декількох секцій багатосекційних РПД на часткових навантаженнях. З таким експериментальним двосекційним РПД (виготовленим з двох двигунів ВАЗ-311) на автомобілі ГАЗ-24 екіпаж НАМИ займав перші місця на Всесоюзних ЕКО-РАЛЛІ в 1989-1990 рр.

З середини 90-тих рр. минулого століття РПД оснащувалися малі партії автомобілів ВАЗ-2105 -2107, -2108, -2109, -21099, а також ВАЗ-2110 з "ванкелем" ВАЗ-415. Максимальна швидкість роторної "сімки" становить 180 км/год, а "вісімка" здатна досягти і 200 км/год, причому для розгону до швидкості 100 км/год їй необхідно всього 8 с. Двосекційний двигун ВАЗ-415 масою 113 кг

розвиває потужність 140 к.с. Мінімальна витрата палива – 230 г/л.с. год, а ресурс до першого капітального ремонту – 125 тис. км. До речі, в експлуатації є автомашини з "ванкелями", успішно пропрацювавши без капремонту і такими, що забезпечили пробіг понад 300 тис. км.

Слід сказати ще про один здобуток СКБ РПД – одосекційний двигун ВАЗ-1185 потужністю 40 к.с. Актуальність цього двигуна зумовлена стійкою тенденцією до зростання кількості мікроавтомобілів, які щороку випускаються (легкових автомобілів класу "А"). Як правило, такі машини виконуються чотиримісними, мають передній привід коліс і оснащуються двигунами потужністю 30...50 к.с. Спостерігається тенденція до підвищення потужності двигуна мікроавтомобілів до рівня 80...90 к.с. Основними причинами підвищення інтересу до автомобілів цього класу є прагнення знизити витрати на паливо, зменшити транспортну напруженість в центрі великих міст і поліпшити умови парковки.

Обсяги світового виробництва мікроавтомобілів можна охарактеризувати такими цифрами: у 1996 році в Японії було побудовано понад 900 тис., а в західноєвропейських країнах – близько 700 тис. таких автомобілів. Масштаби випуску легкових автомобілів класу "А" в Росії укрій невеликі (серійно проводиться тільки "Ока"; у 1999 році побудовано близько 40 тис.), тоді як платоспроможний попит, на думку фахівців, оцінюється в 150...160 тис. автомашин щорік.

Таким чином, ось вона – ніша для РПД ВАЗ-1185 (рис. 12, 13). Створення нового недорогого автомобіля з роторно-поршневым двигуном, малогабаритним, невибагливим і надійним, що забезпечує комфорт в транспортному засобі обмежених розмірів (низькі шум і вібрації), через особливості сучасної економічної ситуації в світі є дуже привабливим проектом.



Рис. 12. Роторно-поршневий двигун ВАЗ-1185

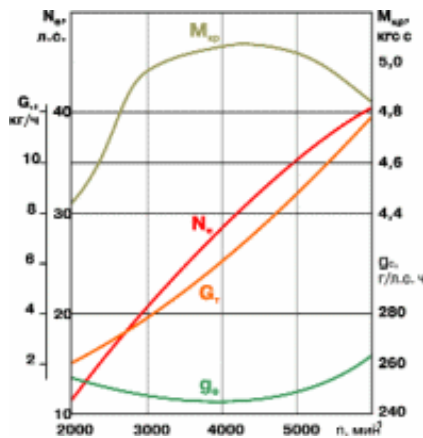


Рис. 13. Індикаторна діаграма двигуна ВАЗ-1185

Поступово, у міру накопичення досвіду, впровадження нових технічних рішень серед експлуатаційників виникає позитивне відношення до РПД у ряді секторів техніки, таких як мала авіація, автомобілебудування, стаціонарна енергетика. Якщо судити по публікаціях в Інтернеті, рекламі, патентній активності, роторно-поршневий двигун вступає в період нового сплеску інтересу до нього.

На міжнародній виставці Engine Expo 2003 у Штутгарті 4 червня були оголошені результати конкурсу The International Engine of The Year Awards 2003. Вперше за п'ятирічну історію конкурсу звання кращого двигуна планети отримав мотор фірми Mazda – роторно-поршневий двигун Renesis, яким оснащується купе Mazda RX-8.

Повернення на сцену роторно-поршневого двигуна Mazda Renesis (рис. 14) сплутало іншим учасникам всі карти. «Ротор» не лише переміг в своєму класі (від 2,5 до 3 л), але і був визнаний журналістами кращою новинкою 2003 року, а потім упевнено вийшов у лідери у фінальному голосуванні.



Рис. 14. Роторно-поршневий двигун Mazda Renesis

Ця перемога, безумовно, заслужена. Можна сказати, що це винагорода не лише за високі технології (а ними Renesis багатий), але і за вірність концепції. Адже Mazda – єдиний автовиробник у світі, який після вступу жорстких норм токсичності продовжив роботи над роторно-поршневими двигунами, причому з успіхом: серійний Renesis відповідає екологічним нормам Євро-4. «Ми пишаємося нашою перемогою і вважаємо її за визнання того, що у роторно-поршневих двигунів є майбутнє», – заявили представники фірми Mazda. І були праві, бо наступного 2004 року у номінації International Engine of the Year від 2,5 до 3 л кращим був визнаний роторний двигун Mazda RX-8.

Лекція 3. ТИПИ ТА ПРИНЦИПИ РОБОТИ ДВИГУНІВ. КОРПУСНІ ДЕТАЛІ ТА ПОРШНЕВА ГРУПА

На будівельних і дорожніх машинах як джерело механічної енергії застосовують поршневі двигуни внутрішнього згорання. Спільними ознаками для двигунів внутрішнього згорання будівельних і дорожніх машин є:

- конструкція кривошипно-шатунного механізму – тронькова (бічне зусилля від шатуна сприймається поршнем);
- рід вживаного палива – рідке (бензин, дизельне);
- напрямок обертання колінчастого вала – правий (положення спостерігача з боку протилежного вала основного відбору потужності).

Двигуни внутрішнього згорання будівельних дорожніх машин забезпечують діапазон потужності 1,5...400 кВт. Застосовують карбюраторні двигуни, особливо малої потужності на базових автомобілях виробництва Росії (ГАЗ, ЗІЛ), і дизельні двигуни потужністю від 20 кВт і вище. Найбільшого поширення набули дизельні двигуни. Стандартом на промислові дизелі, до яких відносяться двигуни будівельних і дорожніх машин, введено умовне позначення дизелів, що складається з букв і цифр: **Ч** – чотиритактний, **Д** – двотактний, **Н** – з наддувом, цифри перед буквами – число циліндрів, цифри після букв над рискою – діаметр циліндра в сантиметрах, цифри під рискою – хід поршня в сантиметрах.

Необхідна потужність двигуна повинна забезпечувати переміщення машини із заданими швидкостями, виконання роботи робочим устаткуванням і функціонування систем і механізмів. На будівельних і дорожніх машинах застосовуються, в основному, двигуни тракторного, автомобільного і промислового призначення, потужності яких визначаються стандартами.

Всі вживані на будівельних і дорожніх машинах поршневі двигуни внутрішнього згорання класифікують за такими основними ознаками:

За способом здійснення газообміну:

- двотактні;
- чотиритактні.

У двотактних двигунах робочий цикл здійснюється за два такти, що відповідає двом ходам поршня від одного крайнього положення до іншого, або одному оберту колінчастого вала;

У чотиритактних двигунах робочий цикл здійснюється за чотири ходи поршня, що відповідає двом обортам колінчастого вала.

За способом наповнення робочого циліндра:

- з природним наповненням (наповнення забезпечується переміщенням поршня);
- з надувом (наповнення відбувається при підвищеному тиску від надувного агрегату).

За способом сумішеутворення:

- із зовнішнім;
- із внутрішнім.

У двигунах із зовнішнім сумішоутворенням основна частка процесу утворення горючої суміші відбувається в додатковому пристрої, який має назву *карбюратор*, шляхом випару рідкого палива (бензину) в струмені повітря.

У двигунах із внутрішнім сумішоутворенням горюча суміш утворюється усередині робочого циліндра шляхом роздільної подачі палива (дизельного) і повітря. Розрізняють двигуни з безпосереднім уприскуванням і вихрокамерним сумішоутворенням.

За способом займання горючої суміші:

- з примусовим запаленням (від електричної іскри);
- із займанням від стискування (дизелі).

За кількістю і розташуванням циліндрів:

- одноциліндрові;
- багатociліндрові;
- рядні (прямовисні, нахилені);
- V - подібні (дворядні, з розташуванням циліндрів в ряд під кутом 60, 75 або 90°);

- опозитні;
- W - подібні;
- типу «боксер».

За відношенням ходу поршня S до діаметра D циліндра:

- короткохідні ($S/D < 1$);
- квадратні ($S/D = 1$);
- довгохідні ($S/D > 1$).

За ступенем швидкохідності:

- тихохідні (середня швидкість поршня 6,5...10 м/с);
- швидкохідні (середня швидкість поршня 10...15 м/с).

За типорозміром:

- з конкретними типорозмірами діаметра циліндра і ходу поршня $D \times S$.

За способом охолодження:

- з рідинним;
- з повітряним.

За способом пуску:

- з електростартером;
- з електростартером і пусковим двигуном;
- з пусковим двигуном.

Поршневі ДВЗ складаються з механізмів і систем, що виконують задані їм функції і взаємодіють між собою. Основними частинами такого двигуна є кривошипно-шатунний та газорозподільний механізми, а також системи живлення, охолодження, запалення та система змащування.

Кривошипно-шатунний механізм перетворює прямолінійний зворотньо-поступальний рух поршня в обертальний рух колінчастого вала. Механізм газорозподілу забезпечує своєчасне впускання горючої суміші в циліндр і видалення з нього продуктів згорання.

Система живлення призначена для приготування і подачі горючої суміші в циліндр, а також для відведення продуктів згорання.

Система змащення служить для подачі масла до тих деталей, що взаємодіють між собою для зменшення сили тертя і часткового їх охолодження, поряд з цим циркуляція масла призводить до змивання нагару і видалення продуктів зношування.

Система охолодження підтримує нормальний температурний режим роботи двигуна, забезпечуючи відведення теплоти від деталей, які дуже нагріваються, під час згорання робочої суміші циліндрів поршневої групи і клапанного механізму.

Система запалення призначена для займання робочої суміші в циліндрі двигуна.

Отже, чотиритактний поршневий двигун складається з циліндра і картера, який знизу закритий піддоном. У середині циліндра переміщується поршень з компресійними (ущільнюючими) кільцями, що має форму склянки з днищем у верхній частині. Поршень через поршневий палець і шатун пов'язаний з колінчастим валом, який обертається в корінних підшипниках розташованих в картері. Колінчастий вал складається з корінних шийок, щік і шатуної шийки. Циліндр, поршень, шатун і колінчастий вал складають так званий кривошипно-шатунний механізм. Зверху циліндр накритий голівкою з клапанами. Відкриття і закриття їх суворо узгоджене з обертанням колінчастого вала, а отже, і з переміщенням поршня. Переміщення поршня обмежується двома крайніми положеннями, за яких його швидкість дорівнює нулю. Крайнє верхнє положення поршня називається верхньою мертвою точкою (ВМТ), крайнє нижнє його положення – нижньою мертвою точкою (НМТ).

Безупинний рух поршня через мертві точки забезпечується маховиком, який має форму диска з масивним ободом. Відстань, яку проходить поршень від ВМТ до НМТ, називається ходом поршня S , який дорівнює подвоєному радіусу R кривошипа: $S = 2R$. Простір над днищем поршня під час знаходження його у ВМТ називається камерою згорання; її об'єм позначається через V_c ; простір циліндра між двома мертвими точками (НМТ і ВМТ) називається його робочим об'ємом і позначається V_h . Сума об'єму камери згорання V_c і робочого об'єму V_h складає повний об'єм циліндра V_a : $V_a = V_c + V_h$. Робочий об'єм циліндра V_p (рис. 15). Суму всіх робочих об'ємів циліндрів багатоциліндрового двигуна називають робочим об'ємом двигуна. Відношення повного об'єму

циліндра V_a до об'єму камери згорання V_c називається ступенем стиску: $E=(V_c+V_h)/V_c=V_a/V_c=V_h/V_c+1$. Ступінь стиску є важливим параметром двигунів внутрішнього згорання, оскільки дуже впливає на його економічність і потужність.

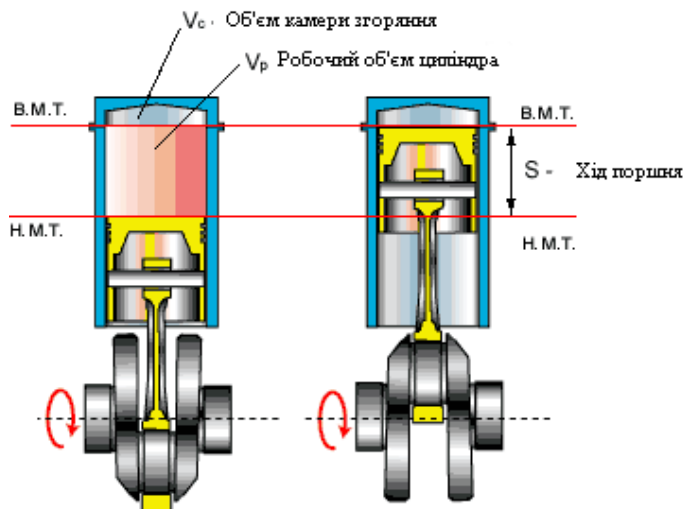


Рис. 15. Хід поршня, об'єми камери згорання та циліндра

Принцип роботи. Дія поршневого двигуна внутрішнього згорання заснована на використанні роботи теплового розширення нагрітих газів під час руху поршня від ВМТ до НМТ. Нагрівання газів у положенні ВМТ досягається в результаті згорання в циліндрі палива, перемішаного з повітрям. При цьому підвищується температура газів і тиску. Оскільки тиск під поршнем дорівнює атмосферному, а в циліндрі він набагато більший, то під дією різниці тисків поршень буде переміщуватися вниз, при цьому газів – розширюватися, здійснюючи корисну роботу. Ось тут-то і дає про себе знати теплове розширення газів, у цьому і полягає його технологічна функція: тиск на поршень. Щоб двигун постійно виробляв механічну енергію, циліндр необхідно періодично заповнювати новими порціями повітря через впускний клапан і паливом через форсунку або подавати через впускний клапан суміш повітря з паливом. Продукти згорання палива після їх розширення видаляються з циліндра через впускний клапан. Ці завдання виконує механізм газорозподілу, який керує відкриттям і закриттям клапанів, і система подачі палива.

Принцип дії чотиритактного карбюраторного двигуна.

Робочим циклом двигуна називається низка послідовних процесів, які періодично повторюються, що протікають в кожному циліндрі двигуна і зумовлюють перетворення теплової енергії на механічну роботу. Якщо робочий цикл здійснюється за два ходи поршня, тобто за один оберт колінчастого вала, то такий двигун називається двотактним. Автомобільні двигуни працюють, як правило, за чотиритактним циклом, який здійснюється за два оберти колінчастого вала або чотири хода поршня і складається з тактів впускання, стискування, розширення (робочого ходу) і випуску. У карбюраторному чотиритактному одноциліндровому двигуні робочий цикл відбувається так:

1. Такт впускання. У міру того, як колінчастий вал двигуна робить перший напівоберт, поршень переміщується від ВМТ до НМТ, впускний клапан відкритий, випускний клапан закритий. У циліндрі створюється розрядка 0,07...0,095 МПа, унаслідок чого свіжий заряд горючої суміші, що складається з пари бензину і повітря, засмоктується через впускний газопровід у циліндр і, змішуючись із залишковими відпрацьованими газами, утворює робочу суміш.

2. Такт стискування. Після заповнення циліндра горючою сумішшю під час подальшого обертання колінчастого валу (другий напівоберт) поршень переміщається від НМТ до ВМТ при закритих клапанах. У міру зменшення об'єму температура і тиск робочої суміші підвищуються.

3. Такт розширення або робочий хід. В кінці такту стискування робоча суміш запалала від електричної іскри і швидко згорає внаслідок чого температура і тиск газів, що утворюються, різко зростає, поршень при цьому переміщається від ВМТ до НМТ. У процесі такту розширення шарнірно пов'язаний з поршнем шатун здійснює складний рух і через кривошип приводить в обертання колінчастий вал. Під час розширення гази здійснюють корисну роботу, тому хід поршня під час третього напівоберта колінчастого вала називають робочим ходом. В кінці робочого ходу поршня, під

час знаходження його біля НМТ відкривається випускний клапан, тиск у циліндрі знижується до 0,3...0,75 МПа, а температура – до 950...1200⁰С.

4. *Такт випуску.* Під час четвертого напівоберту колінчастого вала поршень переміщається від НМТ до ВМТ. При цьому випускний клапан відкритий, і продукти згорання виштовхуються з циліндра в атмосферу через випускний газопровід.

Принцип дії чотиритактного дизеля (рис. 16). У чотиритактному двигуні робочі процеси відбуваються так:

1. *Такт впускання.* Під час руху поршня від ВМТ до НМТ унаслідок розрядки, що утворюється, з повітряочисника повітря в порожнину циліндра через відкритий впускний клапан надходить атмосферне повітря. Тиск повітря в циліндрі становить 0,08...0,095 МПа, а температура 40 - 60⁰ С.

2. *Такт стискування.* Поршень рухається від НМТ до ВМТ; впускний і випускний клапани закриті, поршень, що внаслідок цього переміщується вгору, стискує повітря. Для займання палива необхідно, щоб температура стислого повітря була вищою за температуру самозаймання палива. При ході поршня до ВМТ циліндра через форсунку уприскується дизельне паливо, що подається паливним насосом.

3. *Такт розширення, або робочий хід.* Впорснуте в кінці такту стискування паливо, перемішуючись з нагрітим повітрям, запалюється, і починається процес згорання, який характеризується швидким підвищенням температури і тиску. При цьому максимальний тиск газів досягає 6...9 МПа, а температура 1800...2000⁰ С. Під дією тиску газів поршень переміщується від ВМТ до НМТ і відбувається робочий хід. Біля НМТ тиск знижується до 0,3...0,5 МПа, а температура до 700...900⁰ С.

4. *Такт випуску.* Поршень переміщається від НМТ у ВМТ і через відкритий випускний клапан відпрацьовані гази виштовхуються з циліндра. Тиск газів знижується до 0,11...0,12 МПа, а температура – до 500-700⁰ С. Після закінчення такту випуску під час подальшого обертання колінчастого вала робочий цикл повторюється в тій же послідовності.

Принцип дії двотактного двигуна. Двотактні двигуни відрізняються від чотиритактних тим, що у них наповнення циліндрів горючою сумішшю або повітрям здійснюється на початку ходу стискування, а очищення циліндрів від відпрацьованих газів – у кінці ходу розширення, тобто процеси випускання і впускання відбуваються без самостійних ходів поршня. Спільний процес для всіх типів двотактних двигунів – продування, тобто процес видалення відпрацьованих газів з циліндра за допомогою потоку горючої суміші або повітря. Тому двигун даного виду має компресор (продувний насос). Розглянемо роботу двотактного карбюраторного двигуна з кривошипно-камерним продуванням. У двигунів цього типу відсутні клапани, їх роль виконує поршень який, під час свого переміщення закриває впускні, випускні та продувні вікна. Через ці вікна циліндр у певні моменти сполучається з впускним і випускним трубопроводами і кривошипною камерою (картер), яка не має безпосереднього сполучання з атмосферою. Циліндр у середній частині має три вікна: впускання, випускання і продувне, яке сполучається клапаном з кривошипною камерою двигуна. Робочий цикл у двигуні здійснюється за два такти.

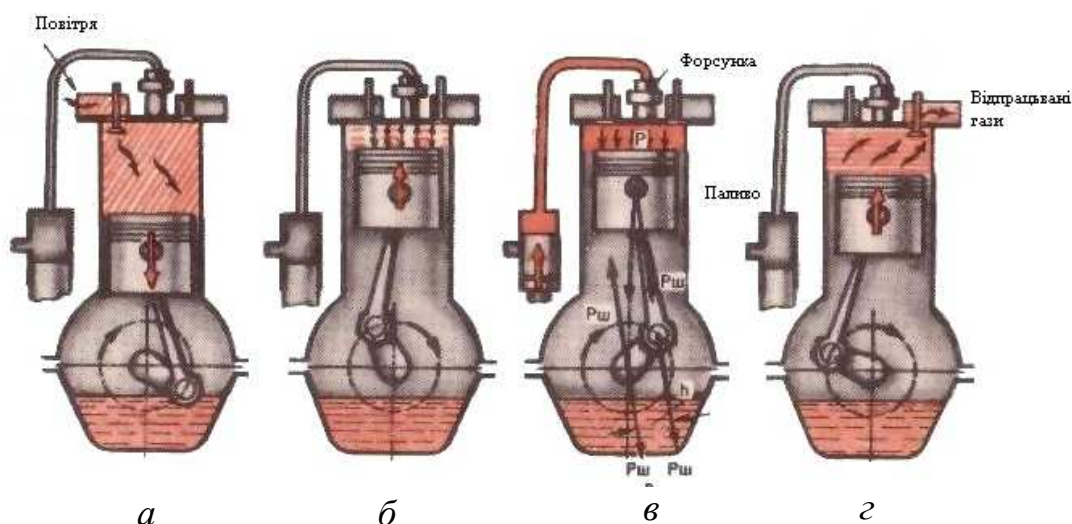


Рис. 16. Такти чотиритактного дизельного двигуна:

a – впускання; *б* – стискування; *в* – робочий хід; *г* – випускання

1. Такт стискування. Поршень переміщається від НМТ до ВМТ, перекриваючи спочатку продувне, а потім випускне вікно. Після закриття поршнем випускного вікна в циліндрі починається стискування горючої суміші, що раніше потрапила в нього. Одночасно в кривошипній камері унаслідок її герметичності створюється розрядка, під дією якої з карбюратора через відкрите випускне вікно надходить горюча суміш у кривошипну камеру.

2. Такт робочого ходу. При положенні поршня біля ВМТ робоча суміш, що стиснута, запалюється електричною іскрою від свічки, в результаті чого температура і тиск газів швидко зростають. Під дією теплового розширення газів поршень переміщується до НМТ при цьому газі, що розширюються, здійснюють корисну роботу. Одночасно поршень, що опускається, закриває випускне вікно і стискує горючу суміш, що знаходиться в кривошипній камері. Коли поршень дійде до випускного вікна, воно відкривається і зачинається випуск відпрацьованих газів у атмосферу, тиск у циліндрі знижується. Під час подальшого переміщення поршень відкриває продувне вікно і стисла в кривошипній камері горюча суміш перетікає по каналу, заповнюючи циліндр і здійснюючи продування його від залишків відпрацьованих газів. Робочий цикл двотактного дизельного двигуна відрізняється від робочого циклу двотактного карбюраторного двигуна тим, що біля дизеля в циліндр надходить повітря, а не горюча суміш, і в кінці процесу стискування упорскує дрібнорозпилене паливо. Потужність двотактного двигуна за однакових розмірів циліндра і частоті обертання вала теоретично в два рази більше чотиритактного за рахунок більшої кількості робочих циклів. Проте неповне використання ходу поршня для розширення, гірше звільнення циліндра від залишкових газів і витрати частки потужності, що виробляється, на привід продувного компресора приводять практично до збільшення потужності тільки на 60...70 %.

Показники, які характеризують роботу двигуна.

Середній індикаторний тиск і індикаторна потужність.

Під середнім індикаторним тиском P_i розуміють такий умовний сталий тиск, який діючи на поршень протягом одного робочого ходу, здійснює роботу, яка дорівнює індикаторній роботі газів у циліндрі за робочий цикл. За визначенням, середній індикаторний тиск – це відношення індикаторної роботи газів за цикл L_i до одиниці робочого об'єма циліндра V_h .

За наявності індикаторної діаграми, знятої з двигуна, середній індикаторний тиск можна визначити за висотою прямокутника, побудованого за V_h , площа якого дорівнює корисній площі індикаторної діаграми, що є в деякому масштабі індикаторною роботою L_i . Щоби визначити за допомогою планіметра корисну площу F індикаторної діаграми (м^2) і довжину l індикаторної діаграми (м), яка відповідає робочому об'єму циліндра, знаходимо значення середнього індикаторного тиску $P_i = F \times m / l$, де m – мірило тиску індикаторної діаграми Па/м.

Середній індикаторний тиск при номінальному навантаженні біля чотиритактних карбюраторних двигунів 0,8...1,2 МПа, у чотиритактних дизелів 0,7...1,1 МПа, у двотактних дизелів 0,6...0,9 МПа.

Індикаторною потужністю N_i називають роботу, що здійснюється газами в циліндрах двигуна за одиницю часу.

Індикаторна робота (Дж), що здійснюється газами в одному циліндрі за один робочий цикл: $L_i = P_i \times V_h$.

Оскільки число робочих циклів, що здійснюються двигуном за секунду дорівнює $2n/T$, то індикаторна потужність (кВт) одного циліндра

$$N_i = \left(\frac{2}{T} \right) \times P_i \times V_h \times n \times 10^{-3}, \quad (1)$$

де n – частота обертання колінчастого вала, 1/с; T – тактність двигуна – число тактів за цикл.

Індикаторна потужність багаточиліндрового двигуна при числі чиліндрів i :

$$N_i = \left(\frac{2}{T}\right) \times P_i \times V_h \times n \times i \times 10^{-3}. \quad (2)$$

Ефективна потужність і середній ефективний тиск.
Ефективною потужністю N_e називають потужність, що знімається з колінчастого валу двигуна для отримання корисної роботи. Ефективна потужність менше індикаторної N_i на величину потужності механічних втрат N_m , тобто $N_e = N_i - N_m$.

Потужність механічних втрат витрачається на тертя і приведення в дію кривошипно-шатунного механізму і механізму газорозподілу вентилятора, рідинного, масляного і паливного насосів, генератора струму та інших допоміжних механізмів і приладів. Механічні втрати в двигуні оцінюються механічним ККД n_m , який є відношенням ефективної потужності до індикаторної, тобто,

$$n_m = N_e / N_i = \frac{(N_i - N_m)}{N_i} = 1 - N_m / N_i. \quad (3)$$

Для сучасних двигунів механічний ККД становить 0,72 – 0,9. Знаючи величину механічного ККД, можна визначити ефективну потужність $N_e = n_m \times N_i$. Аналогічно індикаторній потужності визначають потужність механічних втрат

$$N_m = \frac{2}{T} \times P_m \times V_h \times n_i \times 10^{-3}, \quad (4)$$

де P_m – середній тиск механічних втрат, тобто частка середнього індикаторного тиску, яка витрачається на подолання тертя і на привід допоміжних механізмів і приладів.

Згідно з експериментальними даними:

- для дизелів $P_m = 1,13 + 0,1 \times v_m$;
- для карбюраторних двигунів $P_m = 0,35 + 0,12 \times v_m$,

де v_m – середня швидкість поршня, м/с.

Різниця між середнім індикаторним тиском P_i і середнім тиском механічних втрат P_m називають середнім ефективним тиском P_e , тобто $P_e = P_i - P_m$.

Ефективна потужність двигуна

$$N_e = \frac{2}{T} \times P_e \times V_h \times n_i \times 10^{-3}, \quad (5)$$

отже середній ефективний тиск

$$P_e = N_e \frac{T}{(2 \times V_h \times n_i)} \times 10^3. \quad (6)$$

Середній ефективний тиск під час нормального навантаження у чотиритактних карбюраторних двигунів 0,75 – 0,95 МПа, у чотиритактних дизелів 0,6 – 0,8 МПа, у двотактних 0,5 – 0,75 МПа.

Індикаторний ККД і питома індикаторна витрата палива. Економічність дійсного робочого циклу двигуна визначають індикаторним ККД n_i і питомою індикаторною витратою палива g_i . Індикаторний ККД оцінює ступінь використання теплоти в дійсному циклі з урахуванням всіх теплових втрат і є відношенням теплоти Q_i , еквівалентній корисній індикаторній роботі, до всієї витраченої теплоти Q , тобто

$$n_i = Q_i / Q \quad (7)$$

Теплота (кВт), еквівалентна індикаторній роботі за 1 с, $Q_i = N_i$.
Теплота (кВт), витрачена на роботу двигуна протягом 1 с

$$Q = G_t \times (Q^p)_H, \quad (8)$$

де G_t – витрата палива, кг/с; $(Q^p)_H$ – найнижча теплота згорання палива, кДж/кг.

Підставляючи значення Q_i і Q до виразу (7) отримаємо

$$n_i = \frac{N_i}{G_t} \times (Q^p)_H. \quad (9)$$

Питома індикаторна витрата палива [кг/кВт×год] є відношенням секундної витрати палива G_m до індикаторної потужності N_i , тобто

$$g_i = \left(\frac{G_t}{N_i} \right) \times 3600. \quad (10)$$

Ефективний ККД і питома ефективна витрата палива.

Економічність роботи двигуна в цілому визначають ефективним ККД n_i і питомою ефективною витратою палива g_e . Ефективний ККД оцінює ступінь використання теплоти палива з урахуванням всіх видів втрат як теплових, так і механічних і є відношенням теплоти Q_e , еквівалентній корисній ефективній роботі, до всієї витраченої теплоти $G_m \times Q$, тобто

$$n_m = \frac{Q_e}{(G_T \times (Q^p)_H)} = \frac{N_e}{(G_T \times (Q^p)_H)}. \quad (11)$$

Оскільки механічний ККД дорівнює відношенню N_e до N_i , то, підставляючи в рівняння, що визначає механічний ККД n_m , значення N_e і N_i з рівнянь (7) і (11), отримаємо

$$n_m = \frac{N_e}{N_i} = \frac{n_e}{n_i}, \quad (12)$$

звідки

$$n_e = \frac{n_i}{n_m}, \quad (13)$$

тобто ефективний ККД двигуна дорівнює добутку індикаторного ККД механічного. Питома ефективна витрата палива [кг/(кВт×год)] – це відношення секундної витрати палива G_m до ефективної потужності N_e , тобто

$$g_e = \left(\frac{G_T}{N_e} \right) \times 3600. \quad (14)$$

Тепловий баланс двигуна. З аналізу робочого циклу двигуна випливає, що тільки частина теплоти, що виділяється при згоранні палива, використовується на корисну роботу, решта ж складає теплові втрати. Розподіл теплоти, отриманої під час згорання палива, що вводиться в циліндр, називають тепловим балансом, який зазвичай визначається експериментально. Рівняння теплового балансу має вигляд

$$Q = Q_e + Q_2 + Q_{н.с} + Q_{ост}, \quad (15)$$

де Q – теплота палива, введена в двигун; Q_e – теплота, перетворена на корисну роботу; $Q_{\text{охл}}$ – теплота, втрачена охолоджуючим агентом (водою або повітрям); Q_z – теплота, втрачена з відпрацьованими газами; $Q_{\text{н.с}}$ – теплота втрачена унаслідок неповного згорання палива; $Q_{\text{ост}}$ – залишковий член балансу, який дорівнює сумі всіх неврахованих втрат.

Кількість теплоти наявної (введеної) (кВт): $Q = G_t \times (Q^p)_{\text{н}}$. Теплота (кВт), перетворена на корисну роботу, $Q_e = N_e$. Теплота (кВт), втрачена з охолоджувальною водою,

$$Q_{\text{охл}} = G_e \times c_e \times (t_2 - t_1), \quad (16)$$

де G_e – кількість води, що проходить через систему, кг/с; c_e – теплоємність води, кДж/(кг×К) [$c_e = 4,19$ кДж/(кг×К)]; t_2 і t_1 – температури води під час входу в систему і при виході з неї, °С.

Теплота (кВт), що втрачається з відпрацьованими газами

$$Q_{\Gamma} = G_m \times (V_p \times c_{\text{рг}} \times t_{\Gamma} - V_b \times c_{\text{рв}} \times t_b), \quad (17)$$

де G_m – витрата палива, кг/с; V_{Γ} і V_b – витрати газів і повітря, м³/кг; $c_{\text{рг}}$ і $c_{\text{рв}}$ – середні об'ємні теплоємності газів і повітря під час сталого тиску, кДж/(м³×К); t_p і t_b – температури відпрацьованих газів і повітря, °С.

Теплота, що втрачається внаслідок неповноти згорання палива, визначається дослідним шляхом. Залишковий член теплового балансу (кВт)

$$Q_{\text{ост}} = Q - (Q_e + Q_{\text{охл}} + Q_{\Gamma} + Q_{\text{н.с}}). \quad (18)$$

Тепловий баланс можна скласти у відсотках від всієї кількості введеної теплоти, тоді рівняння балансу прийме вигляд:

$$100\% = q_e + q_{\text{охл}} + q_{\Gamma} + q_{\text{н.с}} + q_{\text{ост}}, \quad (19)$$

де $q_e = (Q_e/Q \times 100\%)$; $q_{\text{охл}} = (Q_{\text{охл}}/Q) \times 100\%$; $q_{\Gamma} = (Q_{\Gamma}/Q) \times 100\%$, тощо.

Інновації. Останнім часом все більше використовують поршневі двигуни з примусовим наповненням циліндра повітрям

підвищеного тиску, тобто двигуни з наддувом. І перспективи двигунобудування пов'язані, на погляд багатьох вчених [1-6] з двигунами даного типу. По-перше, тут є величезний резерв невикористаних конструкторських можливостей; а по-друге, вважається, що великі перспективи в майбутньому є саме у цих двигунів, адже надув дозволяє збільшити заряд циліндра повітрям і, отже, кількість стиснутого палива, і тим самим підвищити потужність двигуна. Для приводу нагнітача в сучасних двигунах, зазвичай, використовують енергію відпрацьованих газів. У цьому випадку відпрацьовані в циліндрі газів, які мають у випускному колекторі підвищений тиск направляють у газову турбіну, що призводить до обертання компресора. Згідно зі схемою газотурбінного наддуву чотиритактного двигуна відпрацьовані газів з циліндрів двигуна надходять в газову турбіну, після якої відводяться в атмосферу. Відцентровий компресор, що обертається турбіною, засмоктує повітря з атмосфери і нагнітає його під тиском: 0,130...0,250 МПа в циліндри. Окрім використання енергії вихлопних газів, перевагою такої системи наддуву над приводом компресора від колінчастого вала є саморегулювання, яке полягає в тому, що зі збільшенням потужності двигуна відповідно зростають тиск і температура відпрацьованих газів, а, отже, потужність турбокомпресора. При цьому зростають тиск і кількість повітря, що ним подається. У двотактних двигунах турбокомпресор повинен мати вищу потужність, ніж у чотиритактних, оскільки під час продування частина повітря минає випускні вікна, не використовується для зарядки циліндра та знижує температуру випускних газів. Під час газотурбінного наддуву неможливий запуск дизеля. Враховуючи це, в двотактних двигунах зазвичай застосовують комбіновану систему наддуву з послідовною чи паралельною установкою компресора з газотурбінним і компресора з механічним приводом. За найбільш поширеною послідовною схемою комбінованого наддуву компресор з газотурбінним приводом проводить тільки часткове стискування повітря, після чого воно дотиснюється компресором, що приводиться в обертання

від вала двигуна. Використовуючи надув, можна підвищити потужність двигуна на 40 – 100 % і більше. На наш погляд, основним напрямом розвитку сучасних поршневих двигунів із займанням від стискування буде значне форсування їх за потужністю внаслідок використання високого надуву в поєднанні з охолодженням повітря після компресора.

У чотиритактних двигунах у результаті використання тиску надуву до 3,1...3,2 МПа у поєднанні з охолодженням повітря після компресора досягається середній ефективний тиск $P_e=18,2...20,2$ МПа. Привід компресора в цих двигунах газотурбінний. Потужність турбіни досягає 30% від потужності двигуна, тому підвищуються вимоги до ККД турбіни і компресора. Невід'ємним елементом системи надуву цих двигунів має бути охолоджувач повітря, встановлений після компресора. Охолодження повітря здійснюють водою, що циркулює за допомогою індивідуального водяного насоса по контуру:

повітроохолоджувач – радіатор для охолодження води атмосферним повітрям.

Перспективним напрямом розвитку поршневих двигунів внутрішнього згорання є повніше використання енергії випускних газів у турбіні, що забезпечує потужність компресора, потрібну для досягнення заданого тиску надуву. Надлишкова потужність у цьому випадку передається на колінчастий вал дизеля. Реалізація такої схеми найбільш можлива для чотиритактних двигунів.

3.1. Корпусні деталі (остов) двигуна

Елементи остову під час роботи двигуна навантажені силами тиску газів і силами інерції рухомих частин. Внаслідок цього, елементи остову мають бути пов'язані між собою у спільну жорстку систему, щоб уникнути неприпустимих деформацій окремих ланок.

Конструктивне оформлення остову залежить від загальної компоновки двигуна і його призначення. Розміри внутрішніх

порожнин визначаються переважно розмірами і траєкторією руху деталей кривошипно-шатунного механізму. Зовнішній контур і число нерухомих елементів остову залежать від числа циліндрів і їх розташування, від схеми механізму газорозподілу, положення розподільного вала, умов монтажу, обслуговування і т. п.

Конструкція остову, окрім забезпечення необхідної подовжньої та поперечної жорсткості та раціональної силової схеми і зовнішньої архітектурної форми, має бути досить простою, зручною у виготовленні та мати малу масу (маса металу, що витрачається на виготовлення остову, становить до 70 % загальної маси тихохідного двигуна і до 30 % швидкохідного).

Остов сучасних двигунів будують за різними силовими схемами. Силова схема – це схема передачі основних сил окремими елементами двигуна, а також двигуном і його опорами під час роботи.

На рис. 17 зображено переріз V-подібного дизеля, виконаного за схемою з несучими (силовими) шпильками. Така силова схема застосовується в двигунах різних класів, наприклад, автомобільних, тепловозних і судових. При цьому число площин рознімання між деталями корпусу може бути різним. Наявність великого числа горизонтальних площин рознімання спрощує виготовлення великих елементів корпусу, полегшує монтаж і обслуговування, але знижує його загальну жорсткість. Тому в двигунах площину рознімання між циліндрами і картером зазвичай не роблять. Циліндри і картер у цьому випадку виготовляють у вигляді спільної відливки, яка називається блок-картером. Двигун під час такої компоновки може мати рознімний або нерознімний блок-картер.

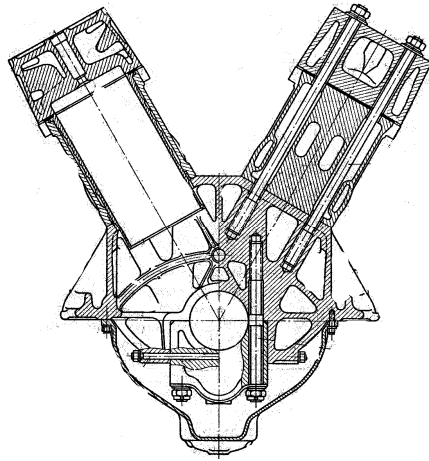


Рис. 17. Остов V-подібного дизеля з несучими шпильками

У двигунах без горизонтальної площини рознімання в картері колінчастий вал часто встановлюють на підшипниках кочення і вмонтовують в осьовому напрямі через отвори, що розточують в стінках картера. Нерознімний картер з отворами торців називають картером тунельного типу (рис. 18).

У автомобільних і тракторних двигунах, а також частково в швидкохідних суднових і стаціонарних двигунах зазвичай застосовують блок-картер з підвішуванням колінчастого вала до картера. На рис. 19 показано блок-картер швидкохідного транспортного двигуна, в якому циліндри і картер відлили у вигляді спільного блоку з підвішуванням колінчастого вала.

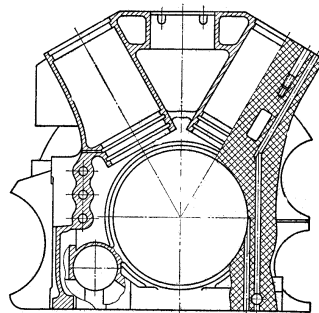


Рис. 18. Картер тунельного типу

Горизонтальну площину рознімання розташовують по осі колінчастого вала або нижче за неї. У поперечних перегородках картера є гнізда для підшипників. Колінчастий вал підвішується

знизу і підтримується масивними кришками підшипників (підвісками). Окремої фундаментної рами в таких конструкціях немає, замість неї знизу встановлюється легкий піддон, що не сприймає навантажень від сил, які діють під час роботи двигуна.

За конструкцією корінні підшипники діляться на підшипники ковзання і кочення. У поршневих двигунах внутрішнього згорання, за винятком мотоциклетних, деяких автомобільних, а також низки двигунів спеціального призначення, застосовуються підшипники ковзання.

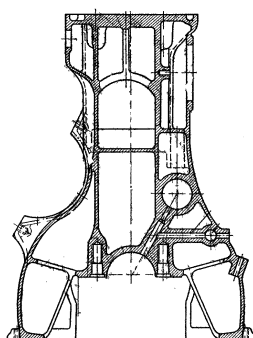


Рис. 19. Картер з підвішуванням колінчастого вала

Вкладиші виготовляють з чавуну, сталі або бронзи. Робочу поверхню, що контактує з шийками вала, покривають шаром антифрикційного сплаву. Залежно від співвідношення довжини вкладиша і його товщини розрізняють товсто- і тонкостінні вкладиші. Вкладиш роблять тільки із сталі і заливають шаром свинцевої бронзи завтовшки 0,3 - 0,7 мм, що допускає високі питомі навантаження на підшипники і високу температуру поверхонь. Широкого поширення набули також сталєвоалюмінієві вкладиші (рис. 20). Від осьового і подовжнього переміщень вкладиші фіксують штифтами або виступами, які відбортовані на вкладишах і входять у відповідні пази, що зроблені за допомогою фрезерування в гнізді рами і кришці підшипника.

Підшипник закривається кришкою. У підвісних підшипниках кришки (підвіски) роблять масивнішими. Підвіски виготовляють литими або кованими і кріплять їх до картера за допомогою

шпильок або болтів. Один з корінних підшипників, зазвичай розташований ближче до маховика, роблять упорним. Він обмежує осьові переміщення колінчастого вала. Для сприйняття осьових сил вкладиш упорного підшипника забезпечують заплечиками, залитими антифрикційним сплавом, або встановлюють упорні шайби в гніздах перегородки картера і в підвісці підшипника.

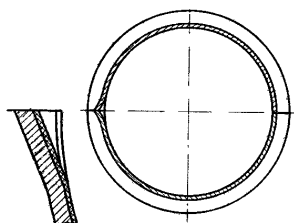


Рис. 20. Сталевоалюмінієві вкладиші

До найбільш відповідальних елементів остову належать циліндри. Внутрішня частина циліндра, обмежена з одного боку головкою (кришкою) циліндра, а з іншого – днищем поршня, утворює камеру згорання. Стінки циліндра служать напрямними для поршня під час його поворотно-поступального руху, тому внутрішня поверхня циліндра, так зване дзеркало циліндра, ретельно обробляється.

Під час роботи двигуна стінки циліндра знаходяться під впливом тиску газів, а також бічних сил тертя, що виникають під час руху поршня. Внаслідок цього циліндри мають бути досить міцними і жорсткими, щоб протистояти діючим силам, а внутрішня поверхня повинна мати гарну зносостійкість.

Циліндри нагріваються гарячими газами, а також у результаті тертя поршня і поршневих кілець об стінки. Щоб температура стінок циліндра і температурне напруження в них були в допустимих межах, застосовується охолодження циліндрів, яке може бути повітряним або рідинним. Особливо інтенсивне охолодження потрібне для частини циліндра, що найбільш нагрівається, – камери згорання.

Повітряне охолодження застосовується переважно на авіаційних і мотоциклетних двигунах, а інколи також на двигунах для легкових автомобілів і тракторів. Циліндри повітряним охолодженням виготовляються окремо один від одного і окремо від картера. Для збільшення поверхні охолодження стінки циліндра забезпечуються ребрами. Циліндри можуть бути виготовлені: суцільносталевими з механічно обробленими ребрами; чавунними з відлитими ребрами; складеними, зі сталевій гільзі з напресованою алюмінієвою муфтою з ребрами чи з розвальцьованими біля основи півкільцевими ребрами з алюмінію. У верхній найбільш нагрітій частині циліндра ребра роблять великої висоти. Ребра на поверхні циліндра розташовують відповідно до напрямку повітряного потоку, що омиває циліндр. Слід зазначити, що, окрім охолодження, ребра служать також для підвищення жорсткості циліндра.

Циліндри двигунів з повітряним охолодженням можуть бути у вигляді моноблока або бути складеними. Циліндр, зображений на рис. 21, виготовлений у вигляді загальної відливки, що складається з циліндра 1, головки 2, впускного і випускного патрубків і охолоджувальних ребер. У нижній частці циліндр має фланець з отворами для кріплення болтами до картера.

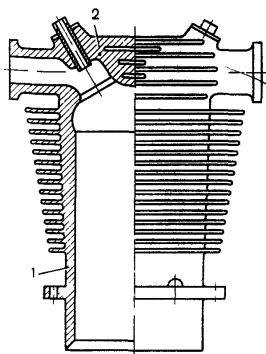


Рис. 21. Циліндр двигуна з повітряним охолодженням

При рідинному охолодженні, яке використовують у більшості двигунів різного призначення, довкола циліндрів створюється порожнина охолодження. У багаточиліндрових двигунах циліндри зазвичай виконують у вигляді загальної

відливки, тобто у вигляді блоку циліндрів, що підвищує жорсткість корпусу і зменшує його розміри і масу. Блоки циліндрів відливають з сірого чавуну або алюмінієвого сплаву. Чавунні блоки мають високу міцність і порівняно малу вартість. Блоки з алюмінієвого сплаву легко обробляються, мають невелику масу, але вартість їх вища за вартість чавунних.

Робочою поверхнею циліндра в чавунних блоках може слугувати оброблена поверхня самого блоку чи поверхня спеціальної вставної гільзи. Використання вставних гільз дає змогу збільшити термін служби блоку циліндрів шляхом заміни зношених гільз, а також виготовленням гільз з високоякісного зносостійкого чавуну чи сталі. Якщо вставлена в циліндр гільза не контактує з охолоджуючою рідиною, то її називають сухою гільзою (рис. 22, *а*). Сухі гільзи встановлюють переважно в двигунах з діаметром циліндра до 200 мм. Окрім сухих гільз, в циліндрах двигунів з рідинним охолодженням застосовуються мокрі гільзи. В цьому випадку зовнішня поверхня гільзи омивається охолоджуючою рідиною. Мокрі гільзи (рис. 22, *б*) встановлюють зверху в блок циліндрів.

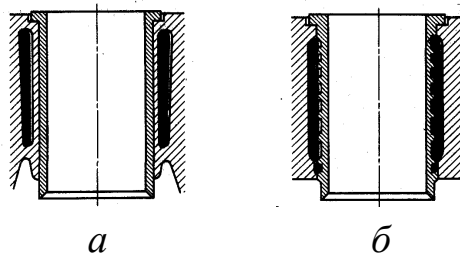


Рис. 22. Установка гільз циліндрів

Центрування гільзи в отворі блоку досягається за допомогою верхнього і нижнього циліндрових поясів. Опори гільзи можуть бути на різній висоті, необхідно лише забезпечити можливість її вільного подовження під час нагрівання. У середній частині циліндра між гільзою і блоком утворюється простір – порожнина охолодження, по якому циркулює охолоджуюча рідина. Для запобігання витoku води в картер нижній пояс гільзи ущільнюють гумовими кільцями.

Мокрі гільзи частіше застосовуються в двигунах, ніж сухі, завдяки кращій тепловіддачі охолоджуючої рідини. До недоліків мокрих гільз слід віднести зменшення загальної жорсткості та міцності блоку циліндрів і необхідність установки ущільнень.

Головку (кришку) циліндрів у вигляді загальної деталі на декілька циліндрів, як правило, виконують в автомобільних, тракторних і деяких інших двигунах. У двигунах тепловозів і судах на кожен циліндр встановлюють окрему кришку; такі головки застосовуються і в автомобільних двигунах, а також в тракторних з повітряним охолодженням.

Під час роботи двигуна головка навантажується силами тиску газу і попереднім затягуванням кріпильних шпильок або болтів. У стінках головки виникає також температурне напруження. Конструкція і форма головки багато в чому залежать від способу охолодження, розташування клапанів, форми камери згорання, форсунок і свічок запалення.

Головки циліндрів переважно роблять відокремленими, що полегшує їх виготовлення і обслуговування двигунів. На рис. 23 показана головка циліндрів чотиритактного дизеля. Охолоджуюча вода підводиться в порожнину головки з порожнини охолодження циліндра через перепускні вікна, а відводиться з найбільш високої точки головки, щоб уникнути утворення пароповітряних пробок.

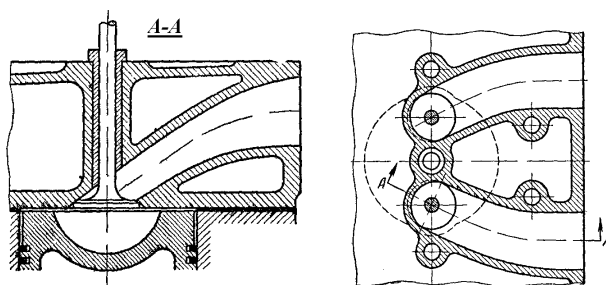


Рис. 23. Головка циліндрів чотиритактного дизеля

Головки циліндрів відливають з чавуну чи алюмінієвого сплаву, рідше – зі сталі. У судових і стаціонарних двигунах для виготовлення кришок циліндрів застосовується сірий чавун, в

двигунах підвищеної потужності – легований чавун, інколи їх роблять литими зі сталі чи складеними: сталева кована нижня стінка (днище) і лита чавунна верхня частина.

До циліндра головки кріпляться шпильками, болтами чи анкерними зв'язками, що проходять через остов двигуна. Стик між головкою і циліндрами, щоб уникнути прориву газу, ущільнюється прокладками, виготовленими з червоної міді, сталевого листа, мідно-азбестового матеріалу чи алюмінієвого сплаву. Інколи ущільнення стику досягається не за допомогою прокладок, а змінанням виступаючого поясочка.

3.2. Поршнева група

Поршнева група складається з поршня, поршневих кілець, поршневого пальця, деталей для утримання пальця від осьового переміщення, кріпильних деталей.

Поршень, що належить до найбільш відповідальних і напружених деталей двигуна, виконує такі функції:

- забезпечує необхідну форму камери згорання і герметичність простору всередині циліндра;
- передає силу тиску газів на шатун і стінку циліндра;
- керує відкриттям і закриттям вікон (виконує функції розподільного пристрою) в двотактних двигунах зі щілистою схемою газообміну.

На поршень діють механічні навантаження від тиску газів і сил інерції, а також високі теплові навантаження в період безпосереднього контакту його з гарячими газами під час згорання палива і розширення продуктів згорання. Додатково поршень нагрівається від тертя об стінки циліндра. Під час перегрівання поршня знижуються механічні властивості його матеріалу і зростає термічна напруга в ньому. Крім того, в цьому випадку погіршується наповнення циліндра свіжим зарядом, що веде до зменшення потужності двигуна, можливе заклинювання поршня в циліндрі, погіршується робота кільцевого ущільнення, а також з'являються

передчасні спалахи чи детонаційне згорання в двигунах із зовнішнім сумішеутворенням. Поршні двигунів внутрішнього згорання, окрім достатньої міцності і жорсткості, повинні мати меншу масу для зменшення сил інерції, високу теплопровідність та зносостійкість.

Основні елементи поршня – це днище і бічні стінки. Бічні стінки утворюють ущільнюючу (верхню) і направляючу (нижню) частини. Днище разом з ущільнюючою частиною утворюють головку поршня. Направляючу (тронкову) частину називають юбкою поршня.

На рис. 24, *а* показана конструкція поршня дизельного двигуна. Поршень схожий на стакан, форма днища якого визначає форму камери згорання. Днище сприймає тиск газів і тому має бути дуже міцним. Днище має відповідати формі і розташуванню струменів палива, що упорскується в камеру згорання.

У двигунах із зовнішнім сумішеутворенням і відносно невисоким ступенем стиску – найбільш поширений поршень з плоским днищем (рис. 24, *б*).

У двотактних двигунах зі щілистою схемою газообміну днищу надають форму, яка сприяє створенню потрібного напрямку руху продувального повітря.

На зовнішній поверхні головки поршня є канавки для поршневих кілець, які слугують для ущільнення циліндра від проривання газів і попадання мастила з картера в камеру згорання. На внутрішній поверхні юбки поршня є бобишки з отворами для установки поршневого пальця.

Для виготовлення поршнів використовують чавун, алюмінієві та магнієві сплави, а також сталь. Поршні, переважно роблять з чавуну і алюмінієвих сплавів.

Чавунні поршні відрізняються високою міцністю, зносостійкістю і малим коефіцієнтом лінійного розширення, але мають велику масу.

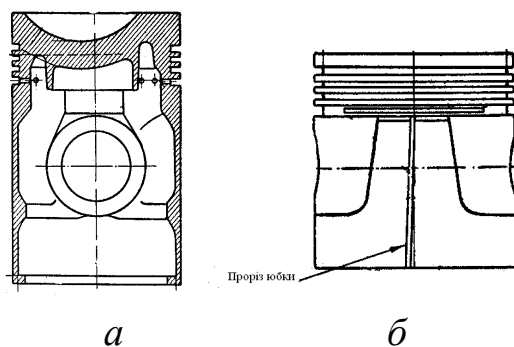


Рис. 24. Поршні двигунів

Поршні з алюмінієвих сплавів мають меншу міцність і зносостійкість, але значно легші за чавунні і застосовуються в двигунах з високою частотою обертання. Поршень, виготовлений з алюмінієвого сплаву, незважаючи на велику товщину стінок, на 25-30% легше за чавунний. Теплопровідність алюмінієвих сплавів у 3-4 рази вища, ніж у чавуна, тому температура днища поршнів з алюмінієвих сплавів нижча, ніж температура днища чавунних поршнів. У результаті цього нижче температура заряду, краще наповнення циліндра і є можливість здійснити сильне стискування в двигунах із зовнішнім сумішеутворенням. Слід зазначити також, що внаслідок меншого коефіцієнта тертя алюмінієвих сплавів знижується потужність, що витрачається на подолання тертя поршнів у циліндрі.

Істотним недоліком алюмінієвих сплавів є відносно високий коефіцієнт лінійного розширення (у 2-2,5 рази більше, ніж у чавуна), тому поршні з цих сплавів треба встановлювати в циліндрі з великим зазором. Значні зазори утруднюють пуск двигуна і викликають стукіт під час роботи непрогрітого двигуна, а також під час його роботи з малим навантаженням.

У процесі експлуатації двигуна більш за все нагрівається головка поршня. Тому її діаметр роблять, зазвичай, дещо меншим діаметра юбки. Для кращого припрацювання стінки поршнів з алюмінієвих сплавів і чавунних поршнів часто покривають шаром олова завтовшки близько 0,01-0,1 мм.

Поршні двигунів з крейцкопфним кривошипно-шатунним механізмом, на відміну від поршнів двигунів з тронковим кривошипно-шатунним механізмом, розвантажені від нормальної сили. Тому юбка поршня може бути невеликої довжини. Кріплення поршня зі штоком жорстке, без поршневого пальця.

Охолодження поршнів здійснюється в більшості випадків маслом. У двигунах з тронковим кривошипно-шатунним механізмом поршні охолоджуються струменем масла із системи змащення, направленим на внутрішній бік днища через канал в шатуні та сопло, яке встановлене у верхній головці шатуна.

Поршневі кільця за своїм призначенням діляться на компресійні (ущільнюючі) та маслоснімні (маслоскидальні).

Компресійні кільця ставлять для попередження прориву газів у картер під час стискування і розширення. Крім того, вони служать для відведення теплоти від поршня. Компресійні кільця працюють в тяжких умовах, здійснюючи зворотно-поступальний рух за високих навантажень, швидкості ковзання і температури. Кільця нагріваються від контакту з гарячими газами і нагрітими стінками поршня, а також унаслідок тертя об стінки циліндра. Робота тертя поршневих кілець становить приблизно 40-50% механічних втрат у двигуні.

Кільце повинно щільно притискатися до внутрішньої поверхні циліндра. Для цього кільце виготовляють розрізним, його діаметр у вільному стані дещо більший діаметра циліндра, причому радіус кривизни поршневого кільця у вільному стані має бути змінним. Коли кільце стисле і вставлене в циліндр, воно набуває циліндрової форми і чинить тиск на стінки, який становить 0,05-0,30 МПа і більше. Під час роботи тиск кільця на стінки збільшується, оскільки гази, які проникають через зазори між кільцем і поршнем притискають кільце до стінок циліндра. На поршні встановлюють декілька компресійних кілець. На рис. 25 показана схема їх ущільнюючої дії.

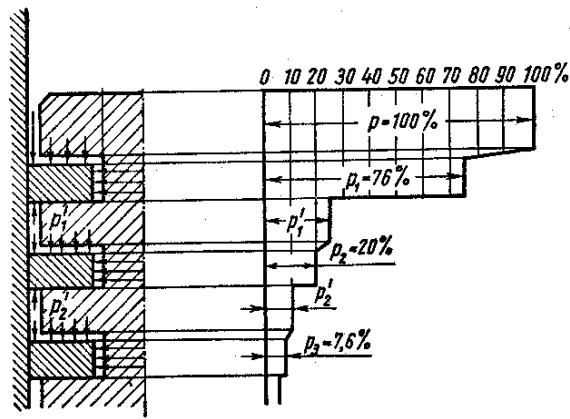


Рис. 25. Ущільнювальна дія поршневих кілець

Дослідні дані, наведені на рис. 26, показують, що за наявності трьох компресійних кілець на поршні тиск після третього кільця становить всього лише 7,6% від тиску в циліндрі. У двигунах із зовнішнім сумішеутворенням, з відносно невисоким тиском стискування і розширення поршні мають по два – чотири компресійні кільця. У дизелях внаслідок вищого тиску в циліндрі кількість компресійних кілець становить три – шість. Необхідність в більшій кількості компресійних кілець в дизелях пов'язана також з умовами пуску. При низькій частоті обертання вала під час пуску необхідну температуру легко забезпечити за великої кількості компресійних кілець через менший виток стиснутого повітря.

Для виготовлення компресійних кілець застосовується сірий чавун з підвищеним вмістом фосфору і з присадками хрому, нікелю чи молібдену, що додають матеріалу кільця необхідну міцність, в'язкість і добрі антифрикційні властивості. Для кращого припрацювання і підвищення його зносостійкості на кільце наносять різні покриття з олова чи свинцю, застосовують пористе хромування і тому подібне. Кільця найчастіше виготовляють прямокутного перерізу з різним відношенням висоти кільця до радіальної товщини. Розріз кільця чи так званий замок може бути прямим, косим або ступінчастим. Під час надягання кілець на поршень замки у окремих кілець зміщують один до одного на $120-90^\circ$. У двотактних двигунах зі щілюстою схемою газообміну, щоб уникнути поломки кілець, їх положення на поршні, зазвичай фіксують стопорними штифтами.

Маслознімні кільця слугують для видалення надлишку масла з робочої поверхні гільзи і попередження можливості потрапляння його до камери згорання, особливо в двигунах з тронковим кривошипно-шатунним механізмом, унаслідок розбризкування масла. Частина масла, що потрапило на стінку циліндра, в результаті так званої насосної дії компресійних кілець вичавлюється в камеру згорання і викликає не лише зайву витрату змащувального матеріалу, але і підвищене нагароутворення, а також закоксування, особливо верхніх кілець. Насосна дія компресійних кілець показана на рис. 26.

Під час руху поршня вниз кільця притискаються до верхніх торців поршневих канавок, і масло зі стінок циліндра потрапляє в нижні зазори торців. При зворотному русі поршня кільця переміщуються в канавках і вичавлюють масло через радіальний зазор у верхній зазор торця, і далі – в простір над кільцями.

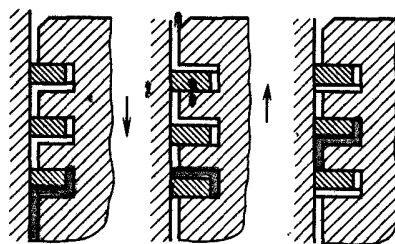


Рис. 26. Насосна дія поршневих кілець

На поршні встановлюють одне-три маслознімні кільця. Їх розташовують на кінці напямної частини (юбки) поршня і на його головці нижче за компресійні кільця. Для скидання масла з дзеркала гільзи зовнішню поверхню кільця роблять конічною чи з фаскою, яка обернена убік камери згорання. Під час руху вгору кільця “спливають” на масляному шарі, під час руху вниз гостра кромка зіскоблює масло. Для видалення масла, що збирається під кромкою, в стінці поршня просвердлюють радіальні отвори. Часто в маслознімних кільцях роблять також канавки з отворами. Форма компресійних і маслознімних кілець показана відповідно на рис. 27 а, б.

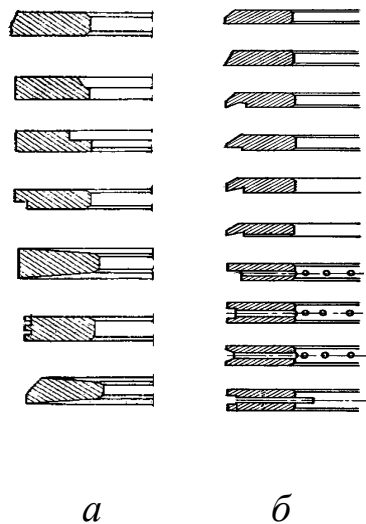


Рис. 27. Форма компресійних (а)
і маслознімних (б) кілець

Поршневий палець призначений для шарнірного з'єднання поршня з шатуном в тронковому кривошипно-шатунному механізмі. Перетин пальців може бути суцільним або кільцевим, що зменшує масу пальця. Палець кінцями встановлюють в бобишках поршня, середню частину його охоплює підшипник верхньої головки шатуна.

У двигунах старих конструкцій для фіксації від осьового переміщення палець запресовували до гнізда і стопорили болтом. Від провертання палець утримувався шпонкою. Істотним недоліком такої установки пальця було те, що нагрівання пальця викликало деформацію юбки, а це спричинювало заклинювання поршня.

Тому в сучасних двигунах широке застосування має так званий плаваючий палець, який може вільно повертатися як у верхній головці шатуна, так і в бобишках поршня. Від осьового переміщення палець фіксують пружинними стопорними кільцями. Внаслідок наявності деякої свободи переміщення і можливості повертатися довкола своєї осі під час роботи плаваючий палець зношується менше і зношення виходить більш рівномірним по його поверхні.

Під час роботи на поршневий палець діють великі сили, змінні за величиною і напрямом, тому для його виготовлення використовують високоякісну вуглецеву або леговану сталь. Робочу поверхню пальця, зазвичай, цементують з подальшою термічною обробкою для додання їй більшої твердості.

Лекція 4. КРИВОШИПНО-ШАТУННИЙ МЕХАНІЗМ

Кривошипно-шатунний механізм (КШМ) перетворює поворотно-поступальний рух поршня в обертальний рух колінчастого валу. Деталі КШМ беруть участь у здійсненні робочого процесу і сприймають механічні та теплові навантаження.

Кривошипно-шатунний механізм – це основний робочий механізм поршневого двигуна внутрішнього згорання. На рис. 28 показані схеми КШМ, які використовують у двигунах.

Тронковий кривошипно-шатунний механізм (рис. 28, *а*) найчастіше застосовується в двигунах простої дії. Поступальна хода поршня перетворюється в обертальний рух колінчастого вала за допомогою шатуна, зчленованого шарнірно верхньою головкою з поршневим пальцем і нижньою головкою з шийкою колінвала. Робоча порожнина розташовується над поршнем в циліндрі, закритому кришкою.

Крейцкопфний КШМ зображений на рис. 28, *б*. Поршень в даному механізмі з'єднується з шатуном за допомогою жорстко з'єданого з поршнем штока і крейцкопфа, що здійснюють поступальну ходу. При такому зчленуванні поршень розвантажується від нормальної сили, оскільки її дія переноситься на крейцкопф; внаслідок цього стає можливим створення другої робочої порожнини в циліндрі під поршнем. При цьому шток повинен проходити через нижню кришку зі спеціальним сальником, який забезпечує герметичність порожнини під поршнем. Крейцкопфна система КШМ застосовується в тихохідних двигунах простої дії великої потужності, а також у двигунах подвійної дії.

Тронковий КШМ двигуна з V-подібним розташуванням показаний на рис. 28, в.

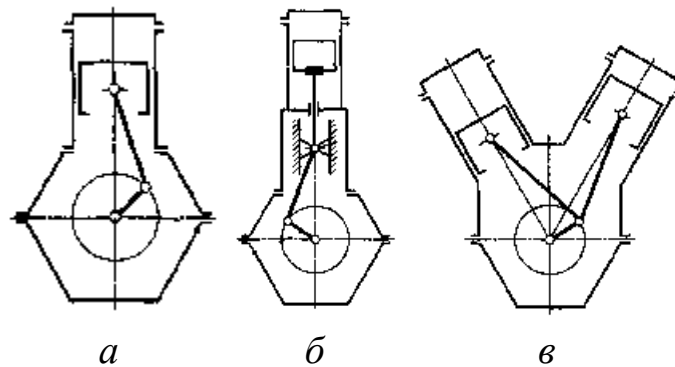


Рис. 28. Схеми кривошипно-шатунних механізмів двигунів внутрішнього згорання:
a – тронковий ; *б* – крейцкопфний; *в* – тронковий з V-подібним розташуванням

На автомобільних і тракторних двигунах застосовують центральні (аксіальні) (рис. 29, *a*), зміщені (дезаксіальні) (рис. 29, *б*) тронкові КШМ.

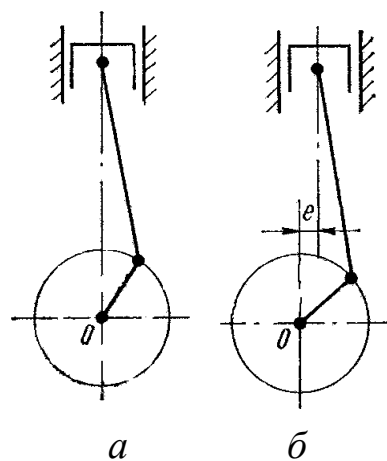


Рис. 29. Схеми тронкових кривошипно-шатунних механізмів двигунів внутрішнього згорання:
a – аксіальна ; *б* – дезаксіальна

У центральному КШМ вісь циліндра перетинає вісь колінчастого вала. У дезаксіальному КШМ вісь циліндра не перетинає вісь колінчастого вала, а зміщена відносно неї на деяку

відстань e . Зсув осі циліндра зменшує різницю тиску на правий і лівий боки циліндра. Під час робочого ходу тиск поршня на стінку циліндра зменшується, а під час ходу стискування – збільшується, що загалом дає більш рівномірне зношення двигуна. До переваг дезаксіального механізму слід віднести меншу швидкість поршня біля верхньої мертвої точки (ВМТ), завдяки чому покращується процес згорання, який наближається до умов згорання у разі постійного об'єма. Величина зсуву e , зазвичай, відкладається у напрямку обертання колінчастого вала. Для сучасних двигунів відносний зсув або дезаксаж – відношення зсуву e до радіусу кривошипа r знаходиться в межах 0,04-0,10. Найбільшого поширення набув центральний КШМ, кінематичний і динамічний, аналіз роботи якого буде наведено далі.

4.1. Група шатуна

Група шатуна містить шатун, втулки, вкладиші, болти (або шпильки) з гайками, елементи кріплення вкладишів і елементи шплинтування гайок.

Шатун зв'язує колінвал з поршнем у тронкових двигунах або з повзунами в крейцкопфних двигунах. Під час роботи шатун здійснює складний розгольдувальний рух і піддається змінним за величиною і напрямком навантаженням від тиску газів і сил інерції. Сили, що діють на шатун, викликають в ньому складні деформації: стискування, розтягування, подовжній і поперечний вигини, тому шатун має бути міцним і жорстким за якомога меншої маси. Матеріалом для шатунів, зазвичай, слугує вуглецева чи легована сталь, рідше – алюмінієвий сплав. Шатуни виготовляють переважно ковкою в штампах з подальшою механічною і термічною обробкою.

Залежно від типу двигуна і розташування циліндрів, шатуни можна поділити на три групи:

- шатуни однорядних двигунів з тронковим КШМ;
- шатуни дворядних двигунів (V -, W -, VR -подібних);
- шатуни двигунів з крейцкопфним КШМ.

Основні елементи конструкції шатуна тронкового КШМ такі: верхня (чи поршнева) головка шатуна, стрижень (або тіло) і нижня головка.

Верхню головку шатуна, яка охоплює поршковий палець, зазвичай роблять нерознімної циліндричної форми. У неї запресовують бронзову втулку чи вставляють сталеві вкладиші з тонким шаром антифрикційного сплаву, які є підшипником поршневого пальця. Інколи втулку у верхній головці шатуна стопорять болтом, щоб запобігти її провертанню і переміщенню в осьовому напрямку (рис. 30).

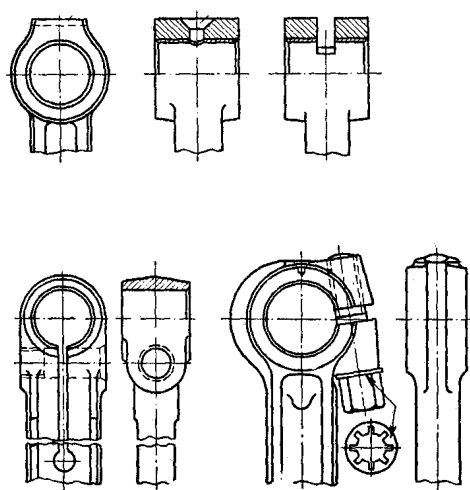


Рис. 30. Конструкції верхніх головок шатуна

Масло для змащування підшипника верхньої головки шатуна підводиться від шатунової шийки колінчастого вала по каналу в стрижні шатуна або закидається під час обертання вала. Інколи у верхню головку шатуна ставлять голчастий підшипник, проте, через ударне навантаження, підшипники кочення не набули широкого використання.

Стрижень шатуна, що з'єднує його верхню і нижню головки, може бути різної форми в перерізі (рис. 31). У тихохідних двигунах переріз стрижня часто має циліндричну або овальну форму. Стрижні з таким перерізом прості у виготовленні, але кругла форма нерациональна, оскільки за однакової жорсткості шатун з круглим

стрижнем важчий. Для зменшення маси круглий стрижень роблять, зазвичай, порожнім всередині. Щоб уникнути концентрації напруги, переходи від стрижня до головок виконують плавнішими. Оскільки нижня головка завжди значно більша верхньої, поперечний переріз стрижня має поступово збільшуватися від верхньої головки до нижньої. У швидкохідних двигунах стрижень шатуна виготовляють переважно двотаврового перерізу; в цьому випадку забезпечується найбільша жорсткість деталі в площині кочення за найменшої маси. Для підведення масла до підшипника поршневого пальця переважно по всій довжині стрижня висвердлюють отвір діаметром 6-8 мм.

Нижню головку шатуна (рис. 32) як правило, роблять рознімною. Вона має розміри, які дозволяють виймати поршень з шатуном через циліндр. Роз'єднування головки зазвичай розташовують в площині осі шатунової шийки. За великого діаметра шатунових шийок нижню голівку шатуна інколи виготовляють з косим роз'єднувачем для полегшення демонтажу шатуна через циліндр.

Нерознімні нижні головки, як виняток, застосовують тільки в двигунах, колінчасті вали яких роблять рознімними, а також у разі вживання підшипників кочення (мотоциклетні, зіркоподібні та інші двигуни).

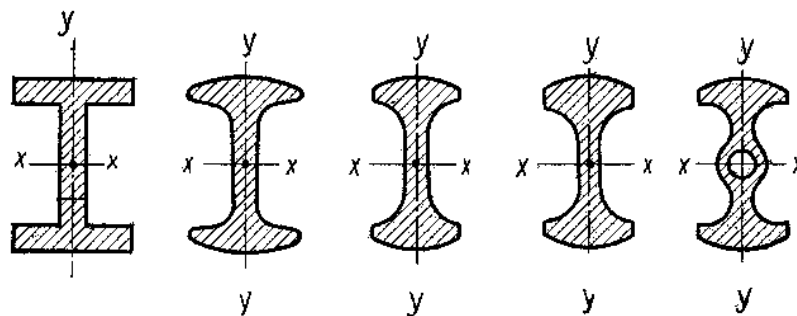


Рис. 31. Перерізи стрижня шатуна

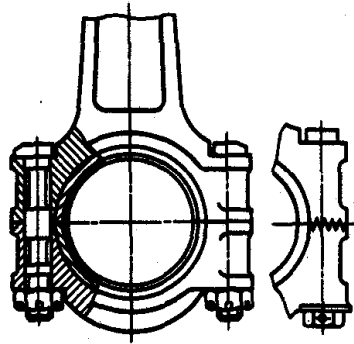


Рис. 32. Конструкції нижніх головок шатуна

Кришка шатуна – це нижня частина його головки. Вона може бути зафіксована до верхньої різними способами: фіксуючим поясочком біля шатунових болтів, штифтами, буртиками на кришці, шліцами в порожнині стику. Нижню головку шатуна або безпосередньо заливають антифрикційним сплавом, або забезпечують вкладишами із заливкою. Для регулювання зазору в шатунному підшипнику в площині рознімання нижньої головки шатуна двигунів великих розмірів поміщають набір прокладок, які калібрують.

Шатунові підшипники, так само як і корінні, мають вигляд товсто- або тонкостінних вкладишів з бабітовою або свинцево-бронзовою заливкою, а також сталевобалюмінієвих вкладишів. Від провертання і зсуву в осьовому напрямку вкладиші підшипника фіксують штифтами чи виступами, які входять у відповідні пази в кришці.

Шатунові болти для кріплення рознімних кривошипних голівок шатуна зазнають змінних навантажень. Основним навантаженням є сила інерції поступально рухомих частин і відцентрова сила інерції маси частини шатуна, що обертається, за винятком маси кришки. Сила попереднього затягування болтів має забезпечувати щільність стику і значно перевищувати за величиною силу, яка прагне розкрити стик. За недостатньої жорсткості шатунної головки і неточності її виготовлення, опорні поверхні головки і гайки шатунного болта перекошуються, що викликає

додаткове напруження від вигину болта. Обрив шатунового болта на працюючому двигуні зазвичай викликає руйнування деталей КШМ і корпусу.

У дворядних *V*-, *VR*- і *W*-подібних двигунах з нерознімним колінчастим валом можливі три способи розміщення шатунів на колінчастому валу.

1. *Зчленовані шатуни* (рис. 33). Нижня головка головного шатуна має косий роз'єднувач до осі шатуна. Кришка кріпиться до голівки шпильками. У верхній частині нижньої головки є дві проушини, розташовані під кутом, який відповідає куту розвалу циліндрів двигуна. Причіпний шатун забезпечений нерознімною нижньою головкою з бронзовою втулкою. Зчленування нижньої головки причіпного шатуна з головним здійснюється за допомогою пальця, встановленого у вушках головного шатуна. Масло до робочої поверхні бронзової втулки причіпного шатуна підводиться від головного шатуна за системою отворів і через внутрішню порожнину пальця.

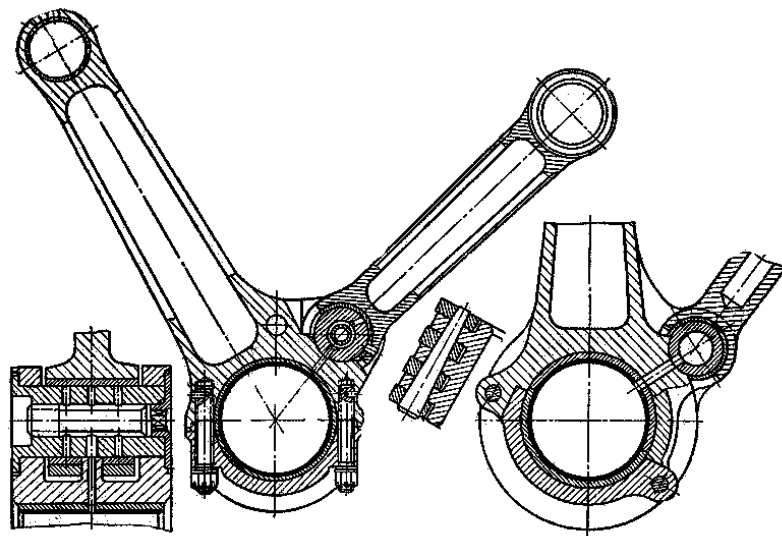


Рис. 33. Зчленовані шатуни

2. *Центральні шатуни* (рис. 34). Нижню головку головного шатуна виконують у вигляді вилки (рис. 34, б). Дві відокремлені нижні кришки охоплюють сталевий розрізний вкладиш шатунного підшипника (рис. 34, а). Заливання антифрикційним сплавом у

вкладишах здійснюється по всій внутрішній поверхні, а також посередині зовнішній поверхні. У розвилку головного шатуна входить нижня рознімна головка внутрішнього шатуна (рис. 34, в), яка охоплює середній пояс вкладиша.

3. *Зміщені шатуни.* В цьому випадку на одній спільній шатуновій шийці поруч розташовано дві нижні головки шатунів нормального типу, що застосовуються в однорядних двигунах.

Перевагою зчленованих шатунів є підвищена жорсткість нижньої головки. До недоліків слід віднести різний хід поршнів, з'єднаних з головними і причіпними шатунами, і складність конструкції зчленованих шатунів. Центральні шатуни забезпечують однаковий хід поршнів правого і лівого ряду циліндрів, вони є також складні у виготовленні і не мають достатньої жорсткості. У разі застосування зміщених шатунів доводиться зміщувати ряди циліндрів в осьовому напрямку один до одного, що збільшує довжину двигуна і ускладнює конструкцію передачі механізму газорозподілу. Проте в сучасних двигунах часто застосовують зміщені шатуни.

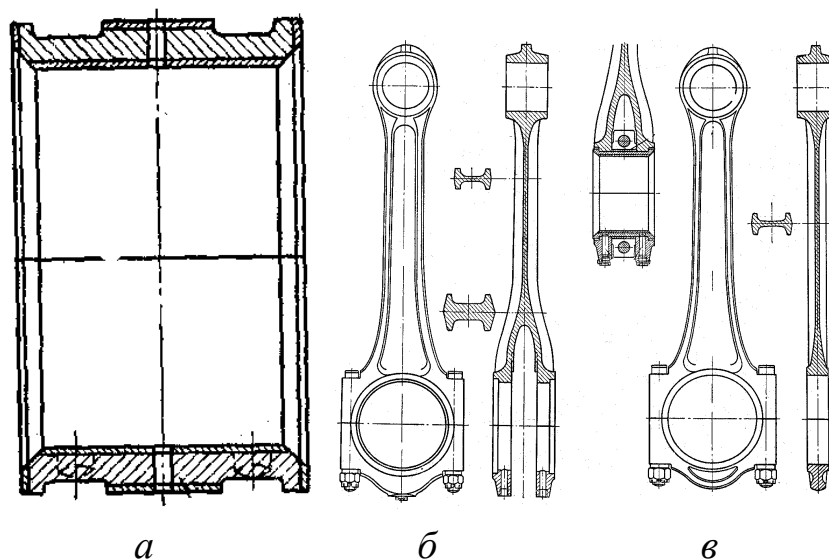


Рис. 34. Центральні шатуни:

а – випуски шатунного підшипника; б – головний шатун;
в – внутрішній шатун

У КШМ крейцкопфного типу шатун зчленовується з поршнем через шток і крейцкопф (повзун). З головкою поршня шток з'єднується за допомогою фланця, викованого разом з ним. Крейцкопф – це сталевий корпус з двома цапфами для з'єднання з верхньою головкою шатуна, яка має вигляд вилки. Шток поршня кріпиться до крейцкопфа. Крім того, до крейцкопфа болтами приєднується один або два башмаки з плоскою чи циліндричною підшоною, залитою антифрикційним сплавом. Башмаки рухаються по напрямних крейцкопфа. Зазвичай верхні головки вилки шатуна роблять рознімними з кришками, які кріпляться болтами. До верхніх головок вставляють вкладиші, залиті антифрикційним сплавом.

4.2. Колінчастий вал і маховик

Колінчастий вал належить до найбільш відповідальних, напружених і дорогих деталей двигуна. Під час роботи двигуна вал навантажується силами тиску газів, а також силами інерції деталей, які рухаються зворотно-поступально і обертаються, що викликає значну напругу кручення і напруги на вигин. Крім того, виникає напруга від крутильних коливань. Шийки вала зазнають змінного тиску, що зумовлює значну роботу тертя і знос шийок. Внаслідок цього колінчастий вал двигуна повинен мати високу міцність, жорсткість і зносостійкість поверхонь (шийок), що труться, за відносно невеликої маси (маса вала становить 7-15% маси двигуна).

Колінчасті вали виготовляють, зазвичай, з якісних вуглецевих або легованих сталей кування або штампуванням. Застосовують також литі вали з високоміцного чавуну і сталі.

На рис. 35 показана конструкція колінчастого вала двигуна. Колінчастий вал має корінні 4 і шатунні 3 шийки. Останні розташовані під певним кутом одна до одної. Щоки 2 вала виконано як одне ціле з противагами 6. У шатунних шийках є порожнини для додаткового відцентрового очищення масла. Осьові сили

сприймаються півкільцями, розташованими в розточуванні блокартера і кришці корінного підшипника. До фланця 5 кріпиться маховик 1.

Відносне розташування колін на валу має відповідати вимогам рівномірності ходу і зрівноваженості двигуна.

Найбільш навантажені колінчасті вали дизелів швидкістю наростання тиску і значними масами деталей КШН. Як правило, число корінних опор колінчастих валів дизелів на одну більше числа шатунних шийок. У менш навантажених (карбюраторних) двигунах інколи застосовують вали, що мають корінні опори через два коліна, що спрощує будову двигуна і зменшує його довжину. Більшість валів для зрівноваження відцентрових сил забезпечується противагами. Противаги виготовляють як одне ціле зі щоками або відокремленими. Відокремлені противаги кріплять до щоки шпильками, болтами або за допомогою шипового з'єднання з конічним пальцем. Більшість колінчастих валів є нерознімними, тільки у великих крейцкопфних двигунах, а також в мотоциклетних двигунах малої потужності застосовуються складальні конструкції колінчастого вала.

Маховик служить для виведення поршнів з мертвих точок і зменшення нерівномірності обертання колінчастого вала.

Накопичена кінетична енергія полегшує роботу двигуна на початку зрушення з місця і подоланні короточасних перевантажень. Маховик – масивний литий диск, який відливають з чавуну. Він кріпиться болтами і фіксується штифтами на фланці колінчастого вала або безпосередньо на його хвостовику. На ободі маховика встановлений зубчастий вінець, який передає колінчастому валу момент від пускового пристрою.

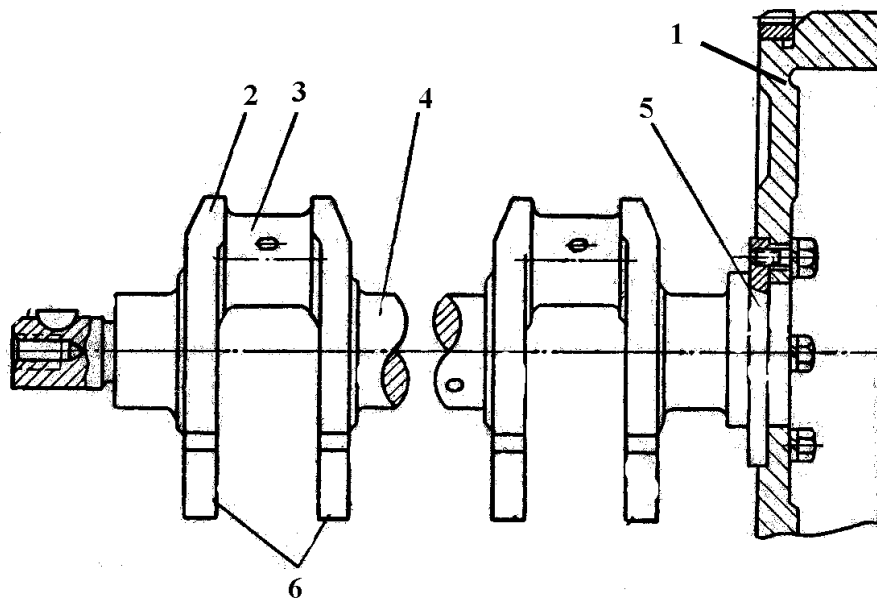


Рис. 35. Конструкція колінчастого вала двигуна

Розміри і маса маховика залежать від частоти обертання і кількості циліндрів. Зі збільшенням частоти обертання кількість кінетичної енергії підвищується, тому біля швидкохідних двигунів маса і розміри маховика менші. Нерівномірність обертання колінчастого вала зменшується зі збільшенням кількості циліндрів, отже, чим більше циліндрів, тим легший маховик двигуна.

Лекція 5. ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИЙ МЕХАНІЗМ

Газорозподільний механізм (ГРМ) призначений для здійснення в певній послідовності випускання продуктів згорання і впускання свіжого заряду. Газорозподільний механізм складається з впускних і випускних органів і деталей, що передають до них рух від колінчастого вала.

Залежно від конструкції органів і приводів, газорозподільні механізми можуть бути двох основних видів: клапанні та безклапанні.

Безклапанні ГРМ можуть бути: золотниковими і гільзовими. На рис. 36 наведено схему гільзового ГРМ, запропоновану Чарльзом Найтом у 1907 році.

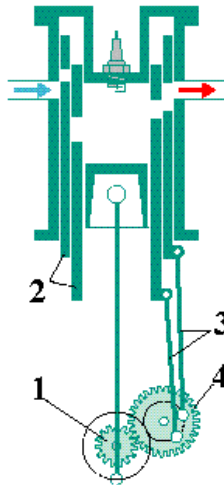


Рис. 36. Схема гільзового газорозподільного механізму Чарльза Найта:
 1 – колінчастий вал; 2 – гільзи; 3 – шатуни приводу гільз; 4 – розподільний вал

Незважаючи на низку переваг – можливість забезпечення великих прохідних перерізів впускних і випускних отворів; кращі умови охолодження і можливість у зв'язку з цим деякого підвищення ступеня стискування в бензинових двигунах; безшумність роботи – золотникові механізми газорозподілу не набули поширення через конструктивну складність, дороге виготовлення і ремонт чотиритактних ДВЗ. Тому золотникові механізми газорозподілу розглядати у цьому виданні не будемо.

У двотактних ДВЗ часто як золотник використовується поршень. Такий газорозподіл може бути названий золотниковим, хоча власне механізм газорозподілу в разі щілистого продування відсутній і його замінює КШМ.

У чотиритактних автотракторних двигунах широкого поширення набули клапанні механізми газорозподілу.

У деяких двигунах для забезпечення надійної роботи на високих обертах застосовуються безпружинні механізми газорозподілу з примусовим відкриттям і закриттям клапанів, або так звані десмодромні механізми (рис. 37). Примусове відкриття і закриття клапанів здійснюється від окремих кулачків або електромагнітами з дуже великими прискореннями, що дозволяє значно збільшити коефіцієнт наповнення двигуна.

Найбільш широкого поширення в автотракторних двигунах набули пружинні клапанні механізми газорозподілу, конструктивний огляд яких, залежно від розташування клапанів, положення і приводу розподільного вала, розглянемо далі.

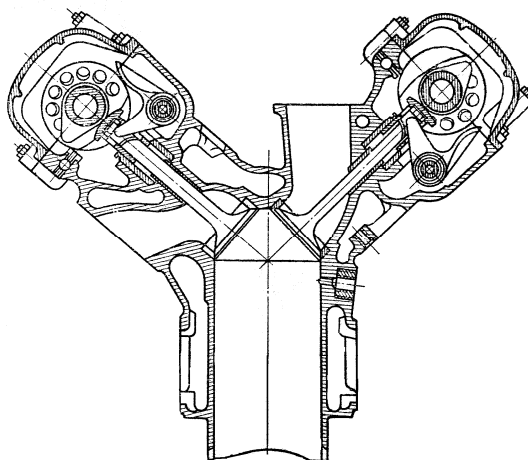


Рис. 37. Десмодромний газорозподільний механізм

Розташування клапанів. У дизелях можливе тільки верхнє розташування клапанів, оскільки відносно малий об'єм камери згорання, що виходить за високих значень ступеня стискування, не дозволяє розмістити клапани збоку циліндра. У бензинових двигунах можливе як верхнє, так і нижнє розташування клапанів.

У разі верхнього розташування клапанів камера згорання виходить компактнішою, з відносно малою поверхнею охолодження, унаслідок чого зменшуються втрати в системі охолодження і збільшується індикаторний ККД двигуна.

Компактність камери згорання зменшує небезпеку детонації та дозволяє за того ж октанового числа бензину збільшити ступінь стискування приблизно на пів-одиниці порівняно з двигунами, що мають нижні клапани, що також робить позитивний вплив на збільшення індикаторного ККД. Усе це, а також використання високооктанового бензину дозволяє на сьогодні досягти високої паливної економічності автомобільних бензинових двигунів, що наближається до економічності дизелів з розділеними камерами згорання.

Проста форма впускного каналу з малим гідравлічним опором, а також можливість збільшення площі прохідного перерізу клапанів за рахунок збільшення числа клапанів або розташування їх під кутом до осі циліндра підвищують коефіцієнт наповнення на 5-7%, що створює ширші можливості для форсування двигуна за кількістю обертів.

До недоліків верхнього розташування клапанів слід віднести складність механізму газорозподілу у разі нижнього розташування розподільного вала або складність приводу до нього у разі верхнього розташування розподільного вала, а також збільшення висоти головки циліндра, що у разі вертикального розташування циліндрів приводить до збільшення висоти, а горизонтального – ширини двигуна. У короткохідних двигунах останній недолік впливає менше унаслідок невеликої висоти блоку і картера.

У разі нижнього розташування клапанів висота головки циліндрів і двигуна загалом зменшується, а механізм газорозподілу і привід до розподільного вала спрощуються. Проте через менш компактну форму камери згорання економічні показники таких двигунів нижчі, а неможливість забезпечити високі значення коефіцієнта наповнення за високої кількості обертів обмежує ступінь форсування. Обмежується також можливість збільшення ступеня стискування (у разі ступеня стискування понад 7,5 вже виникають труднощі в компонованні камери згорання).

У наш час нижнє розташування клапанів рідко застосовується в двигунах з порівняно низьким ступенем стискування і невеликою кількістю обертів, для яких основною вимогою є простота конструкції, технології виготовлення і ремонту.

Нижні клапани (рис. 38) розміщуються з одного боку блока циліндрів у один ряд і приводяться в дію через штовхачі від спільного для всіх клапанів блока розподільного вала.

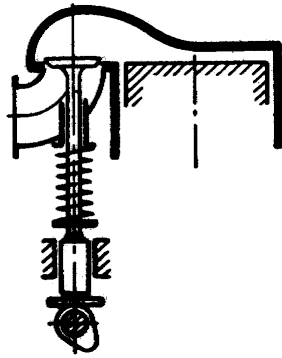


Рис. 38. Нижнє розташування клапанів (SV)

Чергування впускних і випускних клапанів може бути прийняте різним. Попарне розташування однойменних клапанів дає змогу зменшити кількість каналів у блоці та спростити трубопроводи, але у разі такого розташування збільшується нерівномірність зношення циліндра по колу через термічні деформації. У такому разі застосовують змішане чергування клапанів, при якому поруч можуть розташовуватися як однойменні, так і різнойменні клапани сусідніх циліндрів (рис. 39).

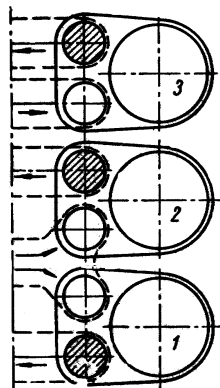


Рис. 39. Змішане чергування клапанів

Якщо поруч розташовані впускні клапани сусідніх циліндрів, то їх канали можуть бути об'єднані; канали випускних клапанів роблять індивідуальними, щоб забезпечити краще охолодження клапанів.

Верхні клапани можуть мати різне розташування, вибір якого пов'язаний з формою камери згорання та конструкцією механізму газорозподілу.

Два клапани в циліндрі можуть бути розташовані в один ряд уздовж осі блока або в два ряди. У разі розташування в один ряд клапани зазвичай чергуються так само, як і клапани при нижньому розташуванні (рис. 40). У бензинових двигунах обидва трубопроводи, як правило, розміщують з одного боку головки, що забезпечує підігрівання впускного трубопроводу та інтенсивніше випарювання палива.

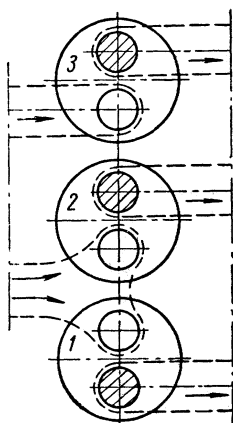


Рис. 40. Розташування двох верхніх клапанів в один ряд

У дизелях трубопроводи часто розташовують по обидва боки головки, при цьому зменшується підігрівання повітря, що підвищує коефіцієнт наповнення.

Привід клапанів може бути здійснено або безпосередньо від верхнього розподільного вала, розташованого над ними (рис. 41), або від нижнього вала, розміщеного в блоці чи у верхній половині картера через штовхачі, штанги та коромисла (рис. 42).

Останній варіант часто використовують у дворядних V-подібних двигунах, в яких від одного розподільного вала, розташованого в розвалі блоків, приводяться в рух клапани всіх циліндрів.

Під час розташування у два ряди впускні та випускні клапани розташовують в різних рядах. Відповідні колектори розташовують з різних боків головки (рис. 43).

У двигунах з повітряним охолодженням за такого розташування клапанів є великі можливості для влаштування ребер на випускних патрубках.

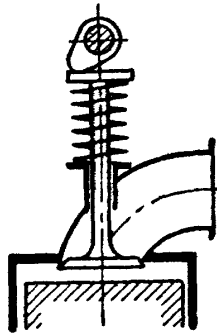


Рис. 41. Верхнє розташування клапанів, верхнє положення розподільного вала (ОНС)

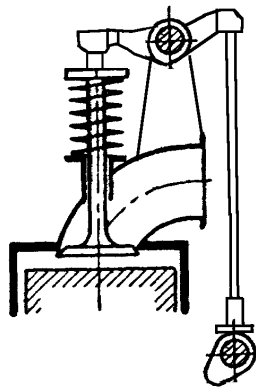


Рис. 42. Верхнє розташування клапанів, нижнє положення розподільного вала (ОНV)

Проте розташування клапанів у два ряди затруднює розміщення форсунки в циліндрі та доступ до неї, у зв'язку з чим у дизелях з рідинним охолодженням таке розташування, як правило, не застосовується.

Привід до клапанів при дворядному їх розташуванні ускладнюється. Для безпосереднього приводу потрібно два верхні вали на блок, що поміщаються над клапанами (рис. 44). Для одного верхнього вала потрібна система важелів (рис. 45). Для нижнього розташування вала доводиться застосовувати систему важелів (рис. 46) або приводити кожен з рядів клапанів від окремих валів, розташовуючи їх по обидва боки блока.

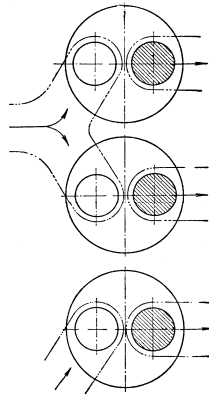


Рис. 43. Розташування двох верхніх клапанів у два ряди

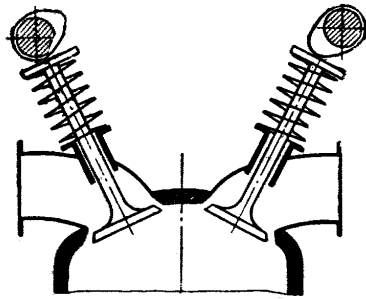


Рис. 44. Верхнє розташування клапанів, верхнє положення двох розподільних валів (2ОНС)

Чотири клапани в циліндрі встановлюють для збільшення площі їх прохідних перерізів і зменшення розмірів клапанів. Остання обставина сприяє збільшенню їх жорсткості та забезпечує краще охолодження. У дизелях з чотирма клапанами форсунка може бути розташована по осі циліндра, що для нероздільної камери згорання має велике значення для рівномірного розподілу палива по її об'єму. Однакові клапани можуть розташовуватися в двох рядах (рис. 47) або в окремих рядах (рис. 48).

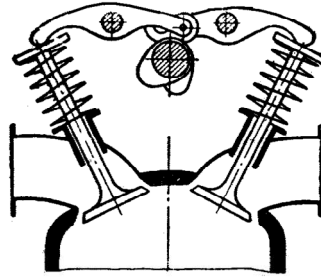


Рис. 45. Верхнє розташування клапанів, верхнє положення розподільного вала (ОНС)

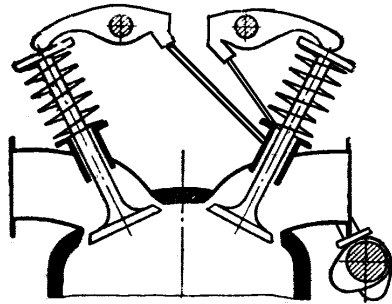


Рис. 46. Верхнє розташування клапанів, нижнє положення розподільного вала (ОНВ)

У першому випадку є можливість зменшити число каналів у головці блока і розташувати обидва трубопроводи з одного боку. Це у багатьох випадках виявляється зручним для V-подібних і горизонтальних двигунів. Проте за таких умов стрижень випускного клапана, розташованого з боку трубопроводу, обтікається також відпрацьованими газами сусіднього клапана, що збільшує його теплову напруженість. Через це частіше застосовується розташування однакових клапанів у окремих рядах.

Окрім безпосереднього приводу від двох верхніх валів (рис. 49), привід їх може здійснюватися від одного верхнього вала за допомогою поперечних траверс (рис. 50), які забезпечують одночасне відкриття обох однакових клапанів. У разі розташування однакових клапанів у один ряд привід здійснюється за допомогою подовжніх траверс (рис. 51) або важелів з трьома плечами.

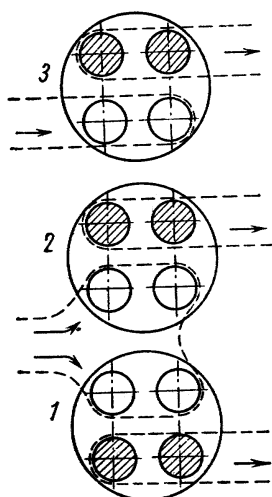


Рис. 47. Розташування однакових клапанів у два ряди

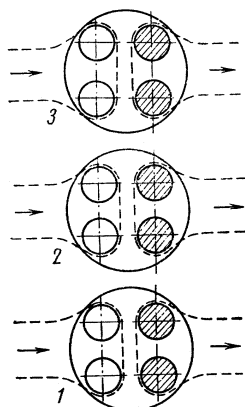


Рис. 48. Розташування однакових клапанів у окремих рядах

Під час установки трьох клапанів у циліндрі – одного великого і двох меншого розміру (рис. 52) – може бути збільшена відносна площа клапанів навіть порівняно з чотирма клапанами. Випускним може бути великий клапан (рис. 52,*а*) або два менших (рис. 52,*б*). За наявності трьох клапанів у головці циліндра розташування форсунки ускладнене.

У першому випадку забезпечується краще наповнення циліндрів, у другому – зниження температури випускних клапанів.

Інколи застосовується змішане розташування клапанів (рис. 53): один верхній, один нижній. За такого розташування клапанів конструкція механізму газорозподілу ускладнюється, але можна сильно збільшити прохідні перетини клапанів і забезпечити

високе форсування двигунів за кількістю обертів. Змішане розташування клапанів застосовується у двигунах з високими обертами.

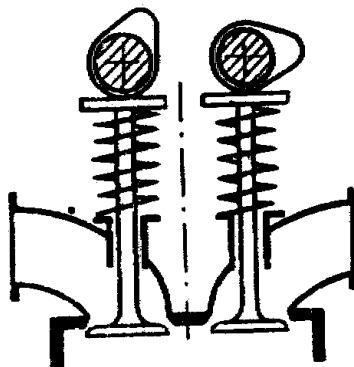


Рис. 49. Відкриття клапанів за допомогою двох розподільних валів

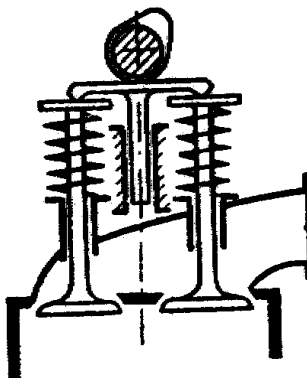


Рис. 50. Відкриття клапанів за допомогою поперечних траверс

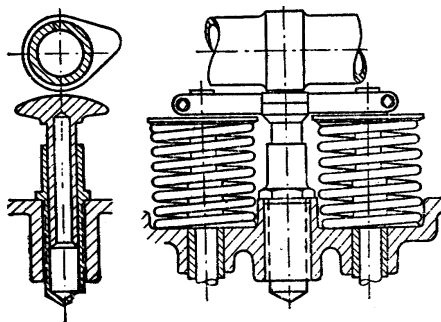


Рис. 51. Відкриття клапанів за допомогою поздовжніх траверс

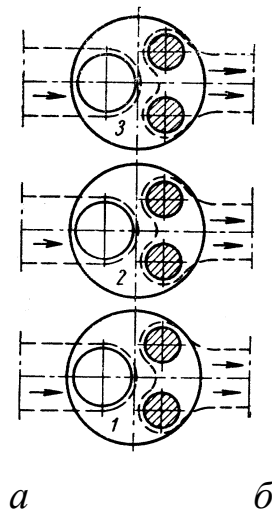


Рис. 52. Розташування трьох клапанів у циліндрі:
 а – один випускний клапан; б – два випускні клапани

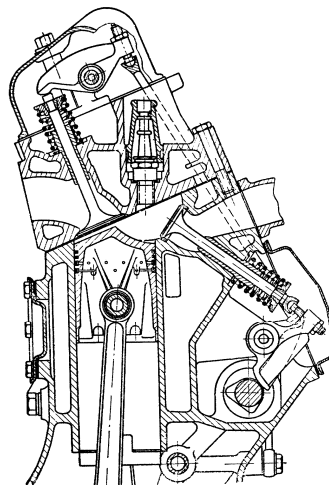


Рис. 53. Змішане розташування клапанів

Для поліпшення наповнення циліндрів, зниження температури випускних клапанів і зменшення маси рухомих деталей механізму газорозподілу, що приводяться до одного клапану, в двигунах великої потужності встановлюють п'ять клапанів (рис. 54) – три впускних і два випускних. У цьому випадку відкриття клапанів здійснюється двома верхніми розподільними валами.

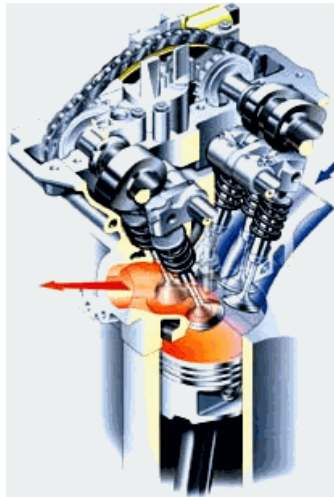


Рис. 54. Розташування п'яти клапанів на циліндр

Привід до розподільного вала. Нижній розподільний вал найчастіше своєю шестернею з'єднується безпосередньо із шестернею колінчастого вала. Тільки у разі великого віддалення розподільного вала від колінчастого вала вводять проміжну шестерню чи ланцюгову передачу.

Верхні розподільні вали можуть приводитися в рух за допомогою системи проміжних валів з конічними або гвинтовими шестернями, а також за допомогою циліндричних шестерень, зубчастого ременя чи ланцюга.

Гвинтові шестерні забезпечують компактність приводу, але застосовуються обмежено через низький ККД і значне зношення зубів.

Передача циліндричними шестернями складається зазвичай з великої кількості проміжних шестерень. Для розміщення їх осей попереду або позаду блока виготовляють жорстку коробку. Через складність і громіздкість ця передача застосовується рідко.

Ланцюгова передача зручна тим, що відстані між осями шестерень, що сполучаються, можна вибирати довільно, унаслідок чого непотрібні проміжні шестерні. Порівняно з передачею циліндровими шестернями, ланцюгова передача простіша і легша, але умови роботи ланцюга несприятливі через різкі зміни навантажень, які викликають вібрацію ланцюга. Для забезпечення постійного натягу ланцюга встановлюють натяжний механізм.

Елементи механізму газорозподілу. Клапани, головки яких є частиною поверхні камери згорання, зазнають великих динамічних навантажень і високих температур. Максимальна сила газів, що діють на клапан, залежно від величини тиску і діаметра клапана може досягати 10-20 кН, а у форсованих надувом двигунах 30 кН.

Температура випускного клапана в бензинових двигунах сягає 800-850°C, у дизелях 500-600 °С. У такті випуску головка і частина стрижня клапана омиваються газами з середньою температурою 1100-1200 °С у бензиновому двигуні та 700-900 °С – у дизелях. Швидкість газів на початку випуску досягає 400-600 м/с. Все це, а також наявність у паливі свинцю та сірки, створює сприятливі умови для корозії клапана, особливо виступаючих кромek фаски. Одночасно з корозією відбувається ерозія клапанів потоком газу. У зв'язку з цим, матеріал випускних клапанів має бути жаростійким, тобто не втрачати високих механічних якостей і не піддаватися корозії за високої температури.

Форма головки клапана має відповідати його призначенню. Для впускних клапанів перехід від стрижня до головки виконують радіусом великого розміру. З боку циліндра головку роблять або плоскою (рис. 55, а) – для невеликих клапанів, або увігнутою (тюльпаноподібною) для полегшення клапана (рис. 55, б). Головку випускного клапана для додання їй більшої жорсткості та поліпшення обтічності з боку циліндра виконують, як правило, опуклою (рис. 55, в).

Для того, щоб знизити температуру випускних клапанів, збільшують діаметр стрижня і подовжують напрямну втулку, наближаючи її до головки клапана. Щоб уникнути заїдання стрижня клапана у втулці під час його нагрівання зменшують діаметр стрижня біля головки або збільшують внутрішній діаметр втулки. Напрямна втулка впускного клапана не повинна значно виступати в каналі, щоб не зменшувати його прохідного перерізу.

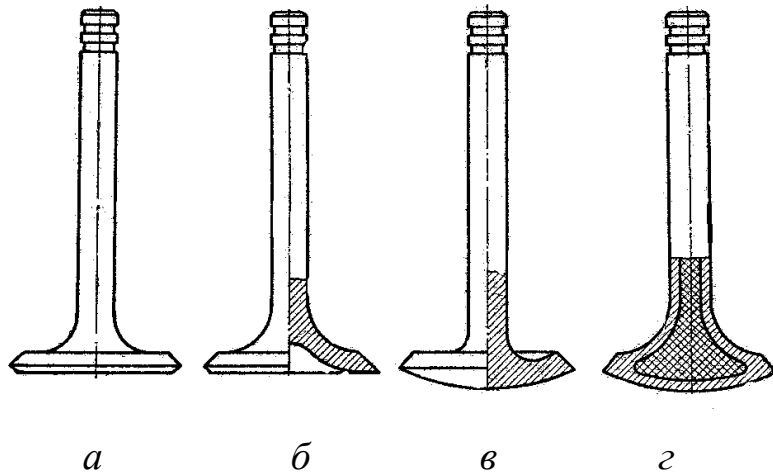


Рис. 55. Клапани двигуна внутрішнього згорання:

a – з плоскою головкою; *б* – з увігнутою (тюльпаноподібною) головкою;
в – з опуклою головкою; *г* – з порожниною

У сильно форсованих двигунах випускні клапани роблять з порожнинами (рис. 55, *г*) і на 50-60 % заповнюють натрієм, температура плавлення якого 97°C . За робочої температури клапана, натрій знаходиться в рідкій фазі і, збвтуючись під час його руху, сприяє інтенсивнішому перенесенню тепла від головки до стрижня клапана.

Кут фаски у випускних клапанів у більшості двигунів дорівнює 45° , у впускних клапанів – 45° і 30° . З боку стрижня головці надають конічну форму. Кут біля основи конуса (фаски) повинен бути $12-15^{\circ}$, що відповідає якнайкращим умовам обтікання.

Діаметр стрижня клапана залежить від того, навантажується чи не навантажується стрижень бічними зусиллями під час відкриття клапана.

Довжина стрижня залежить від розташування клапана і може змінюватися в широких межах. У разі верхнього розташування клапана довжина його має бути найменшою. У разі бічного розташування – довжина клапана вибирається з умов компонування.

На кінці стрижня клапана кріпиться тарілка пружини. Найбільш поширеною конструкцією кріплення є конструкція, де

тарілка пружини з'єднується з клапаном за допомогою конічних сухарів. Сухарі охоплюють виточку на стрижні клапана і самі затискаються в конічному отворі тарілки (рис. 56). Найбільш проста форма виточки – циліндрова з галтелями. Застосовуються і складніші виточки – конічні, з одним або двома поясочками. Діаметр виточки роблять таким, що дорівнює 0,65-0,75 від діаметра стрижня, кут конуса роблять 10-15°. Висоту сухарів приймають приблизно рівною діаметру стрижня.

Інколи при безпосередньому приводі тарілка вкручується в стрижень клапана і фіксується за допомогою замка, на верхній поверхні якого, так само як і на нижній поверхні тарілки, є трикутні зубчики. У деяких двигунах тарілка клапана контрється додатковою тарілкою, хвостовик якої нагвинчується на зовнішню різь стрижня клапана. У деяких конструкціях замість конічних сухарів тарілка кріпиться чекою, що проходить через отвір у стрижні клапана.

Торець стрижня, по якому ударяє штовхач або коромисло, гартується. Інколи на кінець стрижня надягають ковпачок з твердішого матеріалу (у разі верхнього розташування клапанів), що оберігає його від розбивання (рис. 57).

Сідло клапана, до якого притискається головка клапана, розточують безпосередньо в головці чи блоці двигуна або воно є окремою деталлю у вигляді кільця, запресованого в головку чи в блок. Якщо головка блока циліндрів чавунна, вставне сідло зазвичай роблять тільки під випускні клапани, якщо алюмінієва – обов'язково під обидва клапани.

Напрямні втулки клапанів виготовляють з чавуну або з алюмінієвої бронзи. Бронзові втулки забезпечують інтенсивніше відведення тепла від стрижня клапана і краще працюють в умовах недостатнього змащення.

Їх, зазвичай, встановлюють у форсованих двигунах, в яких умови змащення стрижнів випускних клапанів дуже несприятливі через їх високу температуру, а стрижнів впускних клапанів – унаслідок видування масла повітрям, що постійно знаходиться у впускному трубопроводі під надлишковим тиском.

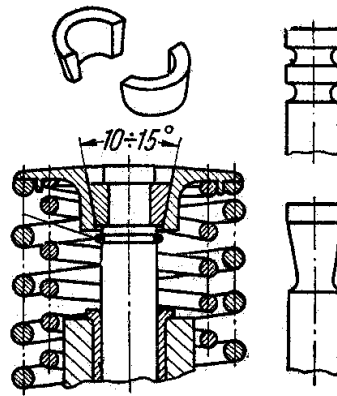


Рис. 56. Кріплення тарілки пружини за допомогою сухарів

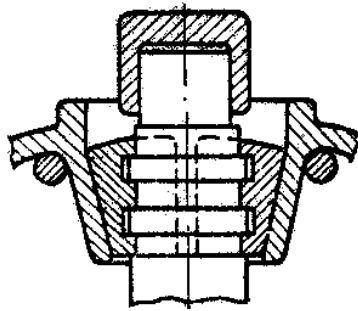


Рис. 57. Встановлення твердосплавного ковпачка на стрижень клапана

Змащення стрижнів бічних клапанів здійснюється масляним туманом, що осідає на них. Для змащення стрижнів верхніх клапанів у втулці роблять конічну чи циліндрову виточку, яка слугує воронкою для збору масла, що розбризкується, та інколи свердлять отвори для проходження масла до стрижня клапана. Проте в двигунах без наддуву наявність таких виточок і отворів у напрямних втулках клапанів може призвести до підвищеної витрати масла, яке засмоктується в циліндр під час такту впускання; у таких випадках втулки роблять не шорсткими, а клапан змащується лише шляхом розбризкування. Для захисту клапана від зайвої кількості масла встановлюють спеціальні манжети чи відбивачі.

Пружини клапанів працюють в умовах різких змінних динамічних навантажень. Широкого поширення набули гвинтові пружини, що працюють на кручення (рис. 58). Кінцеві витки пружини зближують до зіткнення і шліфують, щоб утворити

кільцеву опорну поверхню. З боку центруючого буртика опорної тарілки на кінцевих витках пружини інколи роблять фаску, що усуває тиск на галтель тарілки. Крок витка найчастіше роблять постійним по всій довжині пружини (рис. 58, *a*), проте у разі небезпеки виникнення резонансу пружини виготовляють зі змінним кроком. Зменшення кроку роблять або у напрямку до одного кінця пружини (рис. 58, *б*), зазвичай у бік її нерухомого кінця, або від середини до обох кінців (рис. 58, *в*). Під час відкриття клапана витки, розташовані ближче один до одного, періодично стискаються; число робочих витків при цьому зменшується, а жорсткість і частота власних коливань пружини відповідно зростають. Внаслідок цього усуваються умови для виникнення резонансу і можливість надмірного збільшення амплітуди коливань пружини. З цією метою пружини інколи роблять конічними (рис. 58, *г*). Жорсткість і частота власних коливань такої пружини змінюються по її довжині, і виникнення резонансу унеможливується. Широкою основою конічна пружина має спиратися на нерухому поверхню головки чи блока.

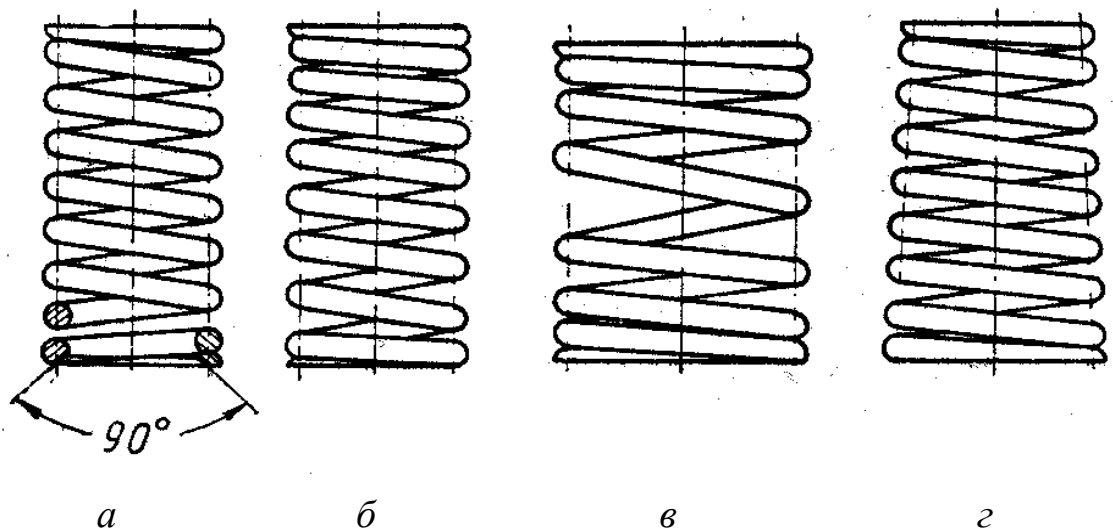


Рис. 58. Гвинтові пружини:

a – з постійним кроком; *б* – зменшення кроку до кінця пружини;
в – зменшення кроку від середини до кінців; *г* – конічна пружина

На нижні клапани встановлюють одну пружину, на верхніх, щоб зменшити розміри пружини і забезпечити більшу надійність, частіше дві, а інколи навіть три. Якщо пружини дві, напрямок витків внутрішньої і зовнішньої пружин має бути різним, щоб у разі поломки однієї з них витки її не могли потрапити між витками іншої пружини і викликати аварію. У разі нижнього розташування розподільного вала у штовхачі можна встановлювати додаткову пружину, що розвантажує пружини клапана від сил інерції штанги і штовхача.

Інколи застосовуються пружини, що працюють на вигин, і торсійні пружини, що дозволяють зменшити довжину стрижня клапана.

Розподільний вал призначений для передачі руху клапанам від колінчастого вала. Зазвичай його виконують як одне ціле з кулачками і деякими елементами приводу. Розподільні вали виготовляють з цементованої або з вуглецевої сталі (рис. 59). Кулачки і шийки піддають цементації або поверхневому загартовуванню. Діаметр вала вибирають відповідно до радіусу початкового кола кулачка. Підшипниками нижніх валів служать сталеві залиті бабітом або алюмінієві втулки, запресовані в картер або блок. Шийки вала в цьому випадку роблять збільшеного діаметра з таким розрахунком, щоб через отвори втулок пройшли кулачки вала. Для полегшення монтажу діаметр шийок зменшують від переднього кінця вала до заднього.

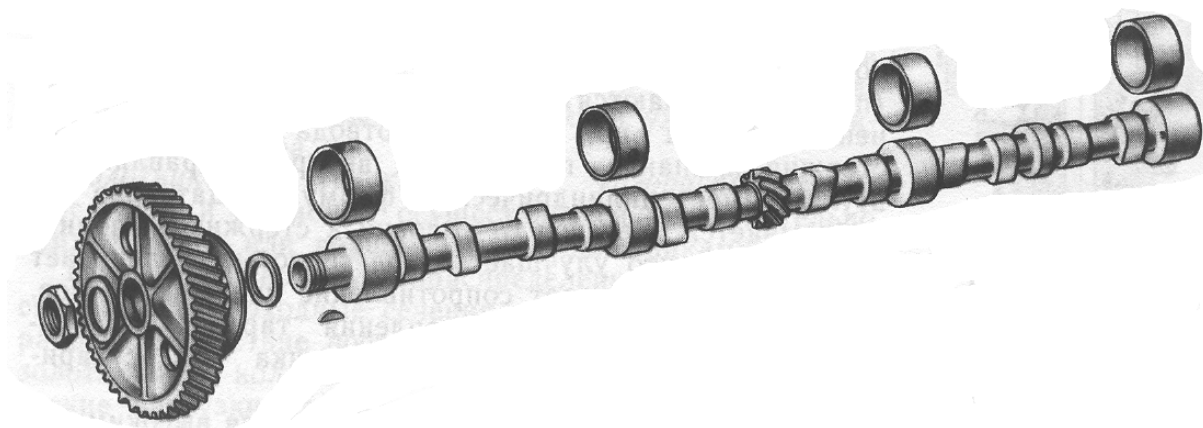


Рис. 59. Розподільний вал, ведуча шестерня і підшипники

У разі верхнього розташування розподільні вали обертаються в отворах алюмінієвих або чавунних кронштейнів (рідше). У них встановлюють вкладиші із заливкою з антифрикційного сплаву.

Зазори в підшипниках розподільних валів знаходяться в межах 0,03-0,1 мм.

Фіксація нижнього розподільного вала в осьовому напрямку здійснюється за допомогою сталевого чи бронзового упорного фланця, що кріпиться болтами до стінки блока з боку ведучої шестерні (рис. 60, *а*). З одного боку на цей фланець спирається маточина шестерні, з іншого – торець шийки вала. Необхідний осьовий зазор забезпечується дистанційною шайбою, що встановлюється між маточиною шестерні та шийкою вала. Товщина її має бути більшою за товщину фланця на величину зазору. Інколи фіксація вала здійснюється з одного боку буртиком вала чи маточиною шестерні, а з іншого – регулювальним болтом, угвинченим в кришку коробки розподільних шестерень (рис. 60, *б*). Кінець болта спирається на загартовану головку штифта, запресованого в торець вала. Замість регулювального болта може бути встановлений поршеньок з пружинкою, який забезпечує постійне положення розподільного вала в осьовому напрямку. При з'ємних кришках підшипників верхніх розподільних валів їх фіксація може здійснюватися буртиками, що спираються на торці упорного підшипника (рис. 60, *в*).

Мастило підшипників у разі нижнього розташування розподільних валів підводиться по каналах в перегородках картера, у разі верхнього – через внутрішню порожнину вала і отвору в його опорних шийках. У цьому випадку через отвори в кулачках масло може підводитися і до кулачків.

Розташування кулачків, які керують однаковими клапанами, визначається числом і порядком роботи циліндрів. Розташування кулачків, які керують різними клапанами одного циліндра, залежить від фаз газорозподілу і від схеми приводу.

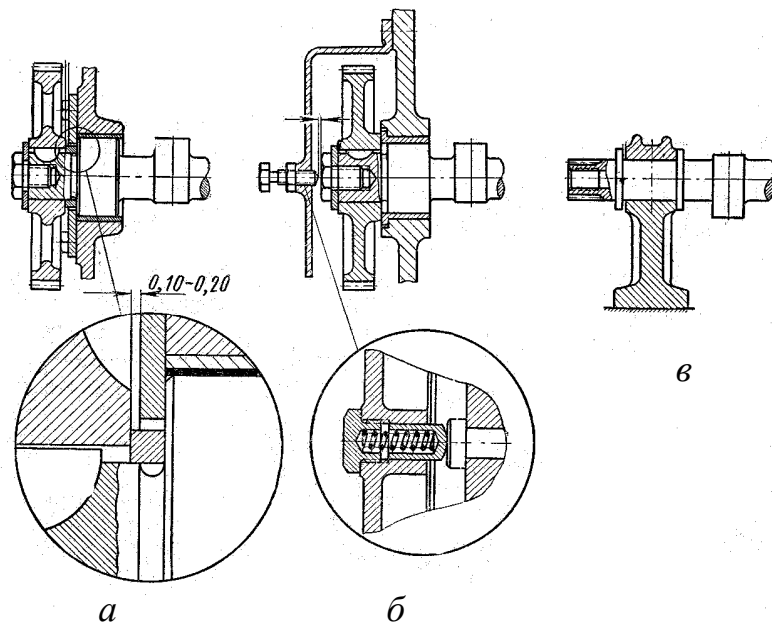


Рис. 60. Осьова фіксація розподільного вала:

a – за допомогою упорного фланця; *б* – буртуванням вала;
в – буртилом, що спирається на боці упорного підшипника

У сучасних двигунах застосовують такі види профілів кулачків розподільних валів: з опуклим, з увігнутим, з тангенціальним та з профілем, що забезпечує безударну роботу механізму газорозподілу.

Штовхачі призначені для безпосередньої передачі руху клапанам або штангам механізму газорозподілу. Кулачок, в різних конструкціях, контактує або безпосередньо з головкою штовхача, що має циліндричну чи плоску поверхню, або з роликом, встановленим на осі в нижній частині штовхача. У випадку циліндричної головки і за наявності ролика штовхач не повинен повертатися довкола своєї осі. У випадку плоскої головки поворот штовхача бажаний, оскільки при цьому головка і стрижень його зношуються більш рівномірно. У транспортних двигунах широкого поширення набули штовхачі з плоскою головкою, простіші за конструкцією та дешевші у виробництві, ніж роликові.

Напрямною штовхача служить отвір в блоці (для чавунних блоків) або втулка (для алюмінієвих блоків). Інколи і для чавунного блока напрямні штовхачів виготовляють у вигляді окремих втулок, запресованих в отвори блоку.

У разі нижніх клапанів у верхню частину штовхача вкручується регулювальний болт, за допомогою якого встановлюється необхідний зазор між клапаном і штовхачем.

У деяких автомобільних двигунах інколи застосовуються гідравлічні штовхачі, які працюють без зазору. В цьому випадку усуваються удари штовхача об стрижень клапана під час його відкриття, а головне – удари клапана об сідло у момент закриття.

Змащення штовхачів у разі нижнього розташування клапанів здійснюється переважно розбризкуванням масла. У разі верхнього розташування клапанів у штовхачі роблять сферичне гніздо, на яке спирається сферична головка наконечника штанги. Змащення штовхача у цьому випадку здійснюється маслом, що стікає по штанзі.

Оскільки деталі (штовхач і штанга) рухаються з великими прискореннями, вони повинні мати меншу вагу. Штовхачі роблять порожнистими, штанги, в більшості випадків, трубчастого перерізу. У верхню частину штанги вставляють також наконечник зі сферичною головкою чи гніздом, який сполучає її з коромислом.

Якщо відстань між штовхачем і коромислом велика, штанга буде довгою і недостатньо стійкою від подовжнього вигину, особливо у тому випадку, коли через неї передаються великі зусилля. Для підвищення запасостійкості штангу ділять на дві частини, а між ними розташовують короткий циліндровий повзун, який переміщається в напрямному отворі блока. Дві штанги будуть коротшими і легшими, ніж одна довга.

Матеріалом для штанг може бути сталь або алюмінієвий сплав.

Коромисло призначене для передачі зусиль від штанги до стрижня клапана і є двоплечовим важелем, один кінець якого з'єднується зі штангою, другий спирається на стрижень клапана (рис. 61).

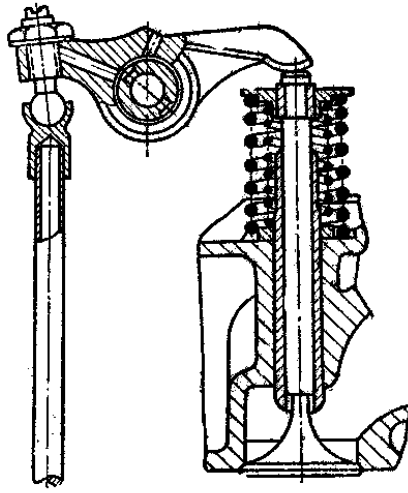


Рис. 61. Коромисло

Вісь коромисла зазвичай роблять нерухомою, а коромисло обертається на ній на втулках. У кінець коромисла, вкручують регулювальний гвинт, повернутий до штанги, який конtringють контргайкою або затискають за допомогою гвинта в розрізному плечі коромисла. З боку клапана плече коромисла найчастіше має циліндричну поверхню, що спирається на стрижень клапана. Під час повороту коромисла, ця поверхня перекочується по стрижню клапана з ковзанням. Плечі коромисла роблять, як правило, неоднаковими. Відношення довжини плеча, повернутого до клапана, до довжини плеча, повернутого до штовхача, лежить у межах 1,2-1,8. При цьому зменшується висота підйому штовхача та штанги і відповідно зменшуються їх прискорення і сили інерції.

Щоб забезпечити щільне закриття клапана, між клапаном і тильною частиною кулачка або між клапаном і коромислом повинен залишатися зазор. Зі зміною температури деталей двигуна цей зазор може змінюватися по-різному, залежно від взаємного розташування клапанів і розподільних валів, матеріалів і конструкцій клапанів та пов'язаних з ними деталей.

Для бічних клапанів зазор у холодному двигуні більший, ніж при робочій температурі, оскільки клапан подовжується значно більше, ніж блок.

Для верхніх клапанів у разі верхнього розподільного вала зазор в холодному двигуні також більший, ніж у гарячому, оскільки клапан подовжується значно більше, ніж головка блока і кронштейни вала.

У разі верхнього розташування клапанів і нижнього розташування розподільних валів, навпаки, зазор у холодному двигуні менший, ніж у гарячому. Це пояснюється тим, що подовження стрижня клапана не може за наявності коромисла компенсувати подовження головки та блока.

Лекція 6. Тема 6. СИСТЕМА ОХОЛОДЖУВАННЯ ДВИГУНА

У автомобільних і тракторних двигунах, залежно від робочого тіла, застосовують системи рідинного і повітряного охолодження. Найбільшого поширення набуло рідинне охолодження.

Під час рідинного охолодження циркулююча в системі охолодження двигуна рідина сприймає тепло від стінок циліндрів і камер згорання і передає потім це тепло за допомогою радіатора навколишньому середовищу.

За принципом відведення тепла в навколишнє середовище системи охолодження можуть бути замкнутими і незамкнутими (проточними).

Рідинні системи охолодження автотракторних двигунів мають замкнуту систему охолодження, тобто постійна кількість рідини циркулює в системі. У проточній системі охолодження нагріта рідина після проходження через неї викидається в навколишнє середовище, а нова забирається для подачі в двигун. Використання таких систем обмежується судовими та стаціонарними двигунами.

Повітряні системи охолодження є незамкнутими. Охолоджуюче повітря після проходження через систему охолодження виводиться в навколишнє середовище.

За способом здійснення циркуляції рідини системи охолодження можуть бути:

– примусовими, в яких циркуляція забезпечується спеціальним насосом, розташованим на двигуні (або в силовій

установці), або тиском, під яким рідина підводиться в силову установку із зовнішнього середовища;

– термосифонними, в яких циркуляція рідини відбувається за рахунок різниці гравітаційних сил, що виникають у результаті різної щільності рідини, нагрітої біля поверхонь деталей двигуна й охолоджуваної в охолоджувачі;

– комбінованими, в яких найбільш нагріті деталі (головки блоків циліндрів, поршні) охолоджуються примусово, а блоки циліндрів – за термосифонним принципом.

Системи рідинного охолодження можуть бути відкритими і закритими.

Відкриті системи – системи, що сполучаються з навколишнім середовищем за допомогою паровідвідної трубки.

У більшості автомобільних і тракторних двигунів на сьогодні застосовують закриті системи охолодження, тобто системи, від'єднані від навколишнього середовища встановленим у пробці радіатора пароповітряним клапаном.

Тиск і відповідно допустима температура охолоджуючої рідини (100-105 °С) у цих системах вища, ніж у відкритих системах (90-95 °С), унаслідок чого різниця між температурами рідини і повітря, просмоктується через радіатор і його тепловіддача збільшується. Це дозволяє зменшити розміри радіатора і витрату потужності на привід вентилятора і водяного насоса. У закритих системах майже відсутнє випаровування води через паровідвідний патрубок і закипання її під час роботи двигуна у високогірних умовах.

Рідинна система охолодження. На рис. 62 показано схему рідинної системи охолодження з примусовою циркуляцією охолоджувальної рідини.

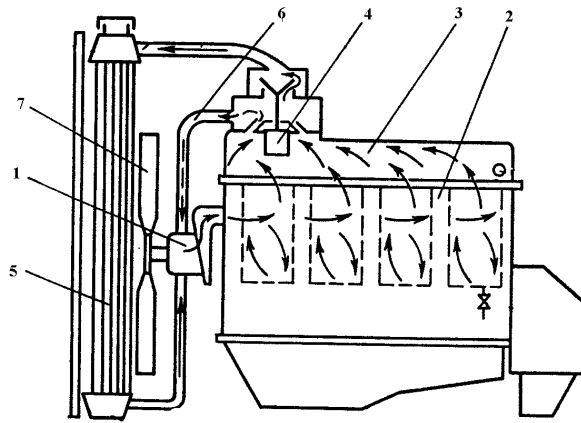


Рис. 62. Схема рідинної системи охолодження:

1 – відцентровий насос; 2 – сорочка охолодження блока циліндрів;
3 – головки блока; 4 – термостат; 5 – радіатор; 6 – патрубок; 7 – вентилятор

Сорочка охолодження блока циліндрів 2 і головки блока 3, радіатор і патрубки через заливну горловину заповнені охолоджуючою рідиною. Рідина омиває стінки циліндрів і камер згорання працюючого двигуна і, нагріваючись, охолоджує їх. Відцентровий насос 1 нагнітає рідину в сорочку блока циліндрів, з якої нагріта рідина надходить до сорочки головки блока і потім по верхньому патрубку витісняється в радіатор. Охолоджена в радіаторі рідина по нижньому патрубку повертається до насоса.

Циркуляція рідини, залежно від теплового стану двигуна, змінюється за допомогою термостата 4. Якщо температура охолоджуючої рідини нижче $70-75^{\circ}\text{C}$, основний клапан термостата закритий. У цьому випадку рідина не надходить до радіатора 5, а циркулює по малому контуру через патрубок 6, що сприяє швидкому прогріванню двигуна до оптимального теплового режиму. Під час нагрівання термочутливого елемента термостата до $70-75^{\circ}\text{C}$ основний клапан термостата починає відкриватися і пропускати воду в радіатор, де вона охолоджується. Повністю термостат відкривається за $83-90^{\circ}\text{C}$. З цієї миті вода циркулює по радіаторному, тобто великому, контуру. Температурний режим двигуна регулюється також за допомогою поворотних жалюзі, шляхом зміни повітряного потоку, який створюється вентилятором 7 і проходить через радіатор.

Останнім часом найбільш ефективним і раціональним способом автоматичного регулювання температурного режиму двигуна є зміна продуктивності самого вентилятора.

Елементи рідинної системи. Термостат призначений для забезпечення автоматичного регулювання температури охолоджуючої рідини під час роботи двигуна.

Для швидкого прогрівання двигуна, коли здійснюється пуск, встановлюють термостат у вихідному патрубку сорочки головки блока циліндрів. Він підтримує бажану температуру охолоджуючої рідини шляхом зміни інтенсивності її циркуляції через радіатор.

На рис. 63 зображено термостат сільфонного типу. Він складається з корпусу 2, гофрованого циліндра (сільфона), клапана 1 і штока, який з'єднує сільфон з клапаном. Сільфон виготовлений з тонкої латуні та заповнений рідиною, що легко випаровується (наприклад, ефіром або сумішшю етилового спирту і води). Розташовані в корпусі термостата вікна 3 залежно від температури охолоджуючої рідини, можуть або залишатися відкритими, або бути закритими клапанами.

Якщо температура охолоджувальної рідини, що омиває сільфон, нижча за 70°C , клапан 1 закритий, а вікна 3 відкриті. Через це охолоджувальна рідина в радіатор не надходить, а циркулює всередині сорочки двигуна. Під час підвищення температури охолоджуючої рідини вище 70°C сільфон під тиском пари рідини, що випаровується в ньому, подовжується і починає відкривати клапан 1 і поступово прикривати вікна 3 клапанами. Якщо температура охолоджувальної рідини вища за $80-85^{\circ}\text{C}$, клапан 1 повністю відкривається, вікна ж повністю закриваються, внаслідок чого вся охолоджуюча рідина циркулює через радіатор. На сьогодні даний тип термостатів застосовується дуже обмежено.

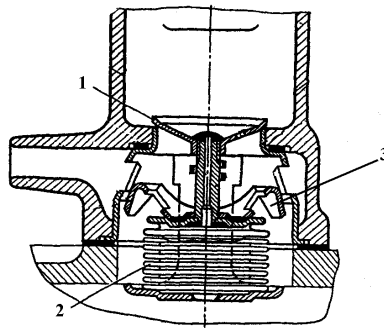


Рис. 63. Термостат сильфонного типу:

1 – клапан; 2 – корпус; 3 – вікна

Зараз у двигунах встановлюють термостати, в яких заслінка 1 відкривається під час розширення твердого наповнювача, – церезину (рис. 64). Ця речовина розширюється під час підвищення температури і відкриває заслінку 1, забезпечуючи надходження охолоджуючої рідини в радіатор.

Радіатор – пристрій, який розсіює тепло, призначений для передачі тепла охолоджуючої рідини навколишньому повітрю.

Радіатори автомобільних і тракторних двигунів складаються з верхнього і нижнього резервуарів, сполучених між собою великою кількістю тонких трубок.

Для посилення передачі тепла від охолоджувальної рідини повітрю потік рідини в радіаторі направляють через лаву вузьких трубок, які обдуваються повітрям, або каналів. Радіатори виготовляють з матеріалів, які є добрими провідниками і добре віддають тепло (латунь та алюміній).

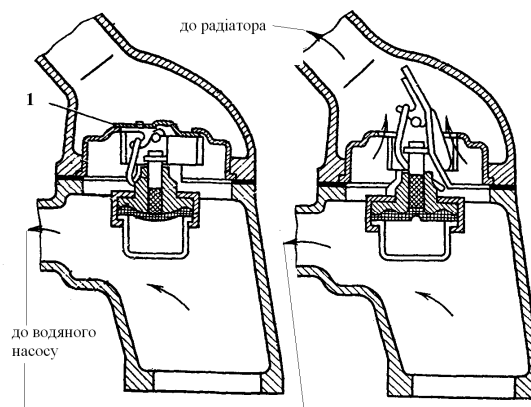


Рис. 64. Термостат з твердим наповнювачем

Залежно від конструкції охолоджуючих грат радіатори поділяють на трубчасті, пластинчасті і стільникові.

На сьогодні найбільшого поширення набули трубчасті радіатори. Охолоджуючі грати таких радіаторів (рис. 65, *a*) складаються з прямовисних трубок овального чи круглого перерізу, тонких горизонтальних пластин, що проходять через ряд, і припаяних до верхнього і нижнього резервуарів радіатора. Наявність пластин покращує теплопередачу і підвищує жорсткість радіатора. В експлуатації частіше використовують трубки овального (плоского) перерізу.

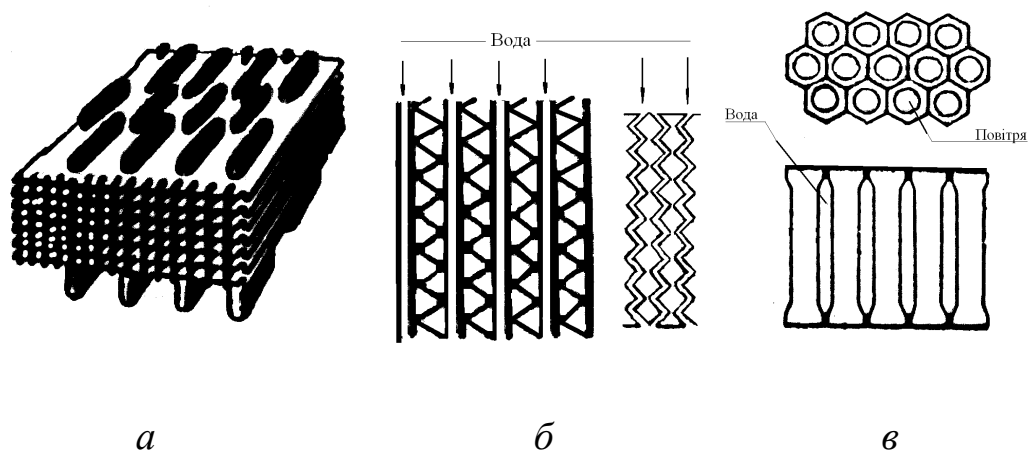


Рис. 65. Радіатори:

a – трубчастий радіатор; *б* – пластинчасті радіатори;
в – радіатор з трубками (стільниковий)

У пластинчастих радіаторах охолоджуючі грати (рис. 65, *б*) влаштовані так, що охолоджуюча рідина циркулює в просторі, утвореному кожною парою спаяних між собою по краях пластин. Верхні та нижні кінці пластин, крім того, впаяні в отвори верхнього і нижнього резервуарів радіатора. Повітря, що охолоджує радіатор, просмоктується вентилятором через проходи між спаяними пластинами. Для збільшення поверхні охолодження пластини зазвичай виконують хвилястими. Пластинчасті радіатори мають більшу охолоджуючу поверхню, ніж трубчасті, але через велику кількість недоліків (швидке забруднення, велика кількість паяних швів, необхідність ретельнішого обслуговування) застосовуються порівняно обмежено.

Стільниковий радіатор відноситься до радіаторів з повітряними трубками (рис. 65, в). У ґратах стільникового радіатора повітря проходить по горизонтальних трубках круглого перерізу, які зовні омиваються водою чи охолоджуючою рідиною. Щоб зробити можливою спайку кінців трубок, краї їх розвальцьовували так, що в перерізі вони мають форму правильного шестикутника.

Перевагою стільникових радіаторів є більша, ніж у радіаторах інших типів, поверхня охолодження. Через низку недоліків, більшість з яких ті ж, що і у пластинчастих радіаторів, стільникові радіатори сьогодні зустрічаються обмежено.

Розглянемо конструкцію деталей системи охолодження.

У пробці заливної горловини радіатора встановлений паровий клапан 2 і повітряний клапан 1, які служать для підтримки тиску в заданих межах (рис. 66).

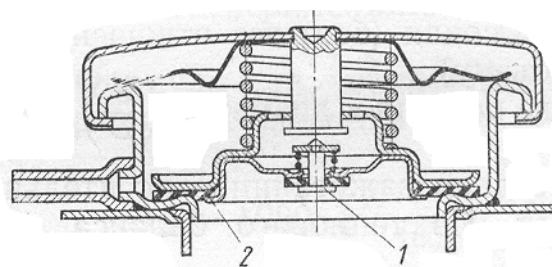


Рис. 66. Пробка радіатора:

1 – повітряний клапан; 2 – паровий клапан

Водяний насос забезпечує циркуляцію охолоджуючої рідини в системі. Як правило, в системах охолодження встановлюють малогабаритні одноступінчасті відцентрові насоси низького тиску продуктивністю до $13 \text{ м}^3/\text{год}$, що створюють тиск $0,05\text{-}0,2 \text{ МПа}$. Такі насоси конструктивно прості, надійні та забезпечують високу продуктивність (рис. 67).

Корпус і крильчатку насосів відливають з магнієвих, алюмінієвих сплавів, крильчатку, крім того, – з пластмас. У водяних насосах автомобільних двигунів зазвичай застосовують крильчатки напівзакриваючі, тобто крильчатки з одним диском.

Крильчатки відцентрових водяних насосів часто вмонтовують на одному валу з вентилятором. У цьому випадку насос встановлюють у верхній передній частині двигуна. Його приводять в рух від колінчастого вала за допомогою клинопасової передачі.

Пасову передачу можна застосовувати і під час устанавлення відцентрового насоса окремо від вентилятора. У деяких двигунах вантажних автомобілів і тракторів привід водяного насоса здійснюється від колінчастого вала шестерінчастою передачею. Вал відцентрового водяного насоса встановлюють зазвичай на підшипниках кочення і забезпечують для ущільнення робочої поверхні простими чи саморегульованими сальниками.

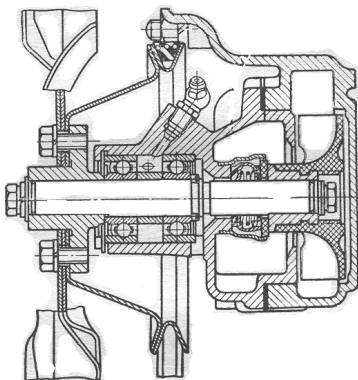


Рис. 67. Водяний насос

Вентилятор у рідинних системах охолодження встановлюють для створення штучного потоку повітря, яке проходить через радіатор. Вентилятори автомобільних і тракторних двигунів бувають двох типів:

а) штампованими з листової сталі лопатями, прикріпленими до маточини;

б) з лопатями, які відлили за одне ціле з маточиною.

Кількість лопатей вентилятора змінюється в межах чотирьох – шести. Кількість лопатей більша шести недоцільна, оскільки продуктивність вентилятора при цьому незначно збільшується. Лопаті вентилятора можна виконувати плоскими і опуклими.

Повітряна система охолодження. У двигунах з повітряним охолодженням для забезпечення нормального теплового стану двигуна площі зовнішніх поверхонь головок і циліндрів збільшують шляхом встановлення на них ребер. Від поверхні, де розміщені ребра, тепло, що надходить до неї від стінок камери згорання і стінок циліндра, відводиться охолоджуючим потоком повітря.

Позитивними особливостями системи повітряного охолодження є нескладне обслуговування, надійність у експлуатації, менша порівняно з системою рідинного охолодження вага і простота конструкції, спрощення експлуатації двигуна в районах, де немає води, а також усунення небезпеки замерзання води в радіаторі та сорочці двигуна (в разі заповнення їх водою) при низьких температурах.

Схема руху повітря, що охолоджує однорядний чотирициліндровий двигун, зображена на рис. 68. Канали, якими рухається повітря, розділені на ділянки: входу повітря, проходження повітря через вентилятор *1*, розподіли повітря по циліндрах, проходження повітря по міжреберних каналах і відвідного трубопроводу. У даній схемі охолоджені поверхні знаходяться на лінії повітря, що нагнітається. У деяких випадках повітря через міжреберні канали не нагнітається, а просмоктується.

Для отримання ефективного і рівномірного охолодження за мінімальної витрати потужності в двигунах з повітряним охолодженням застосовують дефлектори. Дефлектори – направляючі пристрої для подачі охолоджуючого потоку повітря до поверхонь, де розташовані ребра з певною швидкістю і напрямом.

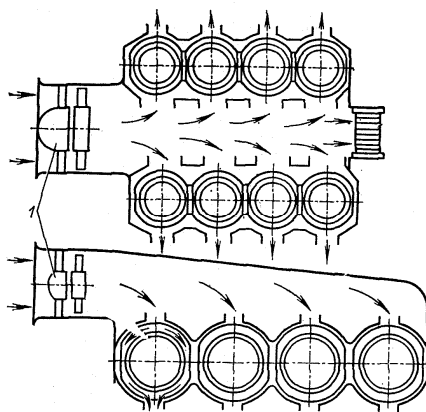


Рис. 68. Схема системи повітряного охолодження двигуна

Під час проектування системи повітряного охолодження прагнуть забезпечити подачу охолоджуючого повітря, насамперед, до найбільш гарячих місць головки циліндрів (перемички між гніздами клапанів та ін.), а також до свічок запалення (у бензинових

двигунах) і форсунок (у дизелях). Для поліпшення теплопередачі потік охолоджуючого повітря повинен омивати поверхні охолодження рівномірно і з досить високою швидкістю.

Розрахунок системи повітряного охолодження автомобільних і тракторних двигунів зводиться до визначення параметрів оребрення двигуна, продуктивності та розмірів вентилятора, а також потужності, що витрачається на привід вентилятора.

Проведення цього розрахунку через вплив низки чинників, що важко враховуються, а також через відсутність даних про взаємозалежність розрахункових параметрів системи охолодження вельми складне і пов'язане з великими труднощами. Особливо складний теоретичний розрахунок теплопередачі й аеродинамічного опору оребрення двигуна. Тому на практиці під час проектування системи повітряного охолодження, зазвичай, задаються питомою поверхнею оребрення і широко користуються експериментальними даними прототипів двигунів.

На початку розрахунку задаються його початковими параметрами, до яких відносяться: а) температура, тиск і вологість повітря, що оточує двигун; б) робочі температури деталей двигуна; в) розрахунковий режим роботи двигуна.

Як розрахункову температуру навколишнього повітря приймають температуру, що дорівнює 40 °С.

Перевищення робочих припустимих температур може викликати порушення роботи (збільшення утворення нагару, викривлення головки циліндра, закоксовування, зависання голки форсунки в дизелях, детонацію та гартівне запалення в бензинових двигунах, підвищений знос циліндра, поршня і поршневих кілець).

Середня температура біля підстав чавунних ребер циліндрів 130-170 °С; біля підстав чавунних ребер головки циліндрів 170-220 °С. Для алюмінієвих сплавів середні температури відповідно 130-150 і 160-200 °С.

Мінімальні температури внутрішніх поверхонь циліндра і його головки прагнуть забезпечити не нижче 130-140 °С, тобто значно вище точки роси випускних газів.

Лекція 7. СИСТЕМА ЗМАЩУВАННЯ

Система змащення автомобільних і тракторних двигунів призначена для зменшення втрат на тертя, що виникає між поверхнями їх деталей, які труться, для охолодження цих поверхонь і видалення з них продуктів зношення. Змащення, окрім цього, покращує ущільнення поршневими кільцями простору всередині циліндра й оберігає деталі двигуна від корозії.

Зменшення тертя і тим самим зношення поверхонь деталей двигуна, що труться, здійснюється шляхом безперервної подачі до них змащувальних матеріалів, тобто шляхом усунення сухого тертя і забезпечення рідинного і напіврідинного тертя. Мастило відводить від них значну частку тепла тертя і тепла гарячих газів, передаючи це тепло навколишньому середовищу.

Класифікація і конструкція систем змащування. Системи змащення автомобільних і тракторних двигунів, залежно від способу подачі мастила до вузлів тертя, можна поділити на три види:

1) змащення розбризкуванням; 2) змащення під тиском; 3) комбінована система змащення.

Змащення розбризкуванням застосовується в старих конструкціях двигунів. Мастило розбризкується внаслідок удару об поверхні виступів на кришках кривошипних головок шатунів. Бризки, що утворюються при цьому, і масляний туман потрапляють на поверхні, що труться, або безпосередньо, або через розташовані над цими поверхнями масляні канали.

Через серйозні недоліки (підвищена витрата і швидке окиснення масла, недостатня надійність мастила відповідальних вузлів двигуна та ін.) змащення розбризкуванням на сьогодні застосовують в окремих випадках у пускових двигунах.

У деяких двотактних мотоциклетних двигунах малої потужності змащення забезпечується мастилом, що додається в малих кількостях до бензину (2-4 %).

У автомобільних і тракторних двигунах застосовують циркуляційне змащення під тиском, коли до поверхні тертя масло подається з картера по каналах під тиском, створюваним масляним насосом, після чого воно знову стікає в картер. Змащування під тиском забезпечує подачу до поверхонь, що труться, необхідної кількості масла, а також надійну й інтенсивну його циркуляцію.

Система змащення, що розглядається, належить до систем змащення з мокрим картером. Таку назву ці системи отримали тому, що резервуаром для основної кількості масла є нижня частина картера двигуна.

У деяких форсованих автомобільних двигунах для забезпечення надійного змащення за будь-якого положення двигуна, а також для боротьби з піноутворенням у картері застосовують системи змащення з сухим картером. У цих системах масло, що стікає в картер, відсмоктується з нього спеціальними насосами в розташований ззовні двигуна проміжний масляний бак, де воно відстоюється від піни.

З проміжного бака мастило подається насосом в нагнітаючий маслопровід двигуна. Очищення мастила від піни необхідне для забезпечення нормальної роботи двигуна, оскільки під час потрапляння до масляного насоса піни подача масла ним зменшується.

У разі комбінованої системи змащення, яке використовують у переважній більшості сучасних автомобільних і тракторних двигунів, використовується як перший, так і другий способи підведення мастила. Зазвичай під тиском, створюваним масляним насосом, змащуються лише найбільш відповідальні деталі двигуна, що труться: підшипники колінчастого та розподільного валів. У багатьох двигунах під тиском також змащуються розподільні шестерні, поршневі пальці, штовхачі та ін. Решта деталей, що труться, змащується розбризкуванням і самопливом.

У більшості сучасних автомобільних і тракторних двигунів піддаються рясному змащенню нижня частина дзеркала циліндра і кулачки розподільного вала. Змащення здійснюється струменями

мастила, які витікають через направляючий отвір в кривошипній головці шатуна при співпаданні його з вихідним отвором у шатуновій шийці.

Для збільшення терміну служби мастила і зменшення зношення деталей, що труться, у більшості двигунів встановлюють фільтри грубого і тонкого очищення мастила. Для цього ж мастило з картера двигуна забирається через плаваючий маслоприймач з верхнього, найменш забрудненого важкими домішками шару.

У двигунах з напруженим режимом роботи, головним чином двигунах вантажних автомобілів і тракторів, застосовуються радіатори для охолодження мастила. Необхідний тиск у нагнітаючій магістралі підтримується редукційними клапанами.

На рис. 69 показана схема комбінованої системи змащування двигуна. Ця система складається з таких вузлів: нерухомого, маслоприймального фільтра 1, масляного насоса 2, маслопроводів, пластинчастого фільтра грубого очищення 3, відцентрового фільтра тонкого очищення 4, редукційного і перепускного клапанів, маслоналивного патрубку і трубки для подання мастила в радіатор.

У двигуні, окрім підшипників колінчастого і розподільного валів, примусово змащуються опори проміжного вала приводу розподільника запалення, масляного насоса, штовхачі.

Втулки коромисел змащуються пульсуючим потоком мастила. До решти деталей, що труться, масло надходить самопливом і під час розбризкування.

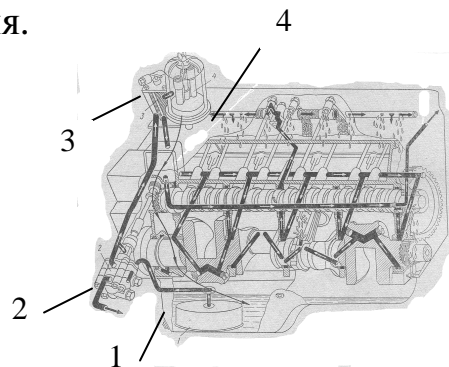


Рис. 69. Комбінована система змащування двигуна

Мастило фільтрується у фільтрах грубого 3 і тонкого очищення 4, а також встановленим на маслоприймачі 1 сітчастим фільтром. Пластинчастий фільтр грубого очищення включений в

масляну магістраль послідовно. Для перепуску масла повз фільтр грубого очищення (в разі його забруднення, а також під час пуску холодного двигуна, коли опір фільтра великий) в корпусі фільтра встановлений перепускний кульковий клапан. Для сучасних автомобільних карбюраторних двигунів така система змащення є типовою.

У систему змащення дизелів і багатьох карбюраторних двигунів вантажних автомобілів включають масляні радіатори. У дизелях передбачають також пристрій для охолодження струменями мастила найбільш нагрітих деталей двигуна, що труться.

Механізми і апарати системи змащення. У більшості сучасних автомобільних і тракторних двигунів застосовують масляні насоси шестеренного типу. Коловоротні та плунжерні масляні насоси використовуються в цих двигунах обмежено. Шестеренний масляний насос складається з двох розташованих в його корпусі спарених шестерень, одна з яких є ведучою, друга – веденою (рис. 70). Ведуча шестерня насаджена на привідний вал; ведена вільно обертається на осі. Обидві шестерні встановлюють у корпусі насоса з невеликими радіальними і торцевими зазорами. Під час роботи шестерні, що обертаються в різні боки, захоплюють мастило з порожнини впускання і переносять його через западини між зубами в порожнину нагнітання. З порожнини нагнітання мастило надходить в маслопровід.

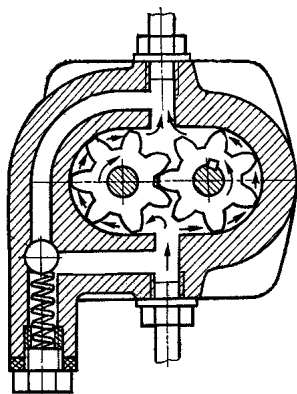


Рис. 70. Шестеренний масляний насос

Для забезпечення в системі змащення необхідного тиску встановлюють редукційний клапан. Цей клапан перепускає мастило з нагнітаючої порожнини масляного насоса у всмоктуючу порожнину.

Масляні насоси залежно від типу двигуна встановлюють усередині або ззовні картера. У разі встановлення усередині картера, масляний насос розташовують вище чи нижче за рівень мастила картера. У разі встановлення масляного насоса ззовні картера, шестерні знаходяться вище за рівень мастила. У цьому випадку масляний насос засмоктує з картера мастило за допомогою маслозбірної трубки.

Для забезпечення надійності роботи в багатьох автомобільних і тракторних двигунах встановлюють двосекційні масляні насоси. Перша секція призначена для подання масла в систему змащення двигуна і у відцентровий фільтр тонкого очищення, друга – для подання масла в масляний радіатор.

Під час роботи двигуна якість залитого в картер масла поступово погіршується. Масло насичується вологою, розріджується паливом, забруднюється продуктами його хімічного розкладання (кислотами, смолами, асфальтенами та ін.), металевими частинками – продуктами зношення деталей двигуна, що труться, частинками нагару, засмоктуваним у двигун пилом і т. д.

Для зменшення шкідливої дії механічних домішок і продуктів окиснення масла воно має під час роботи двигуна безперервно очищатися. Очищення (фільтрація) масла здійснюється фільтрами. Масло, що подається насосом, пропускається через фільтри грубого і тонкого очищення.

Фільтри грубого очищення призначені для очищення масла від великих механічних частинок.

На сьогодні найбільшого поширення набули щілисті фільтри грубого очищення. Ці фільтри включають в систему змащення послідовно, оскільки вони володіють порівняно невеликим опором.

У разі сильного забруднення фільтрувального елемента або під час пуску холодного двигуна, масло надходить з каналу в масляну магістраль через перепускний клапан, тобто повз фільтр грубого очищення.

Окрім щілистих фільтрів грубого очищення пластинчастого типу, застосовують також щілисті фільтри дротяного і стрічкового типів. У цих фільтрах щілини для протікання масла утворюються між витками дроту або спеціального профілю стрічки, які навивають на гофровані каркаси.

Ретельніше очищення масла від механічних домішок і продуктів розкладання здійснюють в автомобільних і тракторних двигунах за допомогою фільтрів тонкого очищення. Як фільтруючі елементи в цих фільтрах застосовують бавовняні кільця (очоси), повсть, папір, мінеральну шерсть, азбест, пресовану фільтруючу масу.

У бензинових двигунах на сьогодні великого поширення набули фільтри тонкого очищення типу АСФВ (автомобільний суперфільтр-відстійник). Фільтруючий елемент такого фільтру складається з великої кількості картонних дисків і прокладок, зібраних між двома штампованими кришками. До цих кришок прикріплені чашки зі встановленими в них кільцями ущільнювачів. Набір дисків і прокладок стягують з'єднувальними планками.

На сьогодні більшого поширення набуває відцентрове очищення масла в центрифугах. Центрифуги включають в систему змащення або паралельно головній масляній магістралі (неповнопоточні), або послідовно (повнопоточні).

Через неповнопоточну центрифугу проходить тільки частина масла, що подається насосом. Неповнопоточна центрифуга (рис. 71) складається з нерухомого циліндрового корпусу і фільтрувального елемента, що обертається, ротора 3, встановленого на осі 2.

Масло надходить в ротор 3 під тиском від масляного насоса по трубці 1. Звідси масло через трубки ротора 4 витікає з великою швидкістю через розташовані в нижній частині ротора жиклери 5. Реакції струменів масла під час подавання його під тиском забезпечують обертання ротора зі швидкістю 10 000-20 000 об/хв. Домішки, що знаходяться в маслі, відкидаються на бічні стінки ротора і осідають на них. У міру забруднення центрифугу чистять.

Очищене масло витікає в картер двигуна. У разі паралельного увімкнення центрифуги в систему змащення двигуна очищується 10-20 % масла, що подається насосом.

У повнопоточній центрифугі (рис. 72) масло від насоса подається по каналу 1 в ротор 3. З ротора частинка мастила (10-20 %) витікає з жиклерів 2, забезпечуючи обертання ротора і очищення масла. Решта кількості масла (80-90 %) з ротора центрифуги по каналу 4 подається в масляну магістраль. У разі послідовного увімкнення центрифуги все масло, що подається насосом, проходить через ротор і як крупні, так і дрібні механічні частинки затримуються в центрифугі, унаслідок чого зменшується зношення поверхонь деталей двигуна, що труться.

Центрифуги забезпечують дуже якісне очищення масла від важких і твердих частинок, а також інтенсивно утримують вологу, що знижує корозійне зношення деталей двигуна.

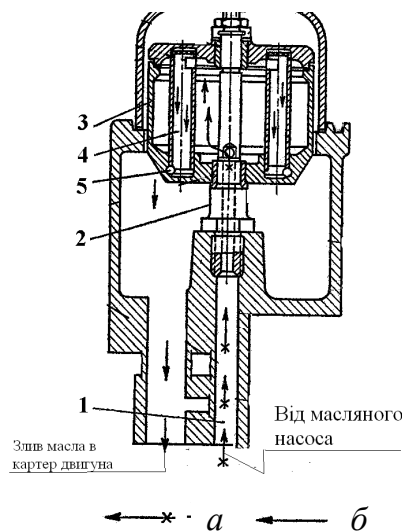


Рис. 71. Схема неповнопоточної центрифуги:

a – шлях брудного масла; *б* – шлях масла після тонкого очищення;

1 – трубка; 2 – вісь; 3 – ротор; 4 – трубки ротора; 5 – жиклери

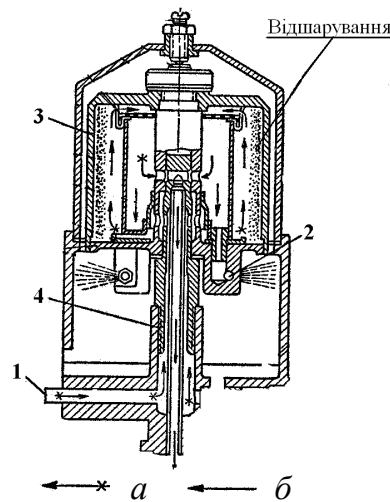


Рис. 72. Схема повнопотокової центрифуги:

a – шлях брудного масла; *б* – шлях масла після тонкого очищення;
1 – канал; *2* – жиклери; *3* – ротор

У багатьох автомобільних і тракторних двигунах для забезпечення бажаної температури масла застосовують масляні радіатори. Залежно від способу відведення тепла масляні радіатори бувають двох типів:

- 1 – радіатори з повітряним охолодженням (повітряномасляні);
- 2 – радіатори з водяним охолодженням (водомасляні).

Повітряномасляні радіатори встановлюють зазвичай перед радіаторами водяного охолодження. Масло в цих радіаторах охолоджується потоком повітря.

Водомасляні радіатори розташовують в системі охолодження, що забезпечує постійність температури масла під час роботи двигуна і швидке підігрівання його у разі пуску холодного двигуна. Водомасляний радіатор двигуна показано на рис. 73.

Мастило надходить по трубках радіатора, які омиваються охолоджуючою рідиною. У системах змащення з водомасляними радіаторами встановлюють термостат. Термостат перекриває подавання масла в радіатор, поки температура масла не досягне 90-100 °С (рис. 73, *a*). Потім він відкривається, і масло починає надходити в радіатор, де відбувається його охолодження (рис. 73, *б*). Це забезпечує швидке прогрівання масла під час пуску холодного двигуна.

Під час роботи двигуна якість масла погіршується. Масло розріджується парами палива, що прориваються в кратер двигуна і конденсуються тут, насичується вологою з повітря і вологою, що виходить під час конденсації водяної пари, що міститься у вихлопних газах, а також різними іншими домішками. Особливо шкідливе насичення масла сірчаною та сірчистою кислотами, які викликають сильну корозію деталей двигуна. Ці кислоти утворюються в картері під час розчинення у воді сірчаного газу.

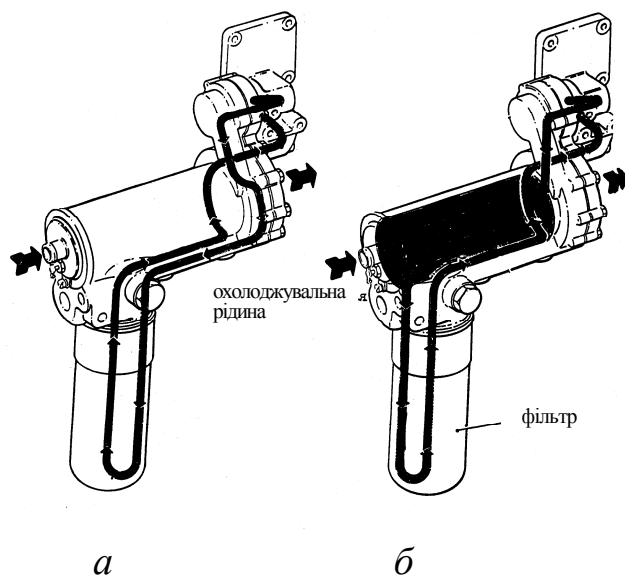


Рис. 73. Схема роботи водомасляного радіатора:

а – перекриття подавання масла в радіаторі;

б – відкриття подавання масла в радіатор

Сірчистий газ є продуктом згорання наявним у бензині у вигляді домішки сірки. Для видалення з картера парів бензину, що прориваються, вихлопних газів та пилу і для підвищення терміну служби в сучасних автомобільних і тракторних двигунах застосовують вентиляцію картера. Вентиляція картера може здійснюватися трьома шляхами:

- 1 – відсмоктуванням газів з картера в атмосферу;
- 2 – відсмоктуванням в систему живлення двигуна;
- 3 – подачею повітря під тиском.

Лекція 8. СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ З ВПОРСКУВАННЯМ ПАЛИВА ТА СИСТЕМИ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ

Системи з впорскуванням бензину складніші, ніж карбюраторні, і потребують більш кваліфікованого обслуговування в експлуатації.

На сьогодні паливні системи з впорскуванням класифікуються за різними ознаками: місцем підведення палива; способом подавання палива; способом регулювання кількості суміші.

На рис. 74 показані варіанти розташування форсунок для впорскування бензину. Паливо впорскується форсункою 1 безпосередньо в циліндр під тиском 3-3,8 МПа (рис. 74, а). Займання паливної суміші відбувається свічкою запалення 2. У впускний трубопровід (рис. 74, б) бензин впорскується форсункою 1 за низького тиску (0,15-0,2 МПа).

Система впорскування К-Jetronic є механічною системою постійного впорскування палива. Паливо під тиском надходить до форсунок, встановлених перед впускними клапанами у впускному колекторі. Форсунка безперервно розпиляє паливо, що надходить під тиском. Тиск палива (витрата) залежить від навантаження двигуна (від розрідження у впускному колекторі) і від температури охолоджувальної рідини.

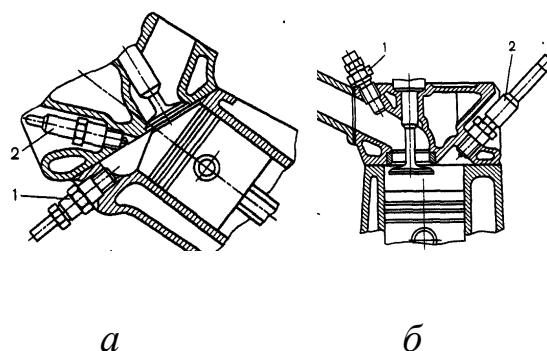


Рис. 74. Розташування форсунок для впорскування бензину:

а – впорскування в циліндр; б – впорскування у трубопровід;

1 – форсунка; 2 – свічка запалення

Кількість повітря, що підводиться, постійно вимірюється витратоміром, а кількість палива, що впорскується, строго пропорційна (1:14,7) кількості повітря (за винятком ряду режимів роботи двигуна, таких як пуск холодного двигуна, робота під повним навантаженням і т. д.), що надходить, і регулюється дозатором-розподільником палива. Дозатор-розподільник, або регулювальник складу і кількості робочої суміші, складається з регулювальника кількості палива і витратоміра повітря. Регулювання кількості палива забезпечується розподільником, керованим витратоміром повітря і регулювальником тиску. У свою чергу дія регулювальника тиску, визначається величиною розрідження, що підводиться до нього, у впускному трубопроводі і температурою рідини системи охолодження двигуна.

Система впорскування KE-Jetronic – це механічна система постійного впорскування палива, подібна до системи K-Jetronic, але з електронним блоком керування. У системі KE-Jetronic регулювальник тиску замінений електрогідравлічним регулювальником.

Система KE-Jetronic є подальшим вдосконаленням системи K-Jetronic. Вона складніша, але дозволяє краще оптимізувати дозування палива. Мета дозування – це паливна економічність, найменша токсичність відпрацьованих газів, якнайкраща динаміка. На жаль, поєднати ці складові не вдається.

Система впорскування L-Jetronic – це керована електронікою система багатоточкового (розподіленого) переривчастого впорскування палива. Головні відмінності від систем K- і KE-Jetronic: немає дозатора-розподільника і регулювальника тиску, всі форсунки (пускова та робочі) з електромагнітним керуванням. Система впорскування L-Jetronic – досконаліша система. Вона дозволяє збільшити економічність, понизити токсичність відпрацьованих газів, поліпшити динаміку автомобіля.

Система впорскування LE-Jetronic подібна до системи L-Jetronic. Різниця полягає переважно в електроніці.

Система LH-Jetronic відрізняється від систем LE-Jetronic головним чином вимірником витрати повітря. Вона є також

системою переривчастого впорскування палива низького тиску. Електронний блок управління приводить співвідношення повітря і палива у відповідність з навантаженням і числом оборотів колінчастого вала двигуна.

MONO-Jetronic – це система впорскування, керована електронним блоком управління. Система має одну на весь двигун магнітоелектричну форсунку. Паливо, як і в системах L-Jetronic, впорскується з інтервалами.

Оскільки паливна форсунка розташована перед дросельною заслінкою, практично на місці жиклера карбюратора, тиск палива в системі становить всього біля 0,1 МПа. Регулювальник тиску системи розташований поблизу форсунки в центральному вузлі впорскування, де розміщені також дросельна заслінка, вимикач положення дросельної заслінки, датчик температури всмоктуваного повітря.

Система MONO-Jetronic не має витратоміра повітря, тому співвідношення мас повітря і палива тут менш точне і визначається тільки положенням дросельної заслінки, температурою всмоктуваного повітря і частотою обертання колінчастого вала.

У цій системі пристроєм, що визначає положення дросельної заслінки, є потенціометр. Він інформує електронний блок управління про положення заслінки в даний момент часу.

Таким чином, основне дозування палива здійснюється за трьома параметрами: положенням дросельної заслінки, температурою всмоктуваного повітря і частотою обертання колінчастого вала двигуна. Коректування дозування під час холодного пуску і прогрівання здійснюється електронним блоком управління за імпульсами, що отримуються від датчиків температури всмоктуваного повітря, яке охолоджує рідину і потенціометр дросельної заслінки. Електронний блок коректує дозування і у разі повного навантаження. Коректування за токсичністю відпрацьованих газів здійснюється за сигналами λ -зонда. Зміна дозування відбувається внаслідок збільшення або зменшення часу уприскування у разі постійного тиску палива.

Впровадження електроніки в управління системами запалення та живлення привело до створення об'єднаного, чи центрального, електронного управління двигуном.

Системи об'єднаного електронного керування впорскуванням (сумішоутворенням) і запаленням мають такі переваги:

- поєднання функцій агрегатів і датчиків дозволяє скоротити їх кількість;

- процеси запалення і сумішоутворення оптимізуються спільно, при цьому покращуються характеристики крутного моменту, витрати палива, складу відпрацьованих газів, полегшується пуск і прогрівання холодного двигуна;

- відкриваються великі можливості для виконання інших функцій (управління автоматичною коробкою передач, протибуксувальною системою ведучих коліс, антиблокувальною гальмівною системою, кондиціонером, протиугінним пристроєм).

Істотним недоліком газоподібного палива є його низька об'ємна теплота згорання.

У разі використання газових двигунів на транспортних засобах для забезпечення їх достатнього радіусу дії необхідний запас газоподібного палива, яке міститься в ємкостях зі сталі або алюмінієвих сплавів. Гази, вживані в стислому стані, знаходяться в балонах під тиском до 19,6 МПа, а гази, використовувані в зрідженому стані, – під тиском до 1,57 МПа.

У газових двигунах, так само як і в двигунах, що працюють на рідкому паливі, може бути здійснене зовнішнє чи внутрішнє сумішоутворення.

Для двигунів із зовнішнім сумішоутворенням без надуву газ надходить до пристроїв змішувачів під тиском, якомога ближчим до атмосферного. Тільки в цьому випадку запобігає витік газу в зовнішнє середовище і проникнення повітря в газопровід. За надлишкового тиску відбувається витік газу, а за наявності розрідження в газопроводі, утворення горючої суміші з газу і повітря може призвести до вибуху.

У двигунах з внутрішнім сумішоутворенням без надуву, а також у двигунах з будь-яким сумішоутворенням, але з надувом газ підводиться до газового клапана під тиском, який дещо перевищує тиск продування чи надуву.

Тиск газу перед пристроями змішувачів повинен підтримуватися постійним.

У стаціонарних двигунах для підтримки постійного тиску перед органами змішувачів встановлюють регулювальник тиску газу, який автоматично підтримує заданий тиск незалежно від витрати газу двигуном.

Унаслідок великих змін тиску газу і його витрати в газових транспортних двигунах на шляху газу від балонів до двигуна встановлюють редуктор, що знижує тиск газу перед пристроями змішувачів. Цим редуктором є автоматичний регулювальник тиску газу, він відрізняється від регулювальника тиску газу, який використовується в системі живлення стаціонарного двигуна, лише вищим ступенем зниження тиску газу.

Залежно від кількості елементів, в яких відбувається послідовне зниження тиску газу, розрізняють одно-, дво- і багатоступінчасті редуктори.

Лекція 9. СИСТЕМИ COMMON RAIL ТА НАСОС-ФОРСУНКА

9.1. Common Rail

Дизель – системи Common Rail (рис. 75) – це найсучасніший етап еволюції бензинових і дизельних двигунів з прямим впорскуванням палива. Відмінність її від традиційних дизелів з низьким тиском подавання палива за наявності рампи, куди під великим тиском понад (більш 1000 бар) подається дизельне паливо, яке далі розподіляється між електричними форсунками із соленоїдними клапанами. Третє покоління систем Common Rail відрізняється використанням п'єзоелектричних інжекторів для збільшення точності впорскування, кількісним збільшенням фаз

впорскування, а також підвищенням тиску подавання палива в рампу (до 1800 бар). Його різновид для бензинових двигунів називається „пряме впорскування” (FSI,GDI і т.п.).



Рис. 75. Загальний вигляд Common Rail

Історія. Прототип системи Common Rail був розроблений в кінці 60-тих років Робертом Хубером в Швейцарії. Далі його технологія була розвинена Мазко Гансером з Швейцарського Федерального інституту технології в Цюріху. У середині 90-тих років доктор Шохей Іто і Масахико Міяки з Корпорації DENSO (Японія) розробили систему Common Rail для комерційного транспорту і втілили її в системі ECD-U2, яка почала використовуватися на вантажівках HINO Rising Ranger, а потім у 1995 році продали технологію іншим виробникам. Тому DENSO вважається піонером в адаптації системи Common Rail до потреб автомобілебудування. Сучасні системи Common Rail працюють за тим же принципом. Вони керуються блоком електронного управління, який відкриває кожен інжектор електронний, а не механічний. Ця технологія була детально розроблена спільними зусиллями компаній Magneti Marelli, Centro Ricerche Fiat і Elasis. Після того, як FIAT розробив дизайн і концепцію системи, вона була продана німецькій компанії Robert Bosch GmbH для подальшого завершення розробки масового продукту. Загалом це стало великим прорахунком компанії FIAT, оскільки нова технологія стала дуже вигідною. Але італійський концерн був у той час в гнітючому фінансовому становищі і не мав ресурсів для завершення виконаних робіт. Проте італійці перші застосували систему Common Rail в 1997 році на Alfa Romeo 156 1.9 JTD, і тільки потім вона з'явилася на Mercedes-Benz C 220 CDI.

Двигуни Common Rail використовуються в суднобудуванні і для локомотивів. Система Cooper-Bessemer GN-8 представник модифікованої системи Common Rail, де використовується гідравлічний контроль.

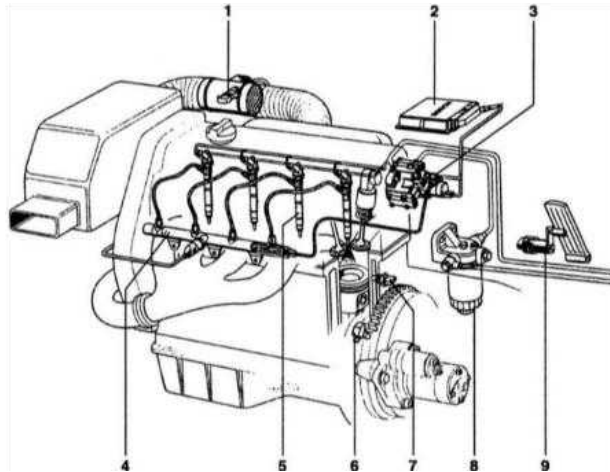


Рис. 76. Схема розташування елементів Common Rail на двигунах внутрішнього згорання:

1 – вимірник витрати повітря; 2 – ECU; 3 – паливний насос високого тиску; 4 – акумулятор високого тиску; 5 – паливні форсунки; 6 – датчик частоти обертання колінчастого вала; 7 – датчик температури охолоджувальної рідини; 8 – паливний фільтр; 9 – датчик положення педалі управління подачею палива

Функціонування системи впорскування. Відмітна характеристика системи зі спільним трубопроводом «Common Rail» (в акумуляторній паливній системі) полягає в розділенні вузла, що створює тиск, і вузла впорскування палива (рис. 76).

Основу системи складає резервуар (акумулятор). Тиск впорскування не залежить від кількості палива, яке впорскується, і частоти обертання колінчастого вала двигуна. Запас палива під тиском знаходиться в акумуляторі високого тиску «Common Rail» і готовий до упорскування. Кількість палива, яке впорскується, визначається потребою водія, а тиск впорскування розраховується блоком управління (ECU) за інформацію від різних датчиків. У точно визначений момент ECU передає сигнал збудження до

соленоїда форсунки, що означає початок подавання палива. Кількість палива, яке впорскується, визначається періодом відкриття розпилювача і тиском в системі. Датчики системи упорскування палива ECU містять:

- ECU;
- датчик частоти обертання колінчастого вала;
- датчик положення розподільного вала;
- датчик положення педалі акселератора;
- датчик тиску в системі зі спільним трубопроводом;
- датчик температури охолоджувальної рідини;
- вимірник витрати повітря.

За інформацією від датчиків і вимоги водія (положення педалі акселератора) ECU визначає миттєву операційну характеристику двигуна і автомобіля загалом. Блок обробляє сигнали, вироблені датчиками і передані по лініях зв'язки, і за цією інформацією керує системою впорскування в режимі відкритого чи закритого контура. Частота обертання колінчастого вала двигуна вимірюється датчиком частоти обертання колінчастого вала, а датчик положення розподільного вала визначає послідовність впорскування палива (довжина фази). Електричний сигнал від потенціометра положення педалі акселератора передає ECU сигнал про ступінь натиснення водієм на педаль акселератора.

Вимірник витрати повітря передає ECU сигнал з даними щодо миттєвого потоку повітря, який дозволяє розрахувати процес повного згорання палива з мінімальним вмістом шкідливих речовин у відпрацьованих газах. Оскільки двигун обладнаний турбокомпресором і регулюванням збільшення тиску надуву, додатковий датчик також вимірює цей тиск. За низької зовнішньої температури і холодному двигуні ECU визначає момент впорскування та інші параметри, відповідні особливому експлуатаційному режиму. Залежно від автомобіля і підвищення вимог до безпеки і комфорту для передачі інформації ECU можуть використовуватися додаткові датчики.

На рис. 77 показано приклад дизельного чотирициліндрового двигуна із системою впорскування палива «Common Rail».

Подавання палива під низьким тиском системи Common Rail містить:

- паливний бак з попереднім паливним фільтром;
- підкачуючий паливний насос;
- паливний фільтр;
- паливопроводи низького тиску.

Підкачувальний паливний насос (рис. 78). Електричний підкачувальний паливний насос з попереднім паливним фільтром безперервно подає певну кількість палива з паливного бака до паливного насоса високого тиску. Насос не лише подає паливо, але в межах роботи системи безпеки повинен припинити подавання палива в разі аварії, тобто під час увімкненого запалення та зупиненого двигуна.

Паливний насос складається з трьох основних елементів:

- насоса;
- електродвигуна;
- кришки.

Паливний фільтр. Недостатнє очищення палива може призвести до пошкодження вузлів паливного насоса високого тиску, нагнітальних клапанів і розпилювачів форсунок. Паливний фільтр очищає паливо перед його надходженням у паливний насос високого тиску і таким чином запобігає передчасному зношенню чутливих вузлів насоса.

Дизельне паливо може містити воду або в зв'язаній формі (емульсія), або у вільній формі (конденсація пари води під час зміни температури). Якщо вода потрапить у систему впорскування, це може призвести до корозії елементів системи впорскування, тому встановлюють попереджувальну сигналізацію, яка включає контрольну лампу в комбінації приладів, якщо необхідно злити воду з паливного фільтру.

Подавання палива під високим тиском системи Common Rail містить:

- паливний насос високого тиску з клапаном регулювання тиску;
- паливопроводи високого тиску;
- акумулятор високого тиску з датчиком тиску, обмежувачем тиску, обмежувачем потоку, форсунками;
- поворотний паливопровід.

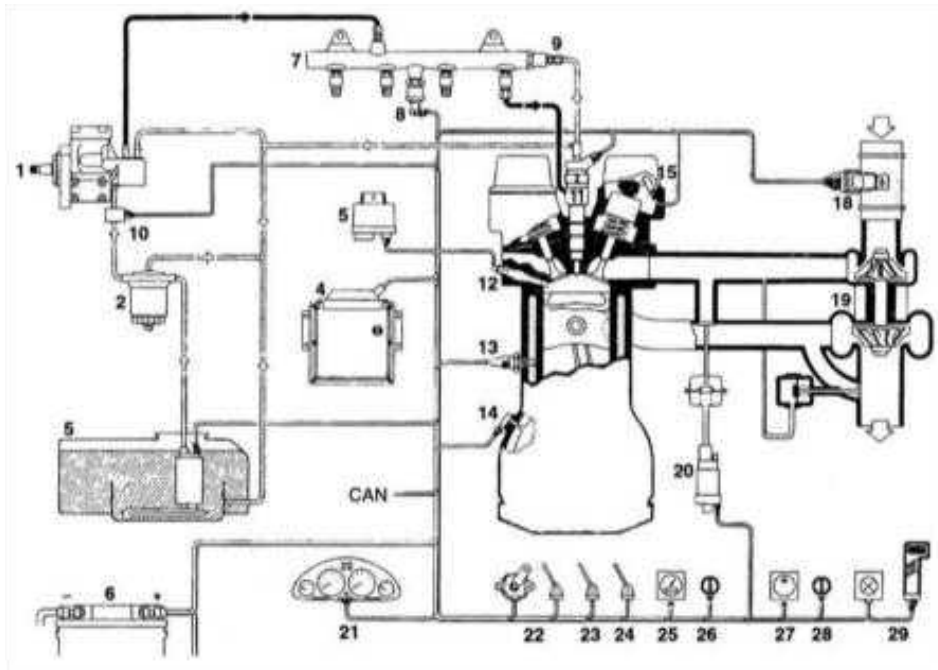


Рис. 77. Дизельний чотирициліндровий двигун із системою впорскування палива «Common Rail»:

1 – паливний насос високого тиску; 2 – паливний фільтр; 3 – паливний бак з попереднім паливним фільтром і підкачувальним паливним насосом; 4 – ECU; 5 – блок управління свічками розжарювання; 6 – акумуляторна батарея; 7 – акумулятор високого тиску (rail); 8 – датчик тиску; 9 – клапан обмеження тиску; 10 – датчик температури палива; 11 – форсунка; 12 – свічка розжарювання; 13 – датчик температури охолоджувальної рідини; 14 – датчик частоти обертання колінчастого вала; 15 – датчик положення розподільного вала; 16 – датчик температури повітря, яке надходить до двигуна; 17 – датчик тиску надуву (BPS); 18 – вимірник витрати повітря; 19 – турбокомпресор; 20 – позиціонер EGR; 21 – комбінація приладів; 22 – датчик положення педалі акселератора; 23 – гальмівні контакти; 24 – перемикач на педалі зчеплення; 25 – датчик швидкості; 26 – блок управління швидкістю автомобіля; 27 – компресор кондиціонера; 28 – блок керування кондиціонером; 29 – діагностичний прилад з рознімачем

Схематичне зображення подовжного перерізу *паливного насоса високого тиску* показано на рис. 79.

Паливний насос високого тиску розташований на границі ступенів низького і високого тиску палива. При всіх експлуатаційних режимах термін служби паливного насоса відповідає терміну служби автомобіля.

Паливний насос змащують дизельним паливом. Паливо стискується трьома поршнями, встановленими радіально під кутом 120° один до одного. Насос подає три порції палива за один оберт колінчастого вала. Для дизельного двигуна з робочим об'ємом 2,0 л, обертання колінчастого вала, що працює з номінальною частотою, і створюваним тиском 1350 бар, для приводу насоса необхідна потужність 3,8 кВт з урахуванням механічного ККД приблизно 90 %.

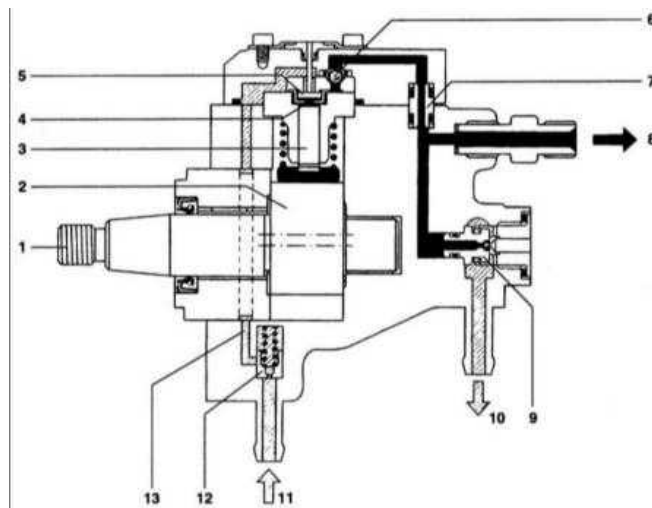


Рис. 78. Підкачувальний паливний насос:

1 – приводний вал; 2 – ексцентриковий кулачок; 3 – насосний елемент з плунжером насоса; 4 – відсік насосного елемента; 5 – всмоктуючий клапан; 6 – випускний клапан; 7 – ущільнення; 8 – з'єднання високого тиску до акумулятора тиску; 9 – кульковий клапан; 10 – повернення палива; 11 – подавання палива від підкачувального паливного насоса; 12 – запобіжний клапан з дросельним отвором; 13 – подавання палива під низьким тиском до насосного елемента

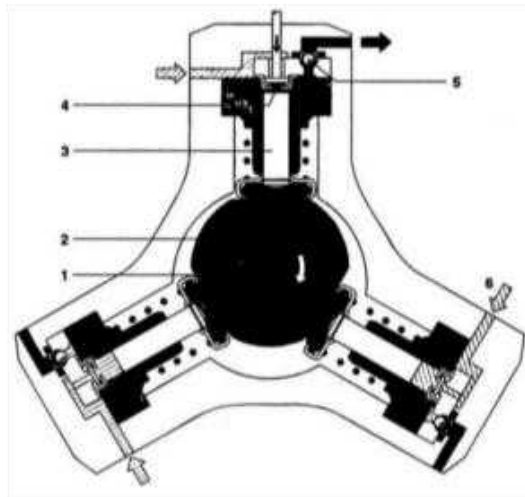


Рис. 79. Паливний насос високого тиску:

1 – приводний вал; 2 – ексцентриковий кулачок; 3 – насосний елемент з плунжером насоса; 4 – всмоктуючий клапан; 5 – випускний клапан; 6 – вхід

Паливний насос високого тиску через паливопроводи високого тиску подає паливо під тиском 1350 бар в акумулятор високого тиску.

Функціонування насоса. Підкачуючий паливний насос подає паливо через фільтр з віддільником води до входу і запобіжного клапана паливного насоса високого тиску. Паливо через дросельний отвір запобіжного клапана змащує рухливі елементи насоса, а також охолоджує його. Приводний вал з ексцентриковими кулачками переміщує три плунжери насоса вгору і вниз відповідно до форми кулачка. Як тільки тиск подачі перевищує тиск відкриття запобіжного клапана (0,5... 1,5 бар), що підкачує насос, він примушує паливо пройти через впускний клапан паливного насоса високого тиску у відсік насосного елемента, поршень якого переміщується вниз (такт впускання). Впускний клапан закривається, коли поршень насоса минає через (НМТ) і, оскільки паливо не може витекти з відсіку насосного елемента, воно стискується незалежно від тиску подачі.

Тиск, що збільшується, відкриває випускний клапан і, як тільки досягається тиск, рівний тиску в акумуляторі, стисле паливо входить у контур високого тиску. Поршень насоса продовжує поставляти паливо, поки не досягає (ВМТ) (нагнітальний хід), після

чого тиск зменшується і випускний клапан закривається. Паливо, що залишається у відсіку насосного елемента, розширюється і поршень насоса переміщується вниз. Як тільки тиск у відсіку насосного елемента стає нижчим за тиск, який створюється підкачуючим насосом, впускний клапан відкривається і процес повторюється.

Оскільки продуктивність насоса перевищує споживання палива двигуном, надлишкове паливо під високим тиском через клапан регулювання тиску повертається в паливний бак. Це приводить до непотрібного нагрівання палива і зниження спільного ККД.

Акумулятор високого тиску (rail) (рис. 80). Тиск, який створюється паливним насосом високого тиску, поширюється через акумулятор і паливопроводи до форсунки. Одночасно, за рахунок об'єма палива в акумуляторі зменшуються коливання тиску палива, що створюються паливним насосом високого тиску і форсунками, що відкриваються. Стисливість палива як наслідок високого тиску використовується для досягнення ефекту акумулятора. Тиск палива вимірюється датчиком і підтримується на необхідному рівні клапаном регулювання тиску.

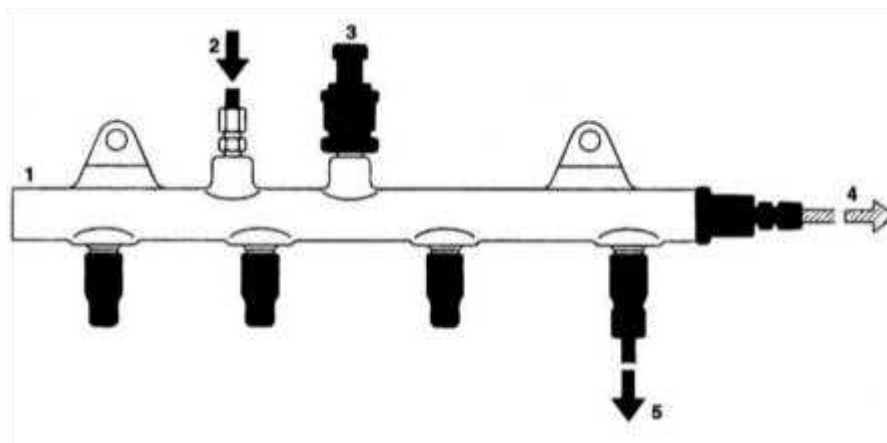


Рис. 80. Акумулятор високого тиску (rail):

- 1 – акумулятор високого тиску; 2 – вхід від паливного насоса високого тиску;
- 3 – датчик тиску в акумуляторі; 4 – повернення палива в паливний бак;
- 5 – до паливної форсунки

Паливопроводи високого тиску. Паливопроводи високого тиску призначені для передачі палива з акумулятора високого тиску до форсунок. Вони повинні протистояти високочастотним коливанням тиску, що виникають під час роботи двигуна. Паливопроводи виготовлені зі сталі і мають зовнішній діаметр 6 мм і внутрішній діаметр 2,4 мм. Всі паливопроводи високого тиску повинні мати однакову довжину. Різниця відстані між акумулятором і кожною паливною форсункою компенсується за рахунок вигинання паливопроводів.

Датчик тиску передає сигнал ECU, який відповідає реальному тиску в акумуляторі (рис. 81). Датчик тиску складається з таких елементів:

- об'єднаного елемента датчика, привареного до корпусу;
- плати з електричним контуром;
- корпусу датчика з електричним рознімачем.

Паливо під тиском через отвір впливає на діафрагму датчика, де встановлений елемент датчика (напівпровідниковий пристрій), що перетворює тиск в електричний сигнал. Через контакти рознімача і електричний ланцюг сигнал, що генерується і посилюється, передається ECU. Датчик працює так: у разі зміни форми діафрагми змінюється електричний опір шарів, приклеєних до діафрагми. Зміна тиску на 1500 бар приводить до зміни форми діафрагми на 1 мм.

Залежно від тиску, що прикладається, вихідна напруга датчика змінюється від 0 до 70 мВ і після посилення становить 0,5-4,5 В. Точне вимірювання тиску в акумуляторі необхідне для правильного функціонування системи впорскування палива. У робочому діапазоні вимірювальна точність має знаходитися в межах $\pm 2\%$. Під час виходу датчика тиску клапан регулювання тиску переходить в режим «діафрагма» і система впорскування, використовуючи запасну (м'яку) функцію, приймає заздалегідь задану величину тиску.

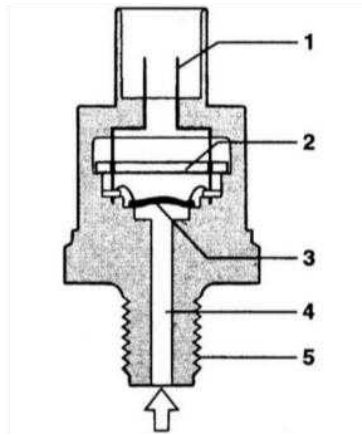


Рис. 81. Датчик тиску:

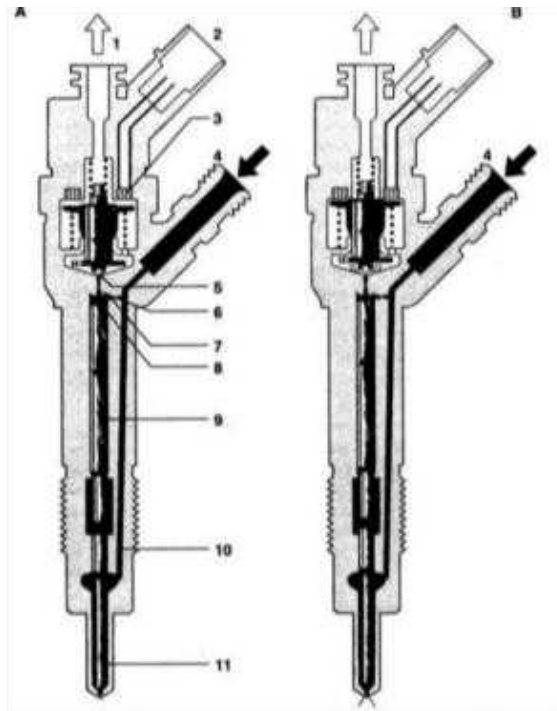
1 – електричні контакти; 2 – плата і контур ланцюга; 3 – діафрагма з елементом датчика; 4 – з'єднання високого тиску; 5 – різь датчика

Клапан обмеження тиску виконує ту ж функцію, що і клапан надлишкового тиску. За надлишкового тиску клапан, відкриваючись, обмежує тиск в акумуляторі. Тиск відкриття клапана – 1500 бар.

Клапан обмеження тиску – механічний пристрій, що містить такі елементи:

- корпус із зовнішньою різьєю для вкручування в акумулятор тиску;
- з'єднання трубки повернення палива в паливний бак;
- рухливий плунжер;
- пружину.

Форсунка забезпечує подавання потрібної кількості палива в камеру згорання (рис. 82). У точно встановлений момент ECU передає сигнал збудження до соленоїда форсунки, що означає початок подавання палива. Кількість палива, що впорскується, визначається періодом відкриття розпилювача і тиском в системі. Паливо, що повертається від клапана регулювання тиску і ступеня низького тиску, подається в колектор разом з паливом, яке здійснювало змащування паливного насоса високого тиску.



a *б*
Рис. 82. Форсунка:

a – форсунка закрита (нерухомий стан); *б* – форсунка відкрита (впорскування палива); 1 – повернення палива; 2 – електричний рознімат; 3 – пусковий елемент (клапан соленоїда); 4 – вхід палива від акумулятора тиску; 5 – кульковий клапан; 6 – отвір витоку; 7 – отвір подачі; 8 – відсік управління клапаном; 9 – плунжер управління клапаном; 10 – канал подавання палива до розпилювача; 11 – голка розпилювача

Форсунка складається з таких вузлів:

- розпилювача;
- гідравлічної системи;
- клапана соленоїда.

Паливо від нарізного з'єднання високого тиску через канал подається до розпилювача і через отвір подачі у відсік управління клапаном. Відсік управління клапаном сполучений з поворотним паливопроводом через отвір витоку, сполучений з клапаном соленоїда. Під час закриття отвору витоку гідравлічне зусилля, що прикладається до плунжеру управління клапаном, перевищує зусилля від тиску на конусний торець голки розпилювача. У результаті голка розпилювача опускається вниз і герметично перекриває подавання палива під високим тиском в камеру згорання.

Під час відкриття клапана соленоїда форсунки відкривається отвір витоку, який призводить до зниження тиску у відсіку управління клапаном, внаслідок чого також зменшується гідравлічний тиск на плунжер. Як тільки гідравлічне зусилля стає нижчим за зусилля від тиску на конусний торець голки розпилювача, вона відкривається і паливо впорскується в камеру згорання. Це непряме керування голкою розпилювача з використанням гідравлічної системи збільшення зусилля застосовується, оскільки сили, які потрібні для швидкого відкриття голки, не можуть генеруватися безпосередньо клапаном соленоїда. Так звана кількість палива для керування, необхідна для відкриття голки розпилювача, подається на додаток до кількості палива, яке необхідно фактично ввести в циліндр, і воно через отвір витоку, сполучений з клапаном соленоїда, подається в поворотний паливопровід.

На додаток до кількості палива для керування також відбувається втрата палива на напрямних штовхача клапана і голці розпилювача.

Дія форсунки при роботі двигуна і створенні тиску паливним насосом високого тиску підрозділяється на такі чотири етапи:

- форсунка закрита (з додатком високого тиску);
- форсунка відкривається (початок впорскування палива);
- форсунка відкрита повністю;
- закриття форсунки (закінчення впорскування палива).

Під час вимкненого двигуна і відсутності тиску в акумуляторі пружина розпилювача закриває форсунку.

Форсунка закрита. У нерухомому стані клапан соленоїда форсунки не збуджується і тому закритий. Отвір витоку закритий і пружина клапана притискує кульку до гнізда отвору витоку. Високий тиск від акумулятора тиску збільшується у відсіку керування клапаном і одночасно присутній в об'ємі відсіку голки розпилювача. Тиск від акумулятора, який прикладається в торцевій поверхні плунжера управління, разом з силою пружини її розпилювача утримує голку в закритому положенні, діючи проти сил відкриття, прикладених у стадії тиску.

Форсунка відкривається. Форсунка знаходиться в нерухомому положенні. Клапан соленоїда збуджується струмом, який забезпечує швидке відкриття клапана. Негайно великий струм, що подається до соленоїда, зменшується до струму, достатнього для утримання клапана соленоїда у відкритому положенні. Коли відкривається отвір витоку, паливо витікає з відсіку управління клапаном у порожнину, розташовану над клапаном, і звідти – через поворотний трубопровід у паливний бак.

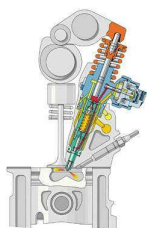
Зусилля, створене соленоїдом, перевищує зусилля пружини і відкривається отвір витоку, який призводить до зниження тиску у відсіку управління клапаном, внаслідок чого також зменшується гідравлічний тиск на плунжер. Як тільки гідравлічне зусилля стає нижчим за зусилля від тиску на конусний торець голки розпилювача, голка розпилювача відкривається і паливо впорскується в камеру згорання.

Швидкість відкриття голки розпилювача визначається різницею швидкостей потоку через отвір витоку і отвір подавання. Плунжер управління досягає верхнього положення, де є подушка палива, утворена потоком палива між отворами витоку і подавання палива. У цьому положенні розпилювач форсунки повністю відкритий і паливо упорскує в камеру згорання під тиском, який дорівнює тиску в акумуляторі.

Закриття форсунки. Після припинення подавання напруги до клапана соленоїда клапанна пружина переміщує якір вниз і кулька закриває отвір витоку. Якір складається з двох частин. Однак, незважаючи на те, що пластина якоря управляється плечиком, під час переміщення вниз він може «відпружинити» з поворотною пружиною так, що не з'являться сили, які діють вниз на якір і кульку.

Під час закриття отвору витоку гідравлічне зусилля, яке прикладається до плунжеру управління клапаном, перевищує зусилля від тиску на конусний торець голки розпилювача. В результаті голка розпилювача опускається вниз і герметично перекриває подавання палива під високим тиском в камеру згорання. Швидкість руху голки розпилювача визначається потоком через отвір подавання.

9.2. Насос-форсунка



Основними компонентами паливної системи з насос-форсунками є механічний підкачувальний насос, насос-форсунки і керуючий цими форсунками електронний блок управління (EDC) (рис. 83). Підкачуючий насос призначений для подачі палива під низьким тиском до насос-форсунок, які є комбінацією окремого плунжерного насоса високого тиску і форсунки в одному корпусі. Привід кожної насос-форсунки здійснюється від окремого кулачка розподільного вала. Початком подавання палива і цикловим подаванням керує електромагнітний клапан за сигналом блоку управління двигуном. Залежно від показників датчиків двигуна блок управління (EDC) розраховує необхідне циклове подавання і момент випередження впорскування палива для кожного циліндра двигуна. Оптимальна робота насос-форсунки залежить від правильного регулювання її приводу. У цій системі досягається найвищий з існуючих на даний момент максимальний робочий тиск – близько 2000 бар (*прим:* на сьогодні системи коммонрейл четвертого покоління створюють тиск 2500 бар).

Паливна система з насос-форсунками також чутлива до якості дизельного палива, як і інші паливні системи дизельних двигунів. Наявність в дизельному паливі води, або низька змащування здатність палива призводять до підвищеного зношення насос-форсунок з передчасним виходом з ладу.

Недоліки і переваги:

Насос-форсунку встановлюють в головку блока двигуна для кожного циліндра. Вона приводиться в дію від кулачка розподільного вала за допомогою штовхача. Магістралі подавання і зливання палива виконані у вигляді каналів у головці блока. За рахунок цього насос-форсунка може розвинути тиск до 2200 бар. Дозування палива, стислого до такого ступеня, і керування кута випередження впорскування здійснює електронний блок управління, видаючи сигнали на замочні електромагнітні або

п'єзоелектричні клапани насос-форсунок. Насос-форсунки можуть працювати в багатоімпульсному режимі (2-4 впорскування за цикл). Це дозволяє провести попереднє впорскування перед основним, подаючи в циліндр спочатку невелику порцію палива, що пом'якшує роботу мотора і знижує токсичність вихлопу. Недолік насос-форсунок – залежність тиску впорскування від обертів двигуна і висока вартість даної технології.

Нове покоління систем впорскування палива на основі одного насоса, регульованого за часом, для сучасних легкових і вантажних автомобілів з дизелями з безпосереднім впорскуванням характеризується модульною конструкцією. Ці системи містять електроннокерований блок насос-форсунки (PDE) і блок насоса (PLD).

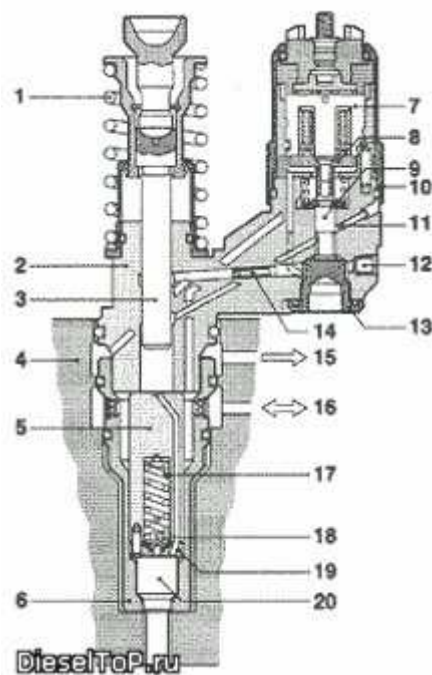


Рис. 83. Насос-форсунка:

1 – пружина; 2 – корпус насоса; 3 – плунжер насоса; 4 – головка циліндра;
 5 – тримач пружини; 6 – стягнута гайка; 7 – статор; 8 – якірна пластина;
 9 – голка соленоїдного клапана; 10 – стягнута гайка соленоїдного клапана;
 11 – заглушка каналу високого тиску; 12 – заглушка каналу низького тиску;
 13 – упор голки соленоїда; 14 – звуження; 15 – повернення палива;
 16 – подача палива; 17 – інжектор; 18 – нажимний штифт; 19 – прокладка;
 20 – розпилувач

Робота блока насос-форсунки (PDE). Електронно-керований блок насос-форсунки є одноциліндровим паливним насосом високого тиску. Цей блок характеризується інтегральним соленоїдним клапаном і призначений для установа безпосередньо на головці циліндрів дизеля. Кронштейни, що працюють на розтягування, утримують окремі модулі, які мають розподільні ланцюги подавання палива для кожного з циліндрів двигуна. Кулачок на розподільному валу приводить в дію індивідуальну для кожного циліндра насос-форсунку безпосередньо через коромисло або за допомогою штанги штовхача і коромисла. Швидкодіючий соленоїдний клапан, відповідно до параметрів, визначуваних у програмній карті двигуна, забезпечує точне регулювання часу початку впорскування палива і швидкості потоку. У відключеному положенні соленоїдний клапан забезпечує необмежений прохід потоку палива від насоса до ланцюга низького тиску системи. Соленоїдний клапан включається під час ходу подачі плунжера насоса, перекриваючи перепускний клапан, таким чином, герметизуючи ланцюг високого тиску. Паливо потім подається до форсунки, як тільки перевищується тиск відкриття розпилювача. Тобто впорскування палива починається, коли соленоїдний клапан закривається. Насос-форсунка використовується за тиском впорскування палива до 160 МПа (180 МПа для перспективних моделей). Ця конструкція також може застосовуватися для вибіркового індивідуального відключення циліндра (за часткових навантажень).

Запитання для самоконтролю

1. Скільки тактів використовувалося в двигуні Ленуара?
2. За рахунок чого Отто досяг більшої продуктивності в двигуні Ленуара?
3. Чому саме подорож до Росії знадобилася Доймлеру для здійснення його задумів?
4. Що є "серцем" типового РПД?
5. Які найважливіші переваги РПД порівняно з традиційними поршневими бензиновими моторами?
6. За якими основними ознаками класифікують всі вживані на будівельних і дорожніх машинах поршневі двигуни внутрішнього згорання?
7. Назвіть показники, які характеризують роботу двигуна ?
8. Маса металу, що витрачається на виготовлення остову, складає до ...% загальної маси тихохідного двигуна і до ...% швидкохідного.
9. Якого вигляду можуть бути циліндри двигунів з повітряним охолодженням?
10. Завдяки чому мокрі гільзи частіше застосовуються в двигунах, ніж сухі?
11. З чого складається поршнева група?
12. Які тронькові кривошипно-шатунні механізми застосовують на автомобільних і тракторних двигунах ?
13. Залежно від типу двигуна і розташування циліндрів, шатуни можна розділити на три групи, які?
14. З яких матеріалів зазвичай виготовляють колінчасті вали яким способом?
15. Яких двох основних видів можуть бути газорозподільні механізми?
16. Для чого встановлюють чотири клапани в циліндрі?
17. Що дає установка трьох клапанів у циліндрі?
18. Чим визначається розташування кулачків, які керують однаковими клапанами?

19. Як можна охарактеризувати рідинну систему охолодження автотракторних двигунів?
20. Назвіть елементи рідинної системи?
21. На які три види можна розділити системи змащення автомобільних і тракторних двигунів залежно від способу подавання масла до вузлів тертя?
22. Якою системою впорску K-Jetronic є?
23. Чим відрізняється система LH-Jetronic від систем LE-Jetronic?
24. Що таке λ -зонд?
25. У чому полягає відмітна характеристика системи із спільним трубопроводом «Common Rail»?
26. Від чого залежить оптимальна робота насос-форсунки?
27. В якому режимі працюють насос-форсунки?

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Автомобільні двигуни* / Ф.Г. Абрамчук, Ю.Ф. Гутаревич, К.Є. Долгунов, І.І. Тимченко. – К.: Арістей, 2006. – 476 с.
2. *Автомобільні двигуни* / за ред. І.І. Тимченка. – Х.: Основа, 1995.– 464 с.
3. *Двигатели* внутреннего сгорания /под ред. В.Н. Луканина – М.: Высш. шк., 1995. – 953 с.
4. *Двигатели* внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: учебник / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.
5. *Двигатели* внутреннего сгорания. Теория поршневых и комбинированных двигателей / под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1983. – 375 с.
6. *42 Geschichte der Dampfmaschine*, Berl – 1909.
7. *Зейнетдинов Р.А.* Проектирование автотракторных двигателей: учебное пособие / Р.А. Зейнетдинов, И.Ф. Дьяков, С.В. Ярыгин. – Ульяновск: УлГТУ, 2004. – 168 с.

8. *Шароглазов Б.А.* Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: учебник / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2004. – 344 с.
9. *Теория* двигателей внутреннего сгорания / под ред. Н.Х. Дьяченко. – Л.: Машиностроение, 1974. – 552 с.

Зміст

| | |
|--|-----|
| ВСТУП | 3 |
| Лекція 1. ІСТОРІЯ РОЗВИТКУ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ | 4 |
| Лекція 2. РОТОРНО-ПОРШНЕВІ ДВИГУНИ | 16 |
| Лекція 3. ТИПИ ТА ПРИНЦИПИ РОБОТИ ДВИГУНІВ. КОРПУСНІ ДЕТАЛІ ТА ПОРШНЕВА ГРУПА | 28 |
| 3.1 Корпусні деталі (остов) двигуна. | 43 |
| 3.2 Поршнева група | 51 |
| Лекція 4. КРИВОШИПНО-ШАТУНОВИЙ МЕХАНІЗМ | 58 |
| 4.1 Група шатуна | 60 |
| 4.2 Колінчастий вал і маховик | 66 |
| Лекція 5. ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИЙ МЕХАНІЗМ | 68 |
| Лекція 6. СИСТЕМА ОХОЛОДЖУВАННЯ ДВИГУНА | 91 |
| Лекція 7. СИСТЕМА ЗМАЩУВАННЯ. | 101 |
| Лекція 8. СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ | |
| З ВПОРСКУВАННЯМ ПАЛИВА ТА СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ГАЗОВИХ ДВИГУНІВ | |
| Лекція 9. СИСТЕМИ COMMON RAIL ТА НАСОС-ФОРСУНКА | 114 |
| 9.1 Common rail..... | 114 |
| 9.2 Насос-форсунка..... | 128 |
| Запитання для самоконтролю | 131 |
| Список літератури | 132 |

ДЛЯ ПОДАТОК

Навчальне видання

СВІДЕРСЬКИЙ Анатолій Тофілевич
КОСМИНСЬКИЙ Ігор Владленович

АВТОТРАКТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

Конспект лекцій

Редагування та коректура *Т.В. Чорної*
Комп'ютерне верстання *І.С. Черненко*

Підписано до друку 2009. Формат 60 × 84 ^{1/16}
Ум. друк. арк. 70,90. Обл.-вид. арк. 8,5.
Тираж 75 прим. Вид. № 15/І-09. Зам. №

КНУБА, Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03680

E-mail: red-isdat@knuba.edu.ua

Віддруковано в редакційно-видавничому відділі
Київського національного університету будівництва і архітектури

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів
Видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.

**А. Т. Свідерський
І. В. Косминський**

АВТОТРАКТОРНЕ УСТАТКУВАННЯ

Конспект лекцій

Київ 2009

