

**Вельбой В.П.,
Диха К.О.,
Бабак О.П.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: tribosenator@gmail.com

АНАЛІЗ УМОВ НАВАНТАЖЕННЯ ТА МАЩЕННЯ ПІДШИПНИКОВИХ СИСТЕМ КОВЗАННЯ МЕХАНІЗМІВ ГАЗОРОЗПОДІЛУ ДВЗ

УДК 621.891

Проведений аналіз конструктивних особливостей підшипникових вузлів механізму газорозподілу сучасних двигунів внутрішнього згоряння за умов забезпечення сприятливих умов розподілу навантаження та мащення. Встановлений циклічний режим навантаження підшипникових опор в залежності від тактів роботи двигуна.

Ключові слова: двигун внутрішнього згоряння, механізм газорозподілу, підшипник ковзання, циклічне навантаження, мащення.

Опори ковзання сучасних двигунів внутрішнього згоряння, як правило, працюють в умовах змінних циклічних навантажень. При цьому системи подачі мастильних матеріалів часто не враховують режим навантаження підшипників, а олива подається до вузла тертя безперервно, що викликає збільшення енергетичних витрат та самої мторної оливи. Отже існує потреба в розробці таких систем і режимів мащення, які б забезпечували подачу оптимальної кількості оливи синхронно з режимом навантаження. Невелика кількість оливи, необхідної для підтримки мінімальної товщини мастильного шару при невеликій тривалості робочого процесу, забезпечує зменшення втрат оливи та енергії на її подачу в зону тертя.

Механізм газорозподілу ДВЗ складається з таких основних деталей та вузлів: розподільного вала та його приводу, штовхачів, штанг, коромисел, впускних та випускних клапанів. Залежно від розташування клапанів і розподільного вала відомі три типи ГРМ [1]:

- 1) з нижнім розташуванням вала і верхнім розташуванням клапанів, коли останній встановлюється в блоці циліндрів (двигуни ГАЗ-51, ГАЗ- 69, ЗИЛ-164);
- 2) з нижнім розташуванням вала і верхнім розташуванням клапанів (двигуни ГАЗ-24-10);
- 3) з верхнім розташуванням вала і клапанів, коли останні встановлюються в головці блока циліндрів (двигуни ВАЗ-2108, ГАЗ-4210, ЗИЛ-130, КамАЗ-5320 та інші).

За умови нижнього розташування клапанів (рис. 1) зусилля від кулачка розподільного вала 10 передається штовхачу 9, а потім через регулювальний болт 7 з контргайкою 8 – клапану 2, головка якого відходить від сідла 1.

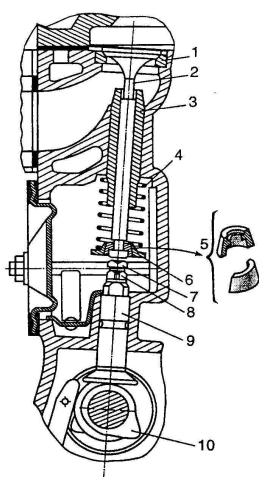


Рис. 1 – ГРМ двигунів з нижнім розташуванням вала і клапанів

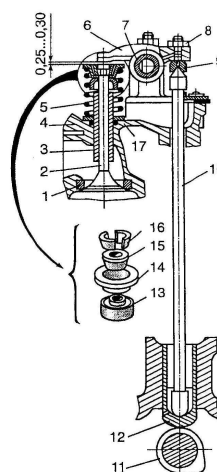


Рис. 2 – ГРМ двигунів з нижнім розташуванням вала і верхнім – клапанів

Під час роботи ГРМ стрижень клапана переміщується, здійснюючи зворотно-поступальні рухи по напрямній втулці 3. На нижньому кінці втулки вільно встановлюється пружина 4, верхній торець якої впирається в картер, а нижній – у тарілку 6, закріплену на конусі стрижня клапана сухариками 5. Під дією пружини клапани закриваються в міру того, як виступ кулачка виходить з-під штовхача.

Більшість сучасних двигунів комплектовані ГРМ з верхнім розташуванням клапанів (рис. 2), що унеможливило зробити компактну камеру згоряння, забезпечити зручне регулювання клапанів і теплових зазорів.

У рядних двигунах легкових автомобілів ГАЗ з верхнім розташуванням клапанів зусилля від кулачка 11 розподільного вала передається штовхачу 12, а від нього – штанзі 10. Штанга через регулювальний гвинт 9 діє на коротке плече коромисла 6, яке, повертаючись на осі 7, натискає своєю п'яткою на стрижень клапана 2. При цьому пружина 5 стискається, а клапан переміщується від сідла 1, що залежно від призначення клапана забезпечує впускання пальної суміші або випускання відпрацьованих газів. Після того як виступ кулачка 11 вийде з-під штовхача 12, клапанний механізм повертається в початкове положення під дією пружини 5. Під час роботи клапанного механізму положення напрямної втулки 3, запресованої в головку блока циліндрів 4, фіксується стопорним кільцем 17, а положення регулювального гвинта 9 – контргайкою 8. Верхній кінець стрижня клапана закріплено сухариками 16, установленими в тарілці 14 за допомогою втулки 15.

У механізмах газорозподілу з верхнім розташуванням розподільного вала немає штовхачів і штанг, завдяки чому зменшується маса й інерційні сили клапанного механізму, що дає змогу збільшити частоту обертання колінчастого вала і знизити рівень шуму під час роботи двигуна.

В двигунах автомобілів ВАЗ із приводом на задні колеса розподільний вал розташований в окремому картері на головці блока циліндрів і обертається в підшипниках ковзання.

Привід до клапанів, розміщених в один ряд, здійснюється безпосередньо від кулачків розподільного вала через одноплечі важелі (рокери). Одним кінцем одноплечий важіль опирається на стрижень клапана, інший – на сферичну головку болта і втримується на ній за допомогою шпилькової пружини.

В двигунах передньоприводних автомобілів ВАЗ верхній розподільний вал встановлено в окремому корпусі, розташованому на головці блока циліндрів, в яку запресовані чавунні сідла та напрямні втулки клапанів. Верхня частина втулок ущільнюється металогумовими оливо відбивачами з ковпачками. Клапани приводяться в дію безпосередньо кулачками через циліндричні штовхачі без проміжних важелів. У гніздах штовхачів розміщено шайби для регулювання зазору у клапанному механізмі.

У V-подібних восьмициліндрових двигунах застосовують верхнє розташування клапанів (рис. 4). Нижній розподільний вал таких двигунів, установлений в розвалі блока, є спільним для клапанів правого й лівого рядів циліндрів.

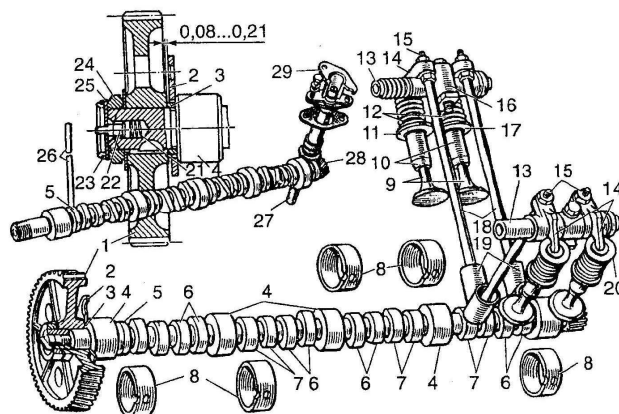


Рис. 3 – ГРМ V - подібного двигуна:

- 1 – зубчасте колесо; 2 – упорний фланець; 3 – розпірне кільце; 4 – опорна шийка;
 5 – ексцентрик; 6, 7 – відповідно впускні і випускні кулачки; 8 – втулки опорних шийок;
 9 – клапани; 10 – напрямні втулки; 11, 24 – шайби; 12, 21 – пружини; 13 – порожнисті осі;
 14 – коромисла; 15 – болти; 16 – стояки; 17 – опорні шайби; 18 – штанги; 19 – штовхачі;
 20 – тарілки; 22, 27 – валики; 23 – кільце; 25 – гайка; 26 – привід паливного насосу;
 28 – шестірія; 29 – корпус привода розподільника запалювання і оливного насоса

Клапани 9 (впускний і випускний), що переміщуються в напрямних втулках 10, відкриваються під дією зусилля, яке передається від кулачків 6, 7 через штовхачі 19, штанги 18 та коромисла 14, установлені на осях 13. Закриваються клапани під дією пружин 12, нижні кінці яких упираються в шайби 11. Якщо у випускних клапанів є механізм обертання, що сприяє зняттю нагару з головки та сідла клапана і запобігає їх обгорянню (двигун автомобіля ЗИЛ-130), пружини цих клапанів спираються на опорні шайби 17 цього механізму. Верхніми кінцями пружини обох клапанів упираються в тарілки 20. За два

оберти колінчастого вала впускні й випускні клапани кожного циліндра відкриваються один раз, а розподільний вал здійснює один оберт.

Профіль кулачків розподільного вала, як впускних 6 так і випускних 7, у більшості двигунів однаковий. Одноіменні (впускні та випускні) кулачки в чотирициліндровому двигуні розташовують під кутом 90° , у шестициліндровому – під кутом 60° , а у восьмициліндровому – під кутом 45° .

Починаючи з передньої опорної шийки, діаметр шийок зменшується, що полегшує встановлення розподільного вала в картері двигуна. Кількість опорних шийок, зазвичай, дорівнює кількості корінних підшипників колінчастого вала двигуна. Втулки опорних шийок виготовляють зі сталі, а їхню поверхню покривають антифрикційним сплавом.

Привід розподільного вала здійснюється за допомогою зубчастої, ланцюгової або пасової передачі від колінчастого вала двигуна. Зубчасте колесо розподільного вала має вдвоє більше зубців, ніж ведуча шестірня колінчастого вала.

Коромисло карбюраторних двигунів розташовано на спільній порожнистій осі, у кінці якої запресовані заглушки, що дає змогу підводити оливу до бронзових втулок коромисел і сферичних наконечників регулювальних болтів. Осі разом із коромислами встановлюють на кожній головці циліндра за допомогою стояків. Плече коромисла з боку клапана приблизно в півтора рази довше, ніж з боку штанги штовхача. Це зменшує хід штанги штовхача і штанги, а також знижує сили інерції, які виникають під час їхнього руху, що підвищує довговічність деталей приводу клапанів.

У двигунах останніх модифікацій для підвищення працездатності ГРМ клапани притискаються не однією пружиною, а двома різної жорсткості. При цьому напрям витків пружин роблять різним, щоб у разі поломки однієї з пружин її витки не потрапляли між витками іншої й не порушувалася робота клапанного механізму.

Кінематичні схеми та складові елементи ГРМ двигунів автомобілів відомих світових фірм мало відрізняються від описаних конструкцій ГРМ автомобілів російського та вітчизняного виробництва. Так, наприклад, автомобілі Ford Sierra різних модифікацій поставляються з бензиновим (карбюраторним) або дизельним чотирьохциліндровим однорядним двигуном [2]. До бензинових належать двигуни різних модифікацій: ОНС (з верхнім розміщенням розподільного вала в головці блока циліндрів), CVH (з півсферичними камерами згоряння і V-подібним розміщенням клапанів) та DONC (з двома верхніми розподільними валами).

Автомобілі Форд Фокус поставляються бензиновими двигунами Zetec-SE і турбодизелями Endura робочим об'ємом від 1,4 л до 2,0 л [3]. Усі деталі і вузли двигуна виготовлені і складені з високою точністю, максимально знижені їх вагові характеристики і тертя рухомих з'єднань.

В усіх двигунах серії Zetec в головці блока циліндрів розміщуються два розподільних вали, які своїми кулачками через циліндричні штовхачі приводять в дію чотири клапани у кожному циліндрі. Один вал приводить в дію впускні клапани ГРМ, а інший – випускні. На кожному валу є вісім кулачків, сусідня пара яких одночасно діє на два клапани (впускні або випускні) кожного циліндра. Опори (підшипники) розподільного вала (по п'ять опор для кожного вала) є різномісними і отвори в них обробляють у складеному з кришками стані. Клапани в головці циліндрів розміщені у два ряди V-подібно, по два впускних і два випускних клапана на кожний циліндр і закриваються під дією пружин.

Двигуни даної серії відповідають екологічним нормам Euro 2 или Euro 3 і побудовані за принципом агрегативності так, що в них в основному використані однакові агрегати, зокрема ГРМ цих відносяться до механізмів з нижнім розташуванням вала і верхнім розташуванням клапанів, коли останній встановлюється в блоці циліндрів.

Проведений огляд ГРМ сучасних ДВЗ автомобілів вітчизняних і відомих світових фірм показує, що в двигунах легкових автомобілів зазвичай використовуються ГРМ з верхнім розташуванням клапанів і одного розподільного вала або двох розподільних валів. Передача зусилля від кулачків вала до стрижнів клапанів здійснюється роками (одноплечими важелями), коромислами (двоплечими важелями) або безпосередньо кулачками через циліндричні штовхачі без проміжних важелів. В отворі кожного коромисла запресована бронзова втулка, яка виконує роль підшипника ковзання. Коромисла встановлені на нерухомі осі з можливістю вільного качання під дією циклічного навантаження з боку кулачків і пружин клапанів. Шайки розподільного вала встановлені в отвори підшипників ковзання, виконані у вигляді не різних корпусних деталей (рис. 4) або складеними з кришок 4 і подушок корпусної деталі (рис. 5), виготовлених з алюмінієвих або магнієвих сплавів.

В двигунах вантажних і деяких марок легкових застосовують ГРМ з нижнім розміщенням розподільного вала в блоці циліндрів і верхнім розміщенням клапанів в головці блока циліндрів. Передача зусилля від кулачків вала до стрижнів клапанів здійснюється зазвичай коромислами, в отвори яких запресовані бронзові втулки і які проводяться в дію штовхачами і штангами. Шайки розподільного вала встановлені в отвори підшипників ковзання, виконані у вигляді тонкостінних бронзових втулок, запресованих у відповідні отвори блока циліндрів.

Так, наприклад, розміри втулки коромисла ГРМ двигуна ЗМЗ-402-10 – внутрішній діаметр $d = 22$ мм, а зовнішній діаметр $D = 23,5 \dots 23,4$ мм. Розміри втулок опорних шийок розподільного вала різні і складають $d \times D$: першої опори – $52 \times 55,5$ мм; другої опори – $51 \times 54,5$ мм; третьої опори – $50 \times 53,5$ мм; четвертої опори – $49 \times 52,5$ мм; п'ятої опори – $48 \times 51,5$ мм [7].

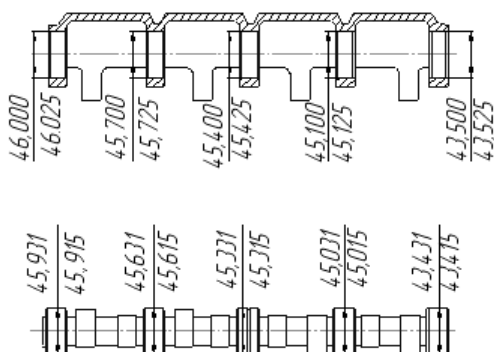


Рис. 4 – Підшипник і розподільний вал автомобіля ВАЗ -2107 [6]

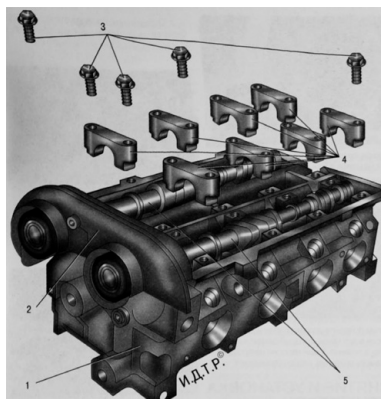


Рис. 5– Підшипники розподільних валів автомобіля Форд Фокус 2 [5]

Умови навантаження підшипників розподільного вала визначаються періодичністю моментів початку відкривання та кінця закривання клапанів, виражених в градусах кута повороту колінчастого вала відносно «мертвих» точок. Кругові діаграми фаз газорозподілу та положення поршнів ДВЗ, що відповідають цим фазам, показані на рис. 6.

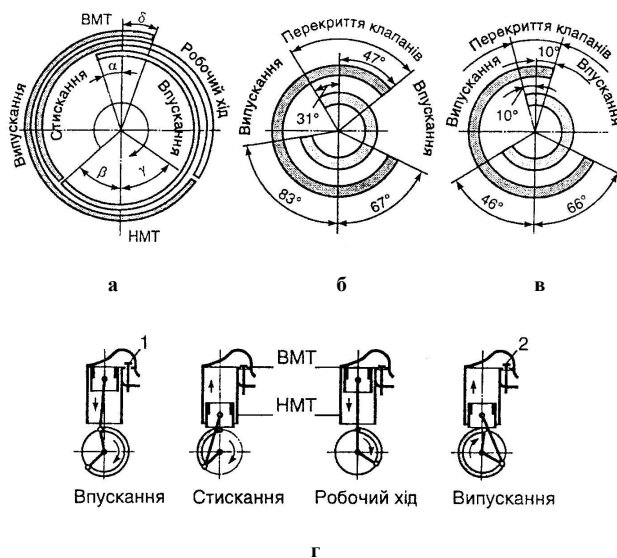


Рис. 6 – Діаграми фаз газорозподілу та положення поршнів, що відповідають фазам газорозподілу [1].

Із загальної колової діаграми фаз газорозподілу (рис. 6, а) видно, що на такті випускання впускний клапан 1 (рис. 6, г) починає відкриватися з випередженням, тобто до підходу поршня у ВМТ. Кут випередження відкриття впускного клапана для двигунів різних моделей становить $10 \dots 32^\circ$. Закривається впускний клапан із запізненням після проходження поршнем НМТ (під час такту стискання). Кут δ запізнення закриття впускного клапана дорівнює $10 \dots 50^\circ$. Кут випередження та запізнення, а отже, й час відкривання клапанів мають бути тим більшими, чим вища частота обертання колінчастого вала, при якій двигун розвиває максимальну потужність. Загальна колова діаграма показує, що в певний період часу відкриті обидва клапани – впускний і випускний. Кут інтервал α обертання колінчастого вала, при якому обидва клапани відкриті (перекриття клапанів) потрібний для своєчасного та якісного очищення циліндрів від продуктів згоряння.

З діаграми фаз газорозподілу двигуна ЗИЛ-130 (рис. 6, б) видно, що впускний клапан відкривається за 31° до приходу поршня у ВМТ, а закінчує закриватися через 83° після НМТ. Випускний

клапан закривається при 47° повороту колінчастого вала після ВМТ. Перекриття клапанів становить 78° . Випускний клапан відкривається з випередженням на 67° до НМТ. Загальна тривалість відкриття кожного клапана дорівнює 294° повороту колінчастого вала. На рис. 6, в показана діаграм фаз газорозподілу двигуна КамАЗ-740.

Послідовність циклічного навантаження підшипників розподільного вала залежить від порядку роботи циліндрів двигуна, який визначається розміщенням шатунних шийок колінчастого вала і кулачків розподільного вала. Так, наприклад, в чотирьохциліндрових рядних двигунах автомобілів ГАЗ -2410, ВАЗ-2107 та інших порядок роботи 1 – 2 – 4 – 3 (нумерація циліндрів двигуна ведеться від радіатора). Це означає, що за перший півоберт робочий такт здійснюється і першому циліндрі, за другий півоберт – у другому циліндрі, за третій півоберт – у четвертому і за четвертий півоберт – у третьому циліндрі.

У восьмициліндрових V-подібних двигунах ЗИЛ-130 і ЗМЗ-53 [8] прийнятий порядок роботи циліндрів 1 – 5 – 4 – 2 – 6 – 3 – 7 – 8 (нумерація ведеться спочатку лівий ряд, а потім правий з боку радіатора). Шатунні шийки колінчастого вала двигунів розташовані під кутом 90° . За перший півоберт колінчастого вала робочий такт буде закінчуватись у восьмому, повністю відбудеться в першому і почнеться у п'ятому циліндрах; за другий півоберт - закінчиться у п'ятому, повністю відбудеться в четвертому і почнеться у другому циліндрах; за третій півоберт - закінчиться у другому, повністю відбудеться в шостому і почнеться у третьому циліндрах; за четвертий півоберт - закінчиться у третьому, повністю відбудеться у сьомому і почнеться у восьмому циліндрах.

Найбільше навантаження підшипників розподільного вала двигуна здійснюється під дією пружин клапанів в момент, коли впускний і випускний клапани відповідних циліндрі повністю відкриті, пружини максимально стиснуті. Для ГРМ двигуна автомобіля ВАЗ-2107 зусилля максимально стиснутих пружин кожного клапана складає 740 Н [6]. Навантаження підшипників шийок розподільного вала повністю закритих клапанів за наявності теплового зазору між п'яткою рокара і стрижнем клапана дорівнює нулю. Розподіл навантаження підшипників даного двигуна залежно від кута повороту колінчастого вала (рис. 7) показує, що при повністю відкритому 6-му клапані 3-го циліндра 8-му клапані 4-го циліндра (кут повороту колінчастого вала 0°) максимально навантажені є підшипники 4-ї і 5-ї шийок розподільного вала. При повороті колінчастого вала на 90° повністю відкритими є 4-й клапан 2-го циліндра 7-й клапан 4-го циліндра, максимально навантажені 3-ї і 4-ї шийок розподільного вала. При повороті колінчастого вала на 180° повністю відкритими є 1-й клапан 1-го циліндра 3-й клапан 2-го циліндра, а максимально навантажені підшипники 1-ї і 2-ї шийок розподільного вала. При повороті колінчастого вала на 270° повністю відкритими є 2-й клапан 1-го циліндра 5-й клапан 3-го циліндра, а максимально навантажені підшипники 2-ї і 3-ї шийок розподільного вала. Подібний аналіз циклічного навантаження підшипників ГРМ інших двигунів можна провести з урахуванням їх діаграми газорозподілу.

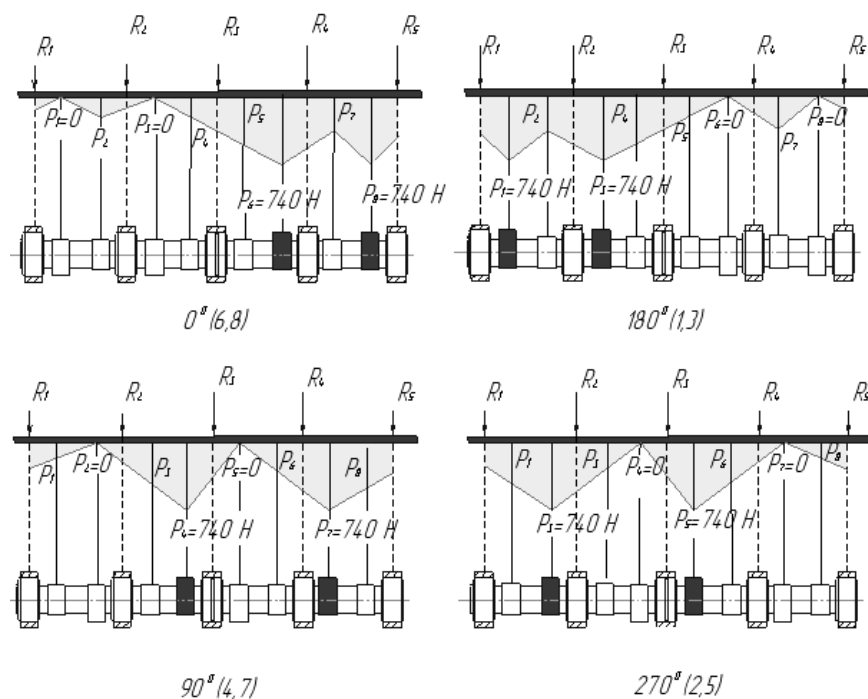


Рис. 7 – Розподіл навантаження розподільного вала протягом робочого циклу двигуна автомобіля ВАЗ-2107

При обертанні колінчастого вала частотою 2400 об/хв., що відповідає найчастішому режиму роботи двигуна автомобіля, розподільний вал обертається частотою 1200 об/хв., а частота циклів навантаження втулок коромисел і підшипників розподільного вала становить 20 с^{-1} .

Якщо для двигуна автомобіля ВАЗ-2107 наближено прийняти навантаження на сусідні опори розподільного вала рівними половині максимальної сили стиснутих пружин клапанів, тобто 340 Н, то при діаметрі опорної шийки 45 мм і її ширині 20 мм максимальний тиск p на кожну опору складатиме 0,41 МПа. Лінійна швидкість ковзання v в зоні тертя шийки вала і підшипника при частоті обертання вала 1200 об/хв. становить 2,83 м/с. Розрахунковий показник швидкісно-силового навантаження підшипника розподільного вала цього двигуна $p \times v = 0,41 \times 2,83 = 1,16 \text{ Мпа} \times \text{м/с}$. Подібний аналіз циклічного навантаження підшипників ГРМ інших двигунів можна провести з урахуванням їх діаграми газорозподілу

Мащення підшипників ГРМ здійснюється тиском оливної помпи двигуна і способом розбрикування (рис. 8).

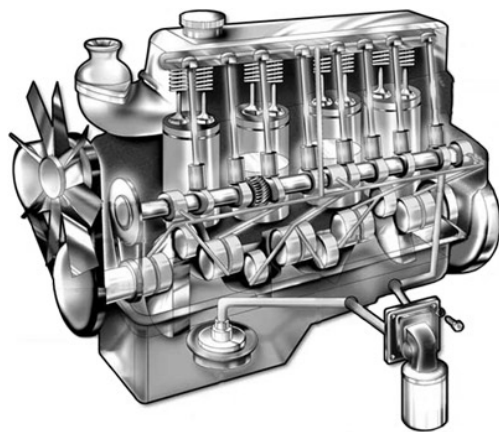


Рис. 8 – Система мащення ГРМ двигуна внутрішнього згоряння

Моторна олива в зону тертя між опорним шийкам розподільного вал і підшипниками подається через відповідні отвори в кришці підшипників ГРМ з верхнім розміщенням розподільного вала і отвори у бронзових втулках ГРМ з нижнім розміщенням розподільного вала.

Висновок

Встановлено, послідовність циклічного навантаження підшипників розподільного вала залежить від порядку роботи циліндрів двигуна, який визначається розміщенням шатунних шийок колінчастого вала і кулачків розподільного вала

Література

1. Кисликов В. Ф., Луцик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 6-те вид. – К.: Либідь, 2006. – 4000 с.
2. Двигатель автомобилей Ford Sierra: forse.ru/sierra/01_dvigatel-..
3. Двигатели автомобиля Форд Фокус: focusello.ru/html/s67.htm.
4. Общая информация двигателя автомобиля MAN TGA. – Монолит: monolith.in.ua/obshaja-inf-...
5. Замена распределительных валов на автомобиле Форд Фокус 2: car-exotic.com/ford-cars/ford.
6. Раєвський М. А., Радченко А. В. Посібник з експлуатації автомобіля «Жигулі». – К.: Техніка. – 111 с.
7. Автомобиль «Волга» ГАЗ-24: Конструктивные особенности, техническое обслуживание и текущий ремонт / Дехтяр Б. А., Кальмансон Л. Д. и др. – 2-е изд. – М.: Транспорт, 1981. – 336 с.
8. Калицкий В. С., Манзов А. И. Нагула Г. Е. Автомобиль (учебник водителя третьего класса). М.: «Транспорт». – 1978.

Поступила в редакцію 29.06.2016

Velboj V.P., Dykha K.O., Babak O.P. **Analysis of the loading conditions and lubrication systems bearing slide mechanisms timing of internal combustion engine.**

The analysis of the structural features of the bearing units of the timing of modern internal combustion engines according to the terms of the enabling load balancing, and lubrication. Set the cyclic mode of loading bearing supports depending on the operating cycle of the engine.

Keywords: combustion engine, valve gear, bearing, cyclic loading, lubrication.

References

1. Kislikov V. F., Lushchik V. V. Budova j ekspluataciya avtomobiliv: Pidruchnik. 6-te vid. K.: Libid', 2006. 4000 s.
2. Dvigatel' avtomobilej Ford Sierra: forse.su/sierra/01_dvigatel-..
3. Dvigateli avtomobilya Ford Fokus: focusello.ru/html/s67.htm.
4. Obshchaya informaciya dvigatelya avtomobilya MAN TGA. Monolit: monolith.in.ua/obshaja-inf-...
5. Zamena raspreditel'nyh valov na avtomobile Ford Fokus 2: car-exotic.com/ford-cars/ford.
6. Raevskij M. A., Radchenko A. V. Posibnik z ekspluatacii avtomobilya «ZHiguli». K.: Tekhnika. 111 s.
7. Avtomobil' «Volga» GAZ-24: Konstruktivnye osobennosti, tekhnicheskoe obsluzhivanie i tekushchij remont. Dekhtyar B. A., Kal'manson L. D. i dr. 2-e izd. M.: Transport, 1981. 336 s.
8. Kalisskij V. S., Manzov A. I. Nagula G. E. Avtomobil' (uchebnik voditelya tret'ego klassa). M.: «Transport». 1978.