

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія технічного обслуговування авіаційної техніки

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни
«Конструкція двигунів внутрішнього згоряння авіаційної наземної техніки»
вибірковий компонент
освітньо-професійної програми
першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

**272 Авіаційний транспорт
(Технічне обслуговування та ремонт повітряних суден і авіадвигунів)**

За темою № 2 - Класифікація, будова та цикли поршневих ДВЗ

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх
справ

Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кре-
менчуцького льотного ко-
леджу Харківського
національного університету
внутрішніх справ

Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії технічного обслуговування
авіаційної техніки, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії технічного обслуговування авіаційної тех-
ніки *Олександр ХАРЬКОВ*

Рецензенти:

1. викладач циклової комісії аеронавігації Кременчуцького льотного коледжу Ха-
рківського національного університету внутрішніх справ, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Володимир ТЯГНІЙ;
2. технічний директор ПрАТ «АвтоКрАЗ» кандидат технічних наук
Сергій ДУНЬ

План лекції:

1. Класифікація автомобільних двигунів.
2. Загальна будова та основні геометричні розміри поршневого ДВЗ.
3. Робочі цикли автомобільних ДВЗ.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Сирота В. І. Основи конструкції автомобілів: Навчальний посібник. – К.: Арістей, 2005. – 280 с.
2. Кисликов В. Ф., Лущик В. В. Будова й експлуатація автомобілів: Підручник. – 6-те вид. – К.: Либідь, 2006. – 400 с

Додаткова література:

1. Дяченко В. Г. Двигуни внутрішнього згоряння. За ред. Марченка А. П. – Харків: НТУ «ХП», 2008. – 488 с.
2. Шапко В. Ф. Основи теорії та динаміки автомобільних двигунів: підручник / В. Ф. Шапко, С. В. Шапко. – Харків: Точка, 2016. – 232 с.
3. Аеродроми. Харченко В.П., МIRONЧЕНКО Ю.І. Навчальний посібник, К.:НАУ, 2008-88с.
4. Вертодроми. Першаков В.М., Белятинський А.О., Близнюк Т.В., Семироз Н.Г. Навчальний посібник, К.: НАУ, 2014-370 с.
5. Аеродромно-технічне забезпечення польотів. Конспект лекцій./ Білякович О.М. - К.: «НАУ-друк», 2009. - 80с.

Текст лекції

1. Класифікація автомобільних двигунів

Двигун, що найчастіше застосовують на сучасних автомобілях, відносять до теплових машин. Теплова енергія, що звільняється у ньому при згорянні палива, перетворюється в механічну роботу. Єдиного параметра, за яким можна було б класифікувати транспортні двигуни, поки що немає. Тому сучасні автомобільні двигуни класифікують за кількома ознаками.

За способом перетворення теплової енергії в механічну:

- 1) двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ), які за конструкцією поділяють на поршневі і роторнопоршневі;
- 2) двигуни зовнішнього згоряння (ДВЗ): парові, газотурбінні і Стірлінга (за прізвиськом винахідника).

За видом основного палива:

- 1) двигуни, що працюють на легкому паливі (бензинах, бензолі, гасі, спирті тощо);
- 2) двигуни, що працюють на важкому паливі (дизельному, соляровому маслі, мазуті тощо);
- 3) двигуни, що працюють на газі (природному газі, нафтових газах пропані, бутані, генераторному газі тощо);
- 4) двигуни, що працюють на змішаному паливі (суміші рідкого та газового палива).

За способом здійснення робочого циклу ДВЗ:

- 1) чотиритактні;
- 2) двотактні.

За способом сумішоутворення:

- 1) двигуни з зовнішнім сумішоутворенням (з карбюраторною системою живлення, газові, з впорскуванням легкого палива у впускний колектор);
- 2) двигуни з внутрішнім сумішоутворенням (дизелі, з впорскуванням легкого палива у циліндр);
- 3) двигуни із змішаним сумішоутворенням (газодизелі).

За способом запалювання горючої суміші:

- 1) двигуни з примусовим (іскровим) запалюванням;
- 2) двигуни із самозайманням від стискання (дизелі).

За способом охолодження ДВЗ:

- 1) з рідинним охолодженням;
- 2) з повітряним охолодженням.

В залежності від розташування циліндрів ДВЗ:

- 1) однорядні (з вертикальним, похилим, горизонтальним розташуванням);
- 2) дворядні (V-подібні, опозитні);
- 3) трирядні (W-подібні).

На сучасних автомобілях застосовують переважно поршневі чотиритактні двигуни внутрішнього згоряння, у яких займання та згоряння паливноповітряної горючої суміші відбувається безпосередньо у циліндрах двигуна. Гази, що утворюються і розширюються при згорянні робочої суміші, переміщують поршні двигуна. Зворотно-поступальний рух поршнів перетворюється в обертальний рух вала двигуна, який далі за допомогою трансмісії передається ведучим колесам автомобіля.

Широкого поширення у наш час знаходять теплові двигуни з наддувом, які можна розглядати як комбіновані двигуни. Поряд з цим, на сучасних автомобілях знаходять обмежене застосування роторно-поршневі двигуни, в яких майже відсутні деталі, що рухаються зворотно-поступально. Частіш за все це двигуни Ванкеля. Певні перспективи застосування на автомобільному транспорті мають також газотурбінні двигуни, в яких зовсім відсутні деталі, що рухаються зворотно-поступально. Досить перспективним є використання на автомобілях електродвигунів. Однак цей напрямок розвитку техніки поки що стримується через відсутність надійних електроакумуляторів (для вантажних автомобілів, – для легкових це питання вже вирішене), які за енергоемністю можна було б порівняти із сучасними тепловими установками, що працюють на рідкому паливі.

2. Загальна будова та основні геометричні розміри поршневого ДВЗ.

Автомобільний поршковий ДВЗ являє собою комплекс механізмів і систем, призначений для досягнення єдиної мети – перетворенню тепла, що звільнюється при згорянні палива у механічну роботу.

До складу двигуна входять такі основні функціональні елементи як: кривошипно-шатунний механізм (КШМ), механізм газорозподілу (ГРМ), а також системи: мащення, охолодження, живлення паливом, запалювання (у бензинових і газових ДВЗ). Сучасні автомобільні двигуни частіш за все містять у собі також комплексну електронну систему керування на базі бортового комп'ютера.

Кривошипно-шатунний механізм призначений для сприйняття тиску газів у циліндрах двигуна і перетворення прямолінійного зворотньо-поступального руху поршнів в обертальний рух вала двигуна.

Механізм газорозподілу призначений для своєчасного заповнення циліндрів пальною сумішшю (повітрям) і для видалення з них продуктів згоряння у відповідності до робочого циклу двигуна.

Система мащення призначена для зменшення тертя і зношування робочих поверхонь деталей двигуна, а також для їх часткового охолодження й очищення.

Система охолодження призначена для підтримки оптимального теплового режиму двигуна.

Система живлення паливом призначена для приготування горючої суміші і подачі її у циліндри двигуна (у двигунів із зовнішнім сумішоутворенням) або для подачі певної кількості палива у камери згоряння (у двигунів з внутрішнім сумішоутворенням) відповідно до його робочого циклу. Крім того, система живлення забезпечує вентиляцію картера двигуна.

Система запалювання забезпечує примусове займання горючої суміші в циліндрах двигуна відповідно до його робочого циклу.

Система випуску і нейтралізації відпрацьованих газів призначена для зменшення шуму випуску відпрацьованих газів і для зменшення їх токсичності.

Комплексна електронна система керування забезпечує оптимальне регулювання основних систем двигуна під час його роботи. Крім того, вона виконує функції бортової діагностики двигуна.

На рис. 1 наведена принципова схема одноцилінрового поршневого ДВЗ. Такий двигун складається з циліндра 5 і картера 6, закритого знизу піддоном 9. Зверху циліндр закритий головкою 1. У циліндрі переміщується поршень 4 з ущільнювальними кільцями 2. За допомогою поршневого пальця 3 поршень зв'язаний з верхньою головкою шатуна 14. Нижня головка шатуна з'єднана з шатунною шийкою колінчастого вала 8, який складається з корінних шийок 13, щік 10 і шатунної шийки 11. Колінчастий вал обертається в корінних підшипниках 12, розташованих у картері 6 двигуна.

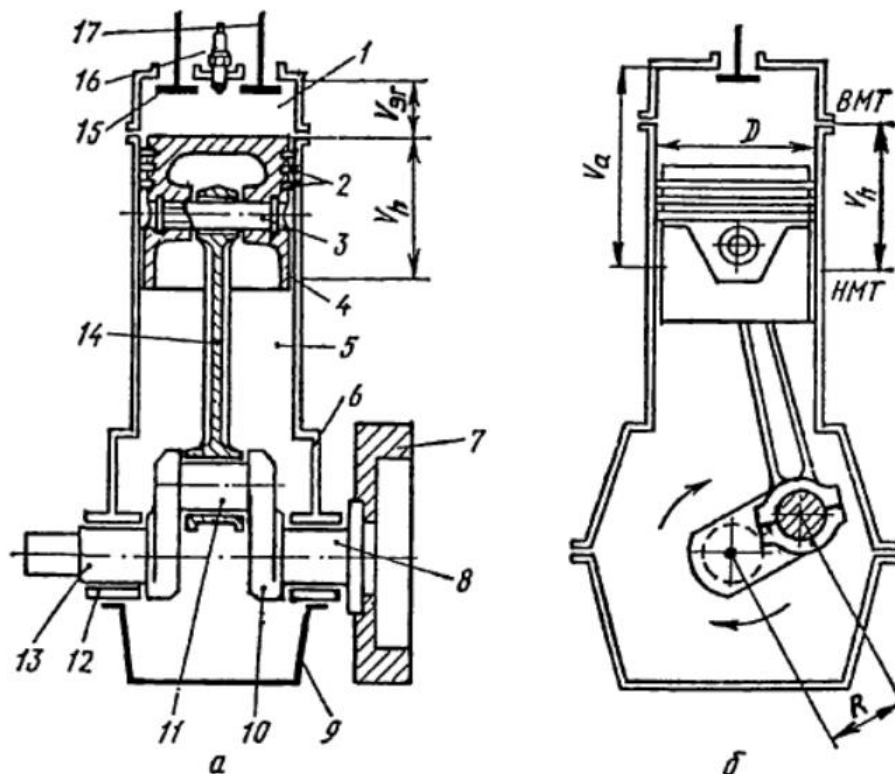


Рисунок 1. Схема поршневого ДВЗ: а – повздовжній переріз; б – поперечний.

1 – головка циліндра; 2 – поршневі кільця; 3 – поршковий палець; 4 – поршень; 5 – циліндр; 6 – картер; 7 – маховик; 8 – колінчастий вал; 9 – піддон; 10 – щока колінчастого валу; 11 – шатунна шийка; 12 – корінний підшипник, 13 – корінна шийка; 14 – шатун; 15, 17 – впускний та випускний клапани; 16 – свічка запалювання

Рух поршня відбувається між двома крайніми положеннями: між верхньою мертвою точкою (ВМТ) та нижньою мертвою точкою (НМТ). У цих точках швидкість поршня дорівнює нулю. Відстань, що проходить поршень між мертвими точками, називають ходом поршня S . Відстань між геометричними центрами корінної та шатунної шийок є радіусом кривошипа R . Отже, хід поршня дорівнює двом радіусам кривошипа:

$$S = 2 \cdot R$$

Довжиною шатуна L вважають відстань між геометричними центрами його верхньої та нижньої головок. Відношення R/L для сучасних двигунів складає від 1/3,5 до 1/4,5.

Відношення ходу поршня S до діаметра циліндра D є важливим параметром двигуна, що визначає його геометричні розміри. Його звичайно називають показником короткохідності двигуна. Величина S/D для сучасних двигунів знаходиться в межах від 0,7 до 2,2. Якщо $S/D < 1,0$, такий двигун називають короткохідним. На сучасних автомобілях застосовують переважно короткохідні двигуни, в яких середня швидкість поршня дещо нижча, ніж у довгохідних.

Об'єм, що звільнює поршень за один хід від ВМТ до НМТ, називають робочим об'ємом циліндра V_{h1} . Якщо відомі діаметр D циліндра і хід S поршня, то робочий об'єм одного циліндра двигуна дорівнює:

$$V_{h1} = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S$$

Загальний робочий об'єм двигуна з кількістю циліндрів i буде дорівнювати:

$$V_{h1} = i \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot S$$

Об'єм між поршнем, що знаходиться у ВМТ, і головкою циліндра називають об'ємом камери згоряння $V_{зг}$. Суму робочого об'єму циліндра та об'єму камери згоряння називають повним об'ємом циліндра V_a :

$$V_a = V_{h1} + V_{зг}$$

Досить важливим параметром, від якого залежить весь робочий процес двигуна, є ступінь стискання ε . Величина ε обчислюється як відношення повного об'єму циліндра до об'єму камери згоряння:

$$\varepsilon = V_a / V_{зг}$$

Між ступенем стискання і найважливішими вихідними параметрами двигуна.... його потужністю та паливною економічністю, існує безпосередня залежність. Але при значному підвищенні величини ε в циліндрах двигуна може виникнути детонація – вибухоподібне згоряння горючої суміші. Робота двигуна при детонації неприпустима через небезпеку руйнування його основних деталей. Тому абсолютна величина ступеня стискання для сучасних бензинових двигунів, як правило, не перевищує $\varepsilon = 9...10$. У дизелів ступінь стискання як правило у 2,0...2,5 рази вища, ніж у бензинових двигунів, оскільки на такті "стискання" у циліндрах цих двигунів стискається лише повітря.

3. Робочі цикли автомобільних ДВЗ

Робочим циклом називають сукупність процесів, що періодично повторюються в циліндрах двигуна і зумовлюють його безперервну роботу. Процес, що відбувається в циліндрі двигуна за один хід його поршня, називають тактом. Якщо повний робочий цикл у кожному циліндрі двигуна відбувається за чотири ходи поршня (за два оберти колінчастого вала), то такий двигун називають чотиритактним. Двигун, в циліндрі якого повний робочий цикл відбувається за два ходи поршня (один оберт колінчастого вала), називають двотактним.

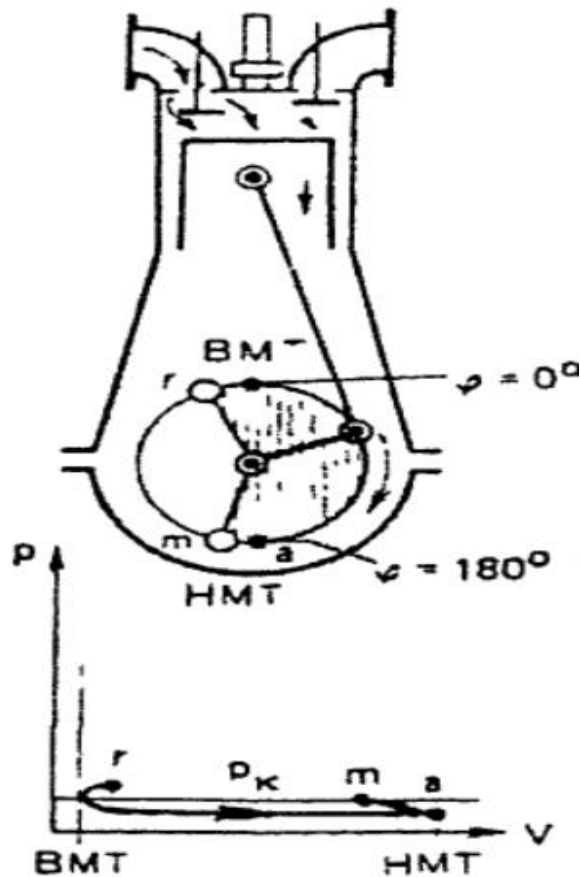


Рисунок 2. Такт ВПУСК

Сучасні автомобілі частіш за все обладнують чотиритактними двигунами. Тому в подальшому будемо розглядати робочий процес та основи конструкції переважно чотиритактних автомобільних ДВЗ.

Основним параметром, який характеризує фізичні процеси, що відбуваються у циліндрах двигуна, є тиск газів P . Протягом чотирьох тактів робочого циклу цей тиск постійно змінюється. графічну залежність абсолютного тиску газів P над поршнем від об'єму циліндра V називають індикаторною діаграмою двигуна.

Окремі фізичні процеси робочого циклу, що відбуваються в одному з циліндрів чотиритактного двигуна, показані на рис. 2–5.

Перший такт ВПУСК відбувається під час руху поршня від ВМТ до НМТ, при повороті кривошипа на 180° (рис. 2). Перед початком такту, коли поршень знаходиться в положенні, близькому до ВМТ, у камері згоряння знаходяться залишки продуктів згоряння від попереднього процесу (такту випуску). Обидва клапани рухаються: впускний починає відкриватись, а випускний ще не закрився. На індикаторній діаграмі цьому положенню поршня відповідає точка r . При подальшому русі кривошипа поршень досягає ВМТ, а механізм газорозподілу повністю відкриває впускний і повністю закриває випускний клапани. Після проходження поршнем ВМТ тиск в надпоршневому просторі стає меншим, ніж атмосферний, і під дією такого розрідження паливоповітряна горюча суміш (у двигунах із зовнішнім сумішоутворенням) чи повітря (у дизелях) надходить до циліндра. Змішуючись із залишками відпрацьованих газів, горюча суміш (повітря) утворює в циліндрі робочу суміш. У двигунів із зовнішнім сумішоутворенням середній тиск впуску складає $0,070 \dots 0,095$ МПа, у дизелів – він трохи вищий. Стикаючись з нагрітими деталями двигуна робоча суміш

нагрівається і температура у циліндрі в кінці такту впуску становить 70 – 110 °С. На індикаторній діаграмі такту впуск відповідає лінія r-a.

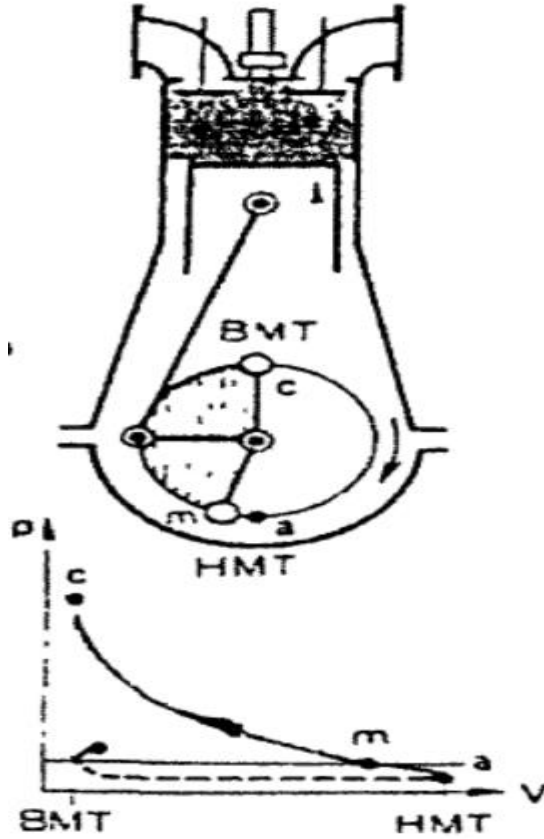


Рисунок 3. Такт СТИСКАНИЯ

Другий такт СТИСКАННЯ відбувається під час руху поршня від НМТ до ВМТ (рис. 3) при повороті кривошипа від 180° до 360° . На початку такту стискання, після того, як поршень вже пройшов НМТ, впускний клапан деякий час залишається відкритим (запізнення закриття впускного клапана може скласти $30...70^\circ$ повороту колінчастого вала після НМТ). Це дозволяє поліпшити заповнення циліндра свіжим зарядом завдяки використанню інерції його потоку у впускному трубопроводі. Після повного закриття впускного клапана завдяки зменшенню об'єму над поршнем відбувається стискання робочої суміші. Тиск її підвищується і, досягнувши значення атмосферного (точка *m* на індикаторній діаграмі), продовжує збільшуватися, досягаючи наприкінці такту $1,2...1,7$ МПа у двигунів із зовнішнім сумішоутворенням і $3,5...4,5$ МПа у дизелів. Температура в кінці такту стискання у зазначених двигунів підвищується відповідно до $270...480^\circ\text{C}$ і до $500...650^\circ\text{C}$. Наприкінці такту стискання у момент, коли поршень ще не дійшов до ВМТ, відбувається запалювання робочої суміші від електричної іскри (двигуни із зовнішнім сумішоутворенням) чи початок впорскування і самозаймання дизельного палива (двигуни з внутрішнім сумішоутворенням).

Таке випередження запалювання горючої суміші або ранній початок впорскування палива необхідне, оскільки для згоряння робочої суміші потрібен деякий час, а для найкращого використання теплоти необхідно, щоб згоряння закінчилося повністю, коли поршень проходить ВМТ. Тоді на початку наступного такту тиск на поршень буде максимальним (точка z на індикаторній діаграмі).

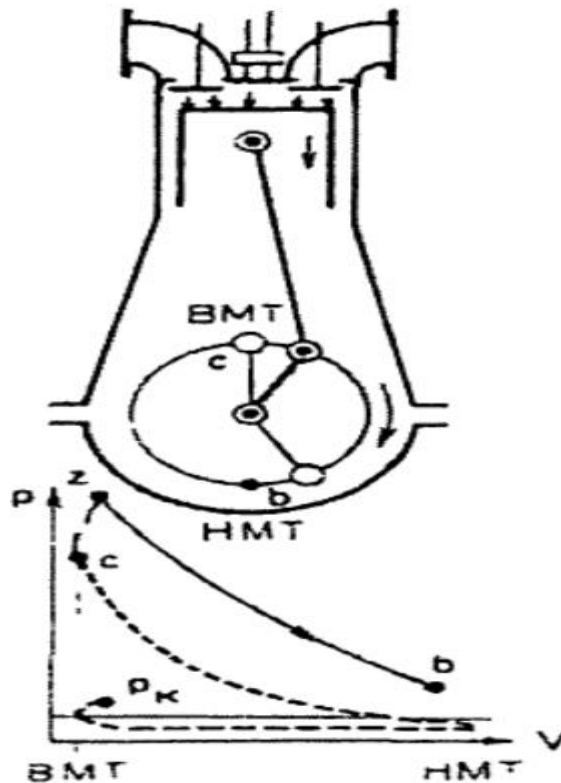


Рисунок 4. Такт РОБОЧИЙ ХІД

Третій такт РОБОЧИЙ ХІД або РОЗШИРЕННЯ відбувається під час руху поршня з ВМТ до НМТ (рис. 4) при повороті кривошипа на кут від 360° до 540° . На початку такту робоча суміш інтенсивно догоряє, що веде до значного підвищення температури і тиску, незважаючи на збільшення об'єму (лінія c-z на індикаторній діаграмі). Максимальний тиск при цьому складає $4,0...5,5$ МПа у двигунів із зовнішнім сумішоутворенням і $6,5...8,0$ МПа у дизелів, а температура досягає відповідно $2200...2500^\circ\text{C}$ і $1600...1900^\circ\text{C}$. Робота розширення газів використовується найбільш ефективно, якщо їх тиск у циліндрі досягає свого найбільшого значення при положенні поршня, що відповідає куту повороту кривошипа $10...15^\circ$ після ВМТ. Подальший рух поршня у напрямку до НМТ відбувається під дією тиску, що поступово зменшується. При цьому теплова енергія газів перетворюється в корисну роботу.

Отже, тільки під час одного з чотирьох тактів – при робочому ході двигун виробляє корисну роботу. Всі інші такти допоміжні.

Четвертий такт ВИПУСК відбувається під час руху поршня від НМТ до ВМТ (рис. 5), при повороті кривошипа на кут від 540° до 720° . Випускний клапан починає відкриватися наприкінці попереднього такту (точка б на індикаторній діаграмі), коли поршень ще не дійшов до НМТ, а кривошип знаходиться за $40...60^\circ$ до свого крайнього нижнього положення. При цьому тиск у циліндрі ще досить високий і відпрацьовані гази починають виходити через випускний клапан ще до того, як їх почне витісняти поршень. Після проходження НМТ поршень, рухаючись у напрямку ВМТ, виштовхує відпрацьовані гази крізь повністю відкритий випускний клапан у випускний колектор. На індикаторній діаграмі четвертому такту відповідає лінія б-п. Закривається випускний клапан після того, як поршень пройшов ВМТ. Під час такого пізнього закриття випускного клапана відпрацьовані гази продовжують виходити з циліндра по інерції. У такий спосіб наприкінці четвертого такту і початку першого

такту наступного циклу обидва клапани протягом деякого часу залишаються відкритими одночасно. Таке положення називають перекриттям клапанів. Отже, раннє відкриття і запізнє закриття випускного клапана, а також перекриття клапанів дозволяє значно покращити очищення циліндра від продуктів згоряння. Четвертим тактом закінчується робочий цикл двигуна. У подальшому усі процеси циклу повторюються в тій же послідовності.

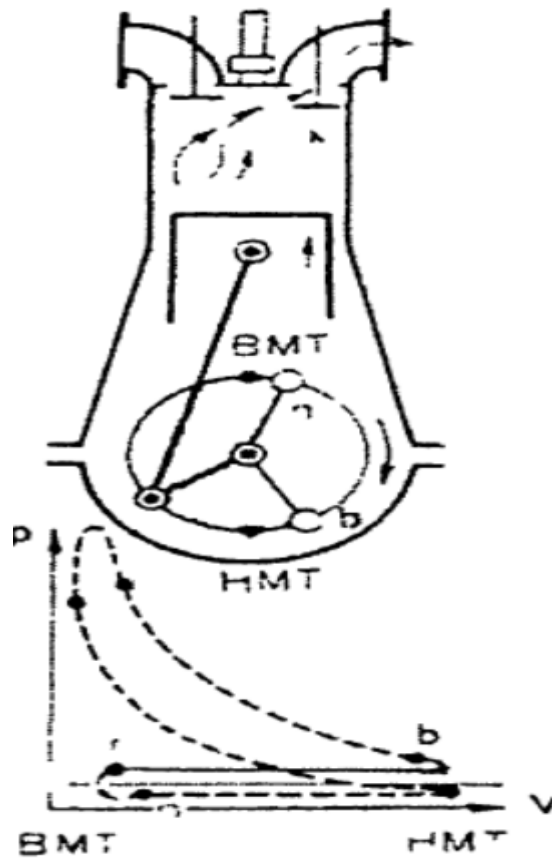


Рисунок 4. Такт ВИПУСК