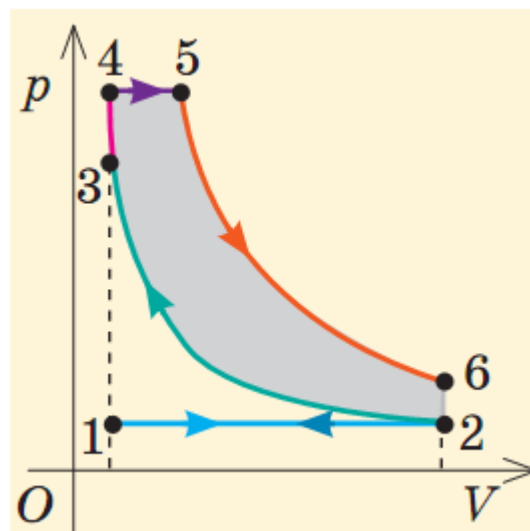


## Цикли Дізеля і Отто.

Ці цикли є основою роботи більшості двигунів внутрішнього згорання. Незважаючи на ряд відмінностей, різниця між ними не надто суттєва. Зазвичай всі ці цикли описують роботу чотиритактних двигунів, однак з деякими змінами вони застосовні і до малопотужних двотактних, які, наприклад, використовують в різноманітних механічних пристроях: бензопилах, бензокосарках, скутерах тощо.

Зазвичай вважають, що за циклом Дізеля працюють винятково дизельні двигуни, однак це не так. Всі бензинові інжекторні (з впорскуванням) двигуни також працюють за цим же циклом. Отже, характерною особливістю циклу Дізеля є впорскування пального в розігріте адіабатним стисканням повітря. Цикл Отто передбачає попереднє змішування бензинової пари з повітрям, стискання її та наступне запалювання за допомогою іскри.

Розглянемо ці цикли. На стор 232 (Бар'яхтар) подано графік циклу Дізеля. **Насправді це не цикл Дізеля, а узагальнений цикл Трінклера ([https://uk.wikipedia.org/wiki/Цикл\\_Трінклера](https://uk.wikipedia.org/wiki/Цикл_Трінклера)), окремими випадками якого є цикл Дізеля і цикл Отто.**



Він складається з двох адіабат 2-3 і 5-6, однієї ізобари 4-5 та однієї ізохори 6-2. Окремо показана ще одна ізобара 1-2-1, яка описує всмоктування повітря (1-2) та випуск відпрацьованих газів (2-1).

Отже, спочатку всмоктується повітря в робочий циліндр (процес 1-2). Далі це повітря адіабатно стискають (3-2), при чому його температура сильно зростає. На рис. 39.5 (Бар'яхтар), стор. 232 не жаль ця адіабата надто подібна до ізотерми, аналогічна помилка допущена і в Вікіпедії. Насправді адіабата має зростати стрімкіше.

В точці 3, коли поршень в циліндрі фактично наближається до свого верхнього положення (в.м.т – верхня мертва точка) починається впорскування палива (процес 3-4). Оскільки максимум горіння палива відбудеться з деяким запізненням, паливо впорскують трохи раніше до в.м.т., тобто цикл адіабатного стискування продовжується до точки 4. Паливо загоряється в точці 3 і горить до точки 5. Саме тут і полягає різниця між циклом Дізеля і Отто.

В циклі Дізеля процес 3-4 відсутній, тобто паливо горить під час ізобарного розширення продуктів його горіння (4-5), тоді як в циклі Отто навпаки, – відсутній процес 4-5, а паливо горить під час процесу 3-4. Насправді, реальні двигуни працюють за змішаним циклом Дізеля-Отто, тобто ці цикли розрізняють переважно як історичні. Отже, цикл Дізеля складається з двох адіабат, однієї ізохори та однієї ізобари, тоді як цикл Отто містить дві адіабати та дві ізохори.

Після того, як паливо згоріло і передало свою теплоту згоряння робочому тілу – суміші відпрацьованих газів, починається рух поршня вниз, тобто адіабатне розширення цієї суміші з подальшим її охолодженням (процес 5-6).

Після проходження поршнем н.м.т. – нижньої мертвої точки відкриваються випускні клапани (точка 6). В цей момент тиск відпрацьованих газів достатньо високий порівняно з зовнішнім, атмосферним тиском повітря, тому чути характерний звук вихлопу (процес 6-2). Після вирівнювання тисків відпрацьовані гази виштовхуються поршнем назовні (процес 2-1) і цикл повторюється знову.

Друга відмінність між цими циклами полягає в тому, що в циклі Отто в процесі 1-2 всмоктується не повітря, а суміш пари бензину з повітрям, яка в процесі 2-3 адіабатно стискається, а потім запалюється за допомогою електричної іскри.

## Приклади розв'язування задач.

### Задача 4, вправа 39 (Бар'яхтар)

- 4.** У тепловій машині потужністю 1,0 кВт, яка працює за циклом Карно, нагрівником є вода, узята за температури кипіння, а холодильником — лід, що тоне. Яка маса льоду тоне під час роботи машини протягом хвилини? Питома теплота плавлення льоду — 330 кДж/кг.

$$P = 1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$$

$$T_{\text{наг}} = 100^\circ \text{C} = 373 \text{ K}$$

$$T_{\text{хол}} = 0^\circ \text{C} = 273 \text{ K}$$

$$t = 1 \text{ хв} = 60 \text{ с}$$

$$\lambda = 330 \text{ кДж/кг}$$

$$m = ?$$

**Розв'язування.** Потужність машини – це корисна її робота за одиницю часу, тобто

$$A = P \cdot t.$$

Теплота  $Q_{\text{наг}}$ , яку машина бере у нагрівника, частково витрачається на цю роботу  $A$ , а решта  $Q_{\text{хол}}$  передається холодильнику

$$Q_{\text{наг}} = A + Q_{\text{хол}}.$$

Саме ця теплота  $Q_{\text{хол}}$  і плавить лід, тобто

$$Q_{\text{хол}} = m \cdot \lambda.$$

Для ідеального циклу Карно коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{Q_{\text{наг}} - Q_{\text{хол}}}{Q_{\text{наг}}} = \frac{A}{A + Q_{\text{хол}}}.$$

З іншого боку

$$\eta = \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}$$

Отже

$$\begin{aligned} \frac{A}{A + Q_{\text{хол}}} = \eta &\Rightarrow \eta (A + Q_{\text{хол}}) = A \Rightarrow Q_{\text{хол}} = \frac{A \cdot (1 - \eta)}{\eta} \Rightarrow \\ \Rightarrow Q_{\text{хол}} &= \frac{A \cdot \left(1 - \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}\right)}{\frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}} \Rightarrow Q_{\text{хол}} = \frac{A \cdot T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}} \end{aligned}$$

Таким чином,

$$m \cdot \lambda = \frac{P \cdot t \cdot T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}} \Rightarrow m = \frac{P \cdot t}{\lambda} \cdot \frac{T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}$$

Обчислюємо:

$$m = \frac{P \cdot t}{\lambda} \cdot \frac{T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}} = \frac{1000 \text{ Вт} \cdot 60 \text{ с}}{330000 \text{ Дж/кг}} \cdot \frac{273 \text{ К}}{373 \text{ К} - 273 \text{ К}} \approx 0,496 \text{ кг}$$

Відповідь: Розплавиться приблизно півкілограма льоду.

### Задача 5, вправа 36 (Засекіна)

5. У паровій турбіні витрачається 0,35 кг дизельного пального на 1 кВт · год. Температура пари, яка надходить у турбіну, дорівнює 250 °С, температура охолоджувача — 30 °С. Обчисліть фактичний ККД турбіни та порівняйте його з ККД ідеальної теплової машини, яка працює за тих самих температурних умов.

$$m = 0,35 \text{ кг}$$

$$A = 1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ кДж}$$

$$T_{\text{наг}} = 250 \text{ }^\circ\text{C} = 523 \text{ К}$$

$$T_{\text{хол}} = 30 \text{ }^\circ\text{C} = 303 \text{ К}$$

$$\eta_{\text{ідеал}} - ?$$

$$\eta_{\text{реал}} - ?$$

**Розв'язування.** ККД ідеальної машини, яка працює за циклом Карно, обчислити просто:

$$\eta_{\text{ідеал}} = \frac{T_{\text{наг}} - T_{\text{хол}}}{T_{\text{наг}}}$$

$$\eta_{\text{ідеал}} = \frac{523 \text{ К} - 303 \text{ К}}{523 \text{ К}} \approx 0,42 = 42\%$$

Щоби обчислити реальний ККД слід знати, яка кількість теплоти виділяється під час згоряння дизельного палива:

$$Q = q \cdot m,$$

де  $q$  – питома теплота згоряння дизельного пального, яку знайдемо на задньому розвороті підручника Засекіної:  $q = 42 \text{ МДж} = 42000 \text{ кДж}$ . Тоді реальний ККД можна обчислити як відношення корисної роботи до затраченої енергії

$$\eta_{\text{реал}} = \frac{A}{Q} = \frac{A}{q \cdot m} \Rightarrow \eta_{\text{реал}} = \frac{3600 \text{ кДж}}{42000 \text{ кДж/кг} \cdot 0,35 \text{ кг}} \approx 0,245 = 24,5\%$$

Отже, реальний ККД, як і очікувалося, вийшов менший, ніж ідеальний ККД.