

Лабораторна робота ТД-7

Дослідження індикаторної діаграми компресора

Зміст роботи. Зняття індикаторної діаграми і побудова дійсного циклу одного із ступенів повітряного поршневого компресора. Визначення основних параметрів циклу, що характеризують роботу компресора.

Загальні відомості. Реальний процес, що протікає в циліндрі компресора, відрізняється від ідеального 1-2-3-4 (мал. 4.11), що використовується в термодинамічному аналізі. На мал. 4.12 показана індикаторна діаграма, що зображає дійсний цикл одноступінчатого поршневого компресора. Повітря стискається в циліндрі компресора по лінії $a-b$ і досягнувши тиску, що дещо перевищує тиск в нагнітальному трубопроводі (точка b), відкривається нагнітальний клапан і відбувається виштовхування стислого повітря з циліндра компресора (процес $b-c$).

При зворотному ході поршня повітря, що залишилося в «шкідливому» просторі, розширяється до тиску, дещо нижче від атмосферного, поки не відкриється всмоктуючий клапан (процес $c-d$). Потім відбувається всмоктування свіжого заряду повітря при тиску, дещо меншому атмосферного (процес $d-a$), що обумовлене гідравлічними втратами у всмоктуючому тракті.

Таким чином, на відміну від теоретичного циклу (мал. 4.11) дійсні лінії нагнітання ($b-c$) і всмоктування ($d-a$) (мал. 4.12) унаслідок наявності гідравлічних втрат не є прямими лініями.

Крім того, на індикаторній діаграмі компресора є лінія розширення повітря, що залишилося в шкідливому просторі після закриття нагнітального клапана (лінія $c-d$), яка відсутня в теоретичному циклі.

Процес стиснення повітря в поршковому компресорі з охолодженням (процес $a-b$) також відрізняється від теоретичного, в якому приймається, що стиснення відбувається по політропі з постійним показником політропи n , великим одиниці і меншим показника адіабати k .

У реальному циклі показник політропи стиснення не залишається постійним, оскільки на початку стиснення теплота передається гарячими стінками циліндра повітряю ($n > k$), а в кінці процесу стислий, а отже, і гарячіше повітря віддає теплоту стінкам циліндра ($n < k$). Аналогічний характер носить і процес розширення залишкового повітря (процес $c-d$).

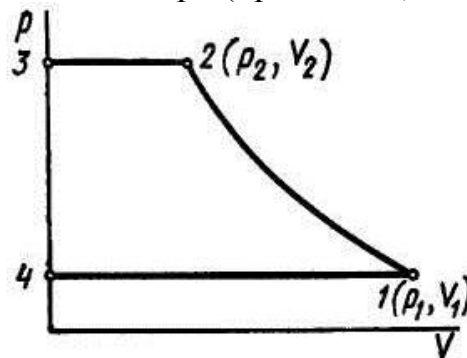


Рис. 4.11 Теоретичний цикл одноступінчатого компресора

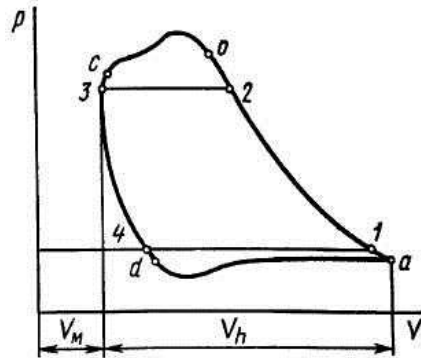


Рис.4.12 Індикаторна діаграма одноступінчатого компресора

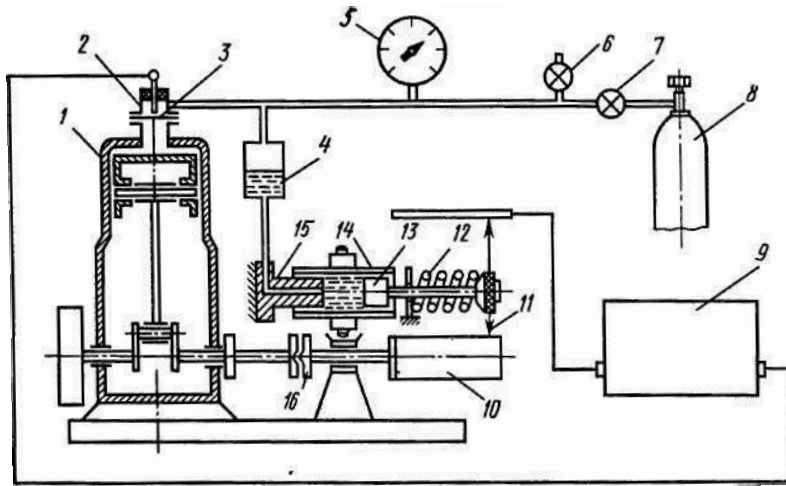
Опис експериментальної установки. У роботі виробляється відображення першого ступеня двоступінчатого поршневого компресора повітряного охолодження марки КСЕ-5. Компресор змонтований на зварній металевій рамі разом з електродвигуном. Вал компресора з'єднується безпосередньо з електродвигуном через пружну муфту.

Циліндри першого і другого ступенів встановлені на суцільнолитому картері і розташовані V-подібно під кутом 90° один до одного.

З нагнітальної сторони встановлений автоматичний регулятор тиску для випуску надмірного стислого повітря в атмосферу. Для охолодження повітря після його стиснення в першому ступені на компресорі є вертикальний проміжний холодильник. Холодильник укріплений на кронштейні картера і обдувається вентилятором, який приводиться в дію від валу компресора. На компресорі встановлені прилади для вимірювання тиск і температури стислого повітря.

Компресор КСЕ-5 має наступні технічні характеристики:

Продуктивність за нормальних умов, м ³ /мин . . .	5
Робочий тиск, МПа (надмірних).....	0,88
Число циліндрів першого ступеня	2
Число циліндрів другого ступеня	2
Діаметр циліндрів першого ступеня, мм.....	210
Те ж, другого ступеня, мм.....	125
Хід поршнів в обох ступенях, мм.....	120
Частота обертання валу компресора, об/хв....	730
Тип електродвигуна.....	А-91-8
Напруга живлячої мережі, В.....	220/380
Потужність електродвигуна, кВт.....	40
Маса компресора з електродвигуном, кг.....	1520



Мал. 4.13. Схема установки ТД-7

Для зняття індикаторної діаграми компресора в даній роботі використовується *електронно-пневматичний індикатор* типу МАИ-2. Цей індикатор призначений для запису тиску в періодичних процесах. За допомогою індикатора МАИ-2 можуть бути зняті індикаторні діаграми швидкохідних поршневих машин (двигунів внутрішнього згорання, компресорів), оскільки він володіє достатньо малою інерційністю. У основу роботи індикатора встановлений принцип стробоскопічної реєстрації моментів рівності тиску в досліджуваному об'ємі і системі індикатора.

Принципова схема установки для зняття індикаторної діаграми приведена на мал. 4.13. У головку циліндра компресора 1 укрупнений спеціальний приймач тиску 2. Основним елементом приймача є тонка мембрана 3. З одного боку на мембрану діє повітря з циліндра компресора, з другого боку — стисле повітря з пневмосистеми індикатора. Якщо тиск повітря в циліндрі більше тиску стислого повітря в пневмосистемі індикатора, то мембрана прогинається всередину приймача і торкається контакту, пов'язаного з електричною записуючою системою.

При зменшенні тиску в циліндрі до тиску стислого повітря в пневмосистемі індикатора мембрана повертається в нейтральне положення і розмикає електричний ланцюг; при подальшому пониженні тиску в циліндрі мембрана прогинається в протилежний бік; тиск, необхідний для прогинання мембрани до торкання з контактом, залежить від товщини мембрани і складає 5... 50 кПа.

При реєстрації високого тиску можна вважати, що у момент торкання або відриву мембрани від контакту тиск повітря в циліндрі компресора рівний тиску стислого повітря в пневмосистемі індикатора. У разі вимірювання низького тиску ця різниця повинна бути врахована. Змінюючи тиск повітря в пневматичній системі індикатора і фіксуючи момент замикання і розмикання контактів, тобто моменти рівності тиску повітря в циліндрі і пневмосистемі індикатора, можна зміряти змінний тиск газу у всьому досліджуваному діапазоні.

Для забезпечення надійної роботи мембрани і контакту момент замикання фіксується за допомогою тіратронного перетворювача 9 з малим струмом. Слабкі імпульси, що виникають в первинному ланцюзі при замиканнях і

розмиканнях, перетворюються тіратронним перетворювачем в імпульси струму високої напруги і прямують в реєструючий пристрій. Цей пристрій складається з металевого циліндра 10 (барабана), радіус якого рівний 57,3 мм. Циліндр обертається навколо своєї осі, оскільки він сполучений з колінчастим валом компресора за допомогою муфти 16.

Індикаторна діаграма записується на спеціальному папері, закріпленому на поверхні циліндра. Довжина паперової стрічки рівна 360 мм і відповідає довжині кола барабана. Ширина стрічки рівна довжині циліндра.

У поверхні циліндра встановлений розрядний штифт, сполучений з ланцюгом високої напруги. Під час розряду, момент якого співпадає з моментом рівності тиску повітря в циліндрі компресора і стислого повітря в пневмосистемі індикатора, іскра, що проскакує між штифтом і циліндром, пробиває паперову стрічку, закріплену на барабані 10. При цьому на папері залишається помітна для ока крапка. Розрядний штифт може переміщатися уздовж осі циліндра. При цьому завдяки вимірювальному механізму, що складається з розширювального бачка 4, гільзи 14, плунжерів 15, 13 і пружини 12, переміщення штифта завжди пропорційне тиску повітря в пневмосистемі індикатора.

Вимірювальний механізм служить для вимірювання і реєстрації на папері тиску в повітряній системі індикатора і є пружинно-поршнеvim манометром. На кожному індикаторі встановлені два незалежні вимірювальні механізми. Це дозволяє знімати індикаторні діаграми відразу в обох ступенях компресора. Основним елементом вимірювального механізму є плунжерна пара і пружина, від розмірів якої залежить масштаб тиску на індикаторній діаграмі. Змінюючи тиск повітря в системі індикатора (за допомогою повітряного балона 8 і кранів 7 і 6) в діапазоні, характерному для циліндра ступеня компресора, можна записати на паперовій стрічці залежність тиску повітря в циліндрі компресора від кута повороту колінчастого валу. Тиск у пневмосистемі вимірюється манометром 5.

Оскільки зсув розрядної голки уздовж осі барабана пропорційний тиску повітря в системі індикатора і, отже, миттєвому значенню тиску в циліндрі компресора, а кут повороту барабана 10 відповідає куту повороту колінчастого валу, на папері в деякому масштабі виходить розгорнена індикаторна діаграма, записана в координатах φ , p . Тут p — тиск в циліндрі компресора; φ — кут повороту колінчастого валу компресора.

Порядок проведення досліду . При виконанні роботи необхідно строго дотримуватись правила техніки безпеки: *не торкатися до елементів конструкції компресора і індикатора тиску, що обертаються і нагріваються. Не допускати підвищення тиску в пневмосистемі індикатора понад 0,35 МПа (надмірних) .*

Запустити компресор натисненням кнопки включення електродвигуна. Для виходу компресора на стаціонарний тепловий режим потрібно не менше 30 хв.

Плавнo відкриваючи вентиль 7 (мал. 4.13), наповнити пневмосистему індикатора стислим повітрям з балона 8. При цьому вентиль 6, що сполучає систему з атмосферою, повинен бути закритий. Пневмосистема заповнюється повітрям до тиску 0,25 МПа (декілька перевищуючого максимальний тиск

циклу 1-й ступені). Тиск реєструється пружинним манометром 5 1-го класу точності. Після досягнення необхідного тиску вентиль 7 закривається, а барабан індикатора 10 із заздалегідь закріпленим на ньому спеціальним папером за допомогою муфти зчеплення з'єднується з колінчастим валом працюючого компресора.

При знятті індикаторної діаграми повітря через вентиль 6 поступово відводиться в атмосферу. При цій операції, кожного разу, коли миттєве значення тиску в циліндрі компресора стає рівним тиску в пневмосистемі індикатора, іскровий розряд залишає на папері крапку. Оскільки тиск в системі індикатора знижується від максимального тиску циклу до атмосферного, сукупність точок, зафіксованих на папері, утворює криву зміни тиску в циліндрі залежно від кута повороту колінчастого валу.

Якщо в процесі зняття індикаторної діаграми необхідно зафіксувати який-небудь тиск, вентиль 6 тимчасово закривається. При цьому на папері виходить лінія, відповідна тиску, що показується манометром 5. Ця процедура використовується для фіксації на індикаторній діаграмі ліній максимального тиску циклу і атмосферного тиску.

Після виконання вказаних операцій барабан 10 за допомогою муфти зчеплення зупиняється і папір з нанесеною на ній кривою знімається. Потім вимикається електродвигун компресора.

При проведенні експерименту змінюється тільки тиск. Решта даних, необхідних для побудови реального циклу компресора, знімається безпосередньо з індикаторної діаграми. Частота обертання валу компресора, а також необхідні геометричні розміри вказані в технічній характеристиці компресора.

Обробка результатів вимірювань. Для отримання дійсного циклу компресора знята індикаторна діаграма перебудовується в координати V, p в певній послідовності.

1. Лінія верхньої мертвої точки (ВМТ) наноситься на індикаторну діаграму при проведенні досліду. На індикаторній діаграмі необхідно знайти положення нижньої мертвої точки (НМТ) (мал. 4.14). Оскільки довжина розгорненої індикаторної діаграми складає 360 мм і рівна довжині кола барабана, то очевидно, що масштаб діаграми уздовж осі φ рівний 1 град/мм. Через φ позначений кут повороту колінчастого валу, відлічуваний від верхньої мертвої точки (ВМТ). З цього виходить, що вертикальна лінія, відповідна н. м. т., знаходиться на відстані 180 мм від лінії ВМТ; цю відстань треба відкласти уздовж осі φ .

2. Вісь φ ділять на 12 рівних частин і нумерують від 0 до 12, починаючи від ВМТ. Кожен розподіл відповідає куту $\varphi = 30^\circ$ повороту колінчастого валу.

3. Визначають масштаб індикаторної діаграми m_p (МПа/см) по осі тиску. Його легко знайти, знаючи відстань уздовж осі ординат від лінії атмосферного тиску до лінії, відповідної деякому довільному тиску, зафіксованому при знятті індикаторної діаграми.

4. На листі міліметрівки формату А4 (210x297) будують півколо радіусом 60 мм (мал. 9.8), рівним радіусу кривошипа (або половині ходу поршня).

5. Побудоване півколо ділять на шість рівних частин; точки розподілу позначають цифрами, які відповідають точкам розподілу, нанесеним на осі φ знятої індикаторної діаграми (див. мал. 4.14). Кожна з точок півкола відповідатиме двом крапкам на осі φ .

6. На діаметрі побудованого півкола знаходять положення поршня, відповідні кутам повороту валу компресора. Для цього циркулем з розхилом ніжок, рівним довжині шатуна (300 мм), з точок розподілу півкола проводять дуги до перетину з діаметром; при цьому друга ніжка циркуля повинна знаходитися на продовженні діаметру півкола. Одержані таким чином точки перетину дуг з діаметром і будуть точками положення поршня, відповідними різним кутам φ .

7. Ординати тиску з діаграми в координатах φ, p переносять на діаграму в координатах V, p . Для цього з точок, що позначають положення поршня, проводять вертикальні лінії і на них від лінії $b-b$ відкладають ординати тиску.

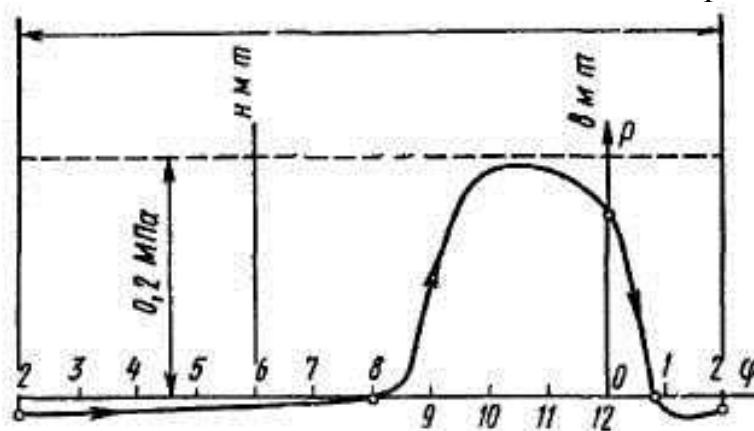


Рис. 4.14. Індикаторна діаграма компресора в координатах φ, p .

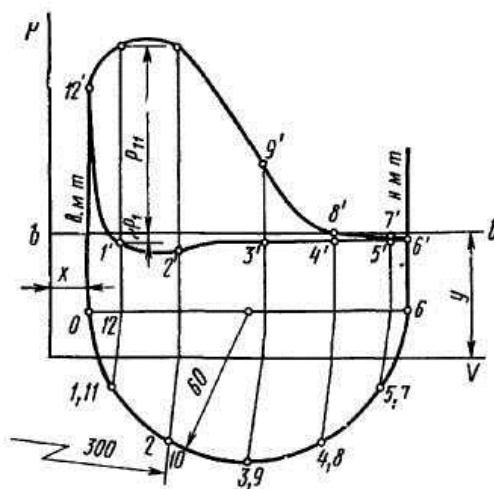


Рис. 4.15. Побудова індикаторної діаграми компресора в координатах V, p . На мал. 4.15 детально показано побудову точок $1'$ і $11'$, відповідних точкам 1 і 11 знятої діаграми.

8. Точки $0'$ — $12'$ сполучають плавною лінією. Одержана крива є індикаторною діаграмою ступеня компресора в координатах V, p .

9. Проводять вісь об'ємів на відстані y (мм) вниз від атмосферної лінії $b-b$:

$$y = 10V / (735,6m_p),$$

де B – барометричний тиск у момент зняття індикаторної діаграми, мм рт. ст.; m_p — масштаб тиску, МПа/см.

10. Проводять вісь тиску на відстані x (мм) ліворуч від лінії ВМТ:

$$x = 10V_M / m_v,$$

де $V_M = 0,415 \cdot 10^{-3}$ — об'єм мертвого простору циліндра, м³; $m_v = V_h / l_2$ — масштаб об'єму, м³/см. Тут V_h (м³) — робочий об'єм циліндра, підраховуваний за формулою

$$V_h = \pi D^2 S / 4$$

де $D = 0,21$ м; $S = 0,12$ м.

Індикаторна діаграма, побудована в координатах V, p (див. мал. 9.8), дозволяє визначити середній індикаторний тиск p_{ind} і індикаторну потужність N_{ind} першого ступеня компресора.

Середній індикаторний тиск p_{ind} є середнім значенням різниці ординат ліній розширення і стиснення і визначається за формулою

$$p_{\bar{a}} = m_p f_{\bar{a}} / S_{\bar{a}},$$

де m_p — масштаб тиску індикаторної діаграми, МПа/см; p_{ind} — площа індикаторної діаграми (см²), яка знаходиться планіметруванням; $S_{ind} = S$ — відстань, рівна ходу поршня, см.

Індикаторна потужність (кВт) одного циліндра компресора визначається за формулою

$$N_{\bar{a}} = \frac{1}{60} p_{\bar{a}} F S n 10^{-3},$$

де $F = \pi D^2 / 4$ — площа поршня, м²; S — хід поршня, м; n — частота обертання валу компресора, об/хв; p_{ind} — середній індикаторний тиск, МПа.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називається шкідливим простором циліндра компресора?
2. Чим обмежене отримання високого тиску в одноступінчатому компресорі?
3. Що називається середнім індикаторним тиском ступеня компресора?
4. Дайте характеристику термодинамічного процесу стиснення газу в компресорі.