

В.М.АРЕНДАРЕНКО, О.М.ІВАНОВ

ВАКУУМНА ТЕХНІКА ТА ТЕХНОЛОГІЙ



ПОЛТАВА

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛТАВСЬКА ДЕРЖАВНА АГРАРНА АКАДЕМІЯ

В.М. АРЕНДАРЕНКО

**ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ З ВАКУУМНОЇ
ТЕХНІКИ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

Методичні вказівки

Друкується за рішенням методичної ради інженерно-технологічного
факультету
протокол № 16 від 26.03.2019 року

ПОЛТАВА 2019

УДК

А

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Мельник В.І – доктор технічних наук, процесор, проректор з наукової роботи Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, академік АНВО України;

Сукманов В.О – доктор технічних наук, професор, професор кафедри Технології та обладнання переробних і харчових виробництв Полтавської державної аграрної академії;

Тарельник В.Б. – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технічного сервісу Сумського національного аграрного університету.

Друкується за рішенням Вченої ради
Полтавської державної аграрної академії,
протокол № 16 від 26.03.2019 року

В.М. Арендаренко, О.М. Іванов

Вакуумна техніка та технологій. Навчальний посібник. – Полтава, 2019. –68с.

Навчальний посібник з вакуумної техніки та технологій призначений для здобувачів вищої освіти освітнього ступеня Бакалавр спеціальності 133 Галузеве машинобудування. Він складається із дев'яти лабораторних робіт, які відповідають основним темам дисципліни. Навчальний посібник написаний згідно вимог освітньо-професійної програми «Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва».

ББК

ISBN

©В.М. Арендаренко, О.М.Іванов

ЗМІСТ

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ	5
ВСТУП	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №1. Вивчення приладів для вимірювання вакууму	8
Лабораторна робота №2. Дослідження струминного насосу за можливістю створення вакуумного середовища	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №3. Отримання вакууму за допомогою пластинчасто-роторного вакуумного насосу	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №4. Дослідження залежності температури кипіння води від зовнішнього тиску	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №5. Дослідження швидкодії вакуумного насосу методом сталого об'єму	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №6. Дослідження зміни рівня акустичного шуму у вакууметричному середовищі	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №7. Дослідження процесу дегазації дисперсної системи вода-вуглекислий газ	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №8. Вивчення конструкції насосів високого тиску	Ошибка! Закладка не определена.
Лабораторна робота №9. Дослідження процесу сублімаційного сушіння харчових продуктів	Ошибка! Закладка не определена.
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	61
УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ	Ошибка! Закладка не определена.
ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІОНІЗАЦІЙНИХ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ	Ошибка! Закладка не определена.
ПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ З ВАКУУМНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ	Ошибка! Закладка не определена.

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ПРОТИПОЖЕЖНІ ЗАХОДИ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ **ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

Правила особистої безпеки:

1. Перед початком роботи необхідно включити примусову вентиляцію приміщення.
2. Портфелі, папки, креслення необхідно сховати в шухляди столів або тумбочки. На робочих столах не повинно бути зайвих предметів.
3. Категорично забороняється приймати їжу під час роботи в лабораторії, пити воду з лабораторного посуду.
4. На столах та полицях не повинно бути не потрібного хімічного посуду, реактивів, зразків нафтопродуктів, приладів та апаратів, не потрібних для виконання робіт.

Правила протипожежної безпеки:

1. Електропроводка та електронагрівальні прилади повинні бути справними.
2. При виконанні робіт, зв'язаних з нагріванням легкозаймистих рідин, не дозволяється залишати прилади без нагляду, навіть на короткий проміжок часу.
3. Після закінчення роботи необхідно на робочому місці навести порядок: виключити нагрівальний прилад, закрити воду, прибрати зразки, злити продукт досліду в спеціальний посуд.

ПОРЯДОК ВИКОНАННЯ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ

Для виконання лабораторних робіт учбова група розподіляється на ланки по 4-5 чоловік. У відповідності з графіком переміщення ланок по робочим місцям студенти кожної ланки повинні самостійно опрацювати літературу, вказану в кінці даних методичних рекомендацій, познайомитися з методикою проведення дослідів і усно відповісти на питання по роботі, що виконується. Теоретично не підготовлені студенти до проведення лабораторних робіт не допускаються.

ВСТУП

Вакуум – це стан газу в замкнутому об'ємі з тиском нижчим ніж атмосферний. З фізичної точки зору вакуум ділиться на низький, середній, високий і надвисокий. В даному посібнику розглядається тільки низький вакуум.

Вакуум широко використовується у промисловості, медицині, сільському господарстві. Так, при плавленні металів у вакуумі відбувається активне видалення газів із розплавленого металу, що в свою чергу призводить до зменшення пористості в металі. Отриманий таким чином метал має високу механічну міцність, пластичність і в'язкість.

Відомо, що кисень є сильним окислювачем. Для збільшення терміну придатності харчових продуктів використовують вакуумні технології, за допомогою яких відбувається вакуумування продуктів. Запаковані за допомогою вакууму продукти мають більший термін зберігання, тому що мікроби у без кисневому середовищі не розмножуються.

При виробництві цукру використовуються вакуум-апарати для кристалізації цукрових розчинів. У цих апаратах використовуються пароструминні вакуумні насоси.

Для видалення повітря із фреонових трубок кондиціонерів, холодильників використовують вакуумування. Такий технологічний процес забезпечує довговічність фреонових трубок. За допомогою вакуумного напилювання тонують автомобільні стекла.

В медицині вакуум використовують для виробництва та зберігання вітамінів, синтетичних гормонів і т.п. При виготовленні освітлювальних приладів, ламп теж використовується вакуум.

В сільському господарстві такий технологічний процес, як доїння корів відбувається з використанням низького вакууму. У побуті вакуум використовується в пирососах, термосах, вакуумних сушарках, вакуумних упаковках..

Програмою курсу вакуумна техніка та технології, яка відповідає освітньо-професійній програмі спеціальності 133 - Галузеве

машинобудування передбачені лабораторні роботи. Вони відіграють велику роль у формуванні майбутнього інженера як спеціаліста.

В даному навчальному посібнику наведено сім лабораторних робіт які були розроблені і адаптовані до учбового процесу на інженерно-технологічному факультеті Полтавської державної аграрної академії. Вони охоплюють всі розділи дисципліни і розглядають фізичні основи створення вакууму та методи і прилади для його вимірювання, будову і принцип роботи вакуумних насосів, створення та утримання вакууму, вакуумні системи і їх елементи. Кількість і тематика лабораторних робіт визначається програмою курсу.

Використовуючи даний посібник здобувачі вищої освіти можуть ознайомитися із основними теоретичними положеннями курсу, будовою та принципом роботи лабораторних установок, порядком проведення робіт. Після виконання лабораторної роботи здобувач вищої освіти повинен написати звіт та захистити його. Для цього в даному посібнику після кожної лабораторної роботи наведено зразок звіту та питання для самоконтролю знань. Така структура посібника дає можливість здобувачу самостійно виконувати ту чи іншу роботу і захистити її безпосередньо на заняттях.

Основну увагу в посібнику приділено дослідом по визначенню вакууму у вакуумних системах, визначенню швидкодії вакуумних насосів, зміні стану різних речовин що знаходяться під впливом вакууму. Всі лабораторні роботи виконуються в присутності лаборанта і викладача з дотриманням вимог техніки безпеки. При виконанні робіт використовується персональний комп'ютер.

Звіти про виконані роботи необхідно представити в окремому зошиті у клітинку. Графічну частину необхідно виконувати олівцем. Здобувачі вищої освіти, які виконали і захистили лабораторні роботи отримують певну кількість залікових балів. Ці бали враховуються при поточному оцінюванні знань і умінь студента.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1 **ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА.**

ВИВЧЕННЯ ПРИЛАДІВ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ВАКУУМУ

Мета роботи: ознайомлення з принципом дії та будовою приладів для вимірювання вакууму, а також з методикою їх налагодження і тарування.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: трубчасті манометри; мембранні манометри; барометрична трубка; укорочений - U подібний манометр; мікроманометр похилий; компенсаційний манометр ММ-250.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Тиск – фізична величина, з якою молекули газу чинять силову дію на стінки замкнутого резервуару, в якому вони перебувають.

У відповідності з існуючою молекулярно-кінетичною теорією газів абсолютний тиск визначається за таким виразом:

$$p = \frac{2}{3} n W_{ck} = \frac{2}{3} n \frac{m v_{ck}^2}{2}, \quad (1)$$

де n – число молекул в одиниці об'єму ($n = N/V$); N – кількість молекул в даному об'єму; V - загальний об'єм; m – середня маса однієї молекули газу; v_{ck} – середня арифметична швидкість молекули газу; W_{ck} – середня кінетична енергія однієї молекули, яка рухається поступально.

Із формули (1) випливає, що абсолютний тиск залежить від величин, які характеризують молекулярну концентрацію газів та їх кінетичну енергію. Таким чином абсолютний тиск відноситься до одного із основних параметрів стану газу.

Тиск – фізична величина, яка визначається шляхом ділення сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:

$$p = \frac{F}{S}, \quad (2)$$

Тиск вимірюється в одиницях, що називаються «паскаль» [$\text{Па} = \text{н/м}^2$]. У вакуумній техніці як правило використовується одиниця

«Торр», вона на багато менша одного Паскаля ($1 \text{ Торр} = 1 \text{ мм.рт.ст.} = 133 \text{ Па}$).

Тиск робочого тіла (газ, рідина) в ізолюваній від навколишнього середовища об'ємі, тобто абсолютний тиск « P_a », може бути за своєю абсолютною величиною більшим або меншим атмосферного. У випадку, коли абсолютний тиск менший атмосферного, то негативна різниця між ними називається «розрідженням» або «вакуумом» і позначається « $P_{\text{вак.}}$ »:

$$P_{\text{вак.}} = P_{\text{абс.}} - B, \quad (3)$$

де B – атмосферний, тобто барометричний тиск.

Тиск вимірюється за допомогою приладів які називаються манометрами. Для низьких тисків використовуються вакуумметрами. Вони зазвичай складаються: манометричного перетворювача і вимірювального блоку.

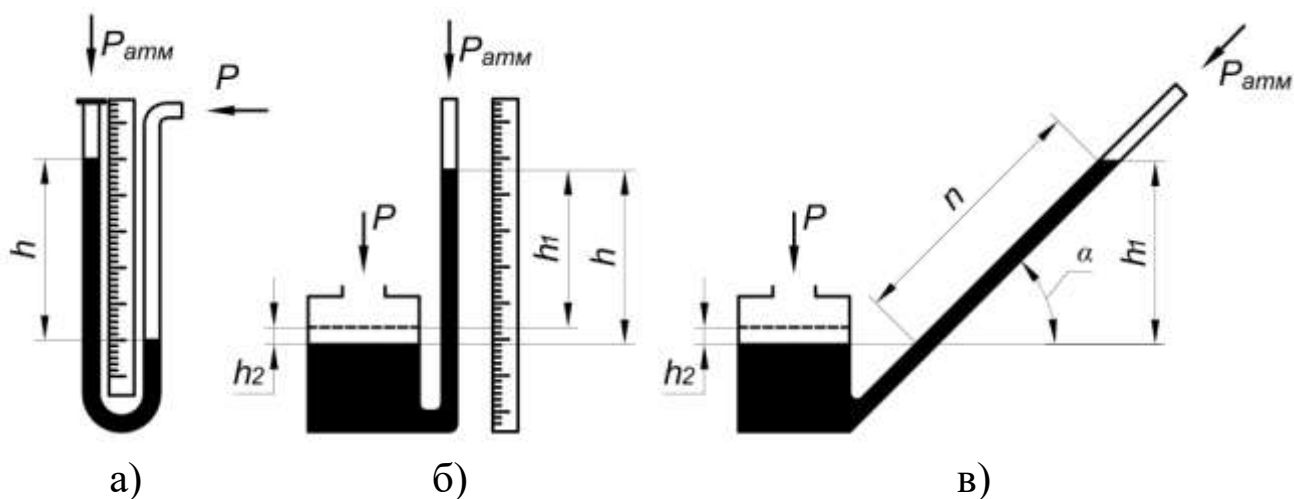
За допомогою барометрів вимірюється абсолютний тиск.

Вакуумметри за принципом роботи мають наступну класифікацію:

- *рідинні*, в яких вимірюваний тиск урівноважується тиском стовпа рідини відповідної висоти;
- *деформаційні* (пружинні), вимірюваний тиск визначається за результатом деформації різних пружних елементів, або за силою, що в пружних елементах появляється;
- *компресійні* – в цих приладах газ вакуумної камери з низьким тиском за допомогою ртуті, стискають до високого тиску, а вже потім вимірюють низький тиск;
- *теплові* – у теплових приладах електричним струмом нагрівається тонка платинова нитка і тепло від неї переноситься газом до стінок трубки, в якій розміщена ця нитка;
- *іонізаційні* – у даних приборах вимірювання вакууму відбувається за результатами іонізації залишкового газу, при цьому мірою молекулярної концентрації, тобто тиску газу у вакуумній камері є іонізаційний струм.

Рідинні манометри

Простими і достатньо точними являються рідинні скляні прилади. В цих пристроях рідиною за якою вимірюється тиск може бути ртуть, або спирт. Якщо робочою рідиною манометра є ртуть, то тиск при вимірюванні буде безпосередньо в одиницях Торр. Найбільш простими рідинними манометрами є дві вертикальні трубки. В цих пристроях вимірюваний тиск врівноважується висотою стовпця рідини яка знаходиться у трубці для порівняння. Вони бувають двох видів: U-подібні і чашкові. Для вимірювання невеликих тисків з великою точністю, використовуються прилади які мають похилу трубку. Вони називаються мікроманометрами.



а) U-подібний; б) чашковий; в) мікроманометр похилий.

Рисунок 1 – Манометри рідинні

Для того, щоб визначити у вакуумній системі тиск, треба насамперед за допомогою барометра визначити атмосферний тиск, тоді установити різницю між рівнями рідини у чашковому манометрі (рис.1,б). Висота стовпчика перепаду рідини h і буде міркою надлишкового тиску:

$$(p_{атм.} - p_{вак.}) = g \cdot \rho \cdot h, \quad (4)$$

де g – прискорення вільного тяжіння; ρ – густина речовини, що знаходиться в трубках манометра, якщо речовиною є ртуть, то вимірюваний тиск буде визначатись в одиницях «Торр».

Щоб не бути залежним від атмосферного тиску, використовують укорочений U-подібний манометр (рис.1,а). У даному манометрі один кінець трубки заварений, а другий відкритий. Такий рідинний

манометр наповнюють ртуттю. Приєднавши вільний кінець U-подібного манометра до вакуумної системи, можна визначати різницю рівнів h і за формулою підрахувати вакуумний тиск:

$$p_{\text{вак}} = 133,3 \cdot h, \text{ Торр} \quad (5)$$

Для підвищення чутливості U-подібний манометр одне із колін виготовляють похиленим (рис.1,в). Тоді надлишковий тиск визначається так:

$$(p_{\text{атм.}} - p_{\text{вак.}}) = g \cdot \rho \cdot n, \quad (6)$$

де n – кількість поділок шкали похилої трубки.

Деформаційні манометри

Робота деформаційних манометрів ґрунтується на вимірюванні різниці тисків. Ця різниця створюється початковим і надлишковим тисками. Надлишковий тиск утворюється в результаті деформації чутливого пружного елемента приладу від дії тиску або вакууму. Основним елементом такого манометра є пустотіла спіральна трубка 1 (рис.2) – трубка Бурдона. З одного боку трубка запаяна, а з другої відкрита. За допомогою штуцера 2 відкрита частина трубки приєднується до вакуумної системи. Таким чином, атмосферний тиск постійно діє на зовнішній бік трубки. Під час відкачки повітря із трубки, вона почне скручуватися від дії атмосферного тиску. Це відбувається внаслідок того, що радіуси кривизни площ зовнішньої і внутрішньої їх поверхонь трубки різні. Запаяний кінець трубки почне рухатися до нерухомого кінця, внаслідок чого зубчастий механізм 3 приводить в рух індикаторну стрілку манометра. При зупинці стрілка манометра покаже число поділок шкали. Різницю між атмосферним тиском $p_{\text{атм.}}$ та тиском всередині трубки, дасть величину тиску у середині вакуумної системи:

$$p_{\text{вак.}} = p_{\text{атм.}} - n. \quad (7)$$

Шкала подібних манометрів про тарована у відносних одиницях.

На рисунку 3 зображений мембранний манометр, чутливим елементом якого є мембрана або сильфон. Мембрана 1 у цьому приладі ділить об'єм на дві частини. Відкритою частиною манометр

приєднується до вакуумної камери, а в герметичній частині зберігається низький тиск ($p_k = 10^{-4}$ Торр).

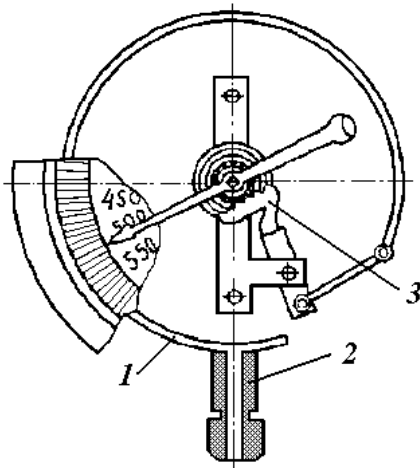


Рисунок 2 – Трубчастий манометр

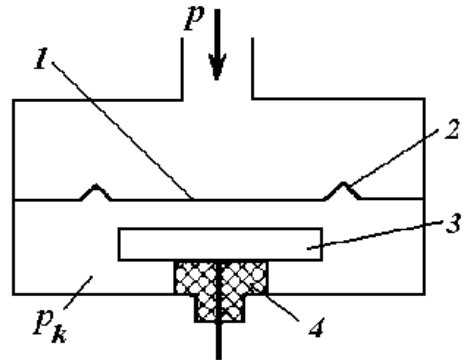


Рисунок 3 – Мембранний манометр

Мембрана манометра виготовляється з гофрами 2, це приводить до збільшення чутливості приладу. Для проведення вимірювань манометр оснащений ємнісним збалансованим мостом Уїтсона. Одне плече цього моста ємність, що знаходиться між мембраною і нерухомою пластиною – електродом 3, відокремлена від корпусу спеціальним ізолятором 4. Корпус манометра є іншим електродом.

Компресійні манометри

До рідинних манометрів відноситься і компресійний манометр Мак-Леода . Такий прилад працює за законом Бойля – Маріотта. Газ вакуумної камери з низьким тиском $p_{\text{вак.}}$, який вимірюється, за допомогою ртуті ізотермічно стискають до високого тиску, а потім визначають різницю рівнів врівноваженого стану. Такі манометри використовуються як еталонні.

Електричні прилади вимірювання тиску

За допомогою нинішньої вакуумної техніки можна створити тиск у вакуумній камері до $\sim 10^{-14}$ Торр. Обсяг тиску від даного значення до значення атмосферного тиску ($\sim 10^3$ Торр) приблизно складає 18 порядків. Вимірювання цих тисків одним універсальним приладом неможливо. Для кожного діапазону вимірювання тисків

існують свої методи та прилади. Вакуумний тиск в межах від $7,5 \cdot 10^{-2}$ до $7,5 \cdot 10^{-12}$ Торр ($10 \dots 10^{-9}$ Па) вимірюється за допомогою спеціальних електронних приладів. Вимірювання тисків у цих приборах ґрунтується на залежності тих чи інших електричних величин (опір R , індуктивність L , ємність C , електрорушійна сила E та ін..) різних речовин та матеріалів від тиску, що на них діє. До електричних приладів відносяться ємнісні манометри, в яких використовується ефект залежності ємності конденсатора, на обгортки якого діє вимірюваний тиск, від величини цього тиску. Іншими електричними приладами є манометри з термоопором; манометри зі змінною індуктивністю; манометри з п'єзоелектричним ефектом та ін.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Користуючись інструкціями та приладами, познайомитися з будовою та принципом дії всіх приладів для вимірювання тисків.
2. Пересвідчитись про відсутність тиску у повітряному балоні.
3. Перевірити рівень води в капілярних трубках рідинних вакуумметрах. Рівень води повинен бути на нульовій позначці.
4. За допомогою відсмоктувального пристрою створити у повітряному балоні вакуум.
5. Визначити по манометрам рівень вакууму у балоні.
6. Отримані дані записати в таблицю 1.
7. Дослід повторити два рази за пунктами 3- 6 створивши різний рівень вакууму в балоні.
8. Провести розрахунки по визначенню абсолютних та відносних похибок вимірювання вакууму. За еталонне значення прийняти вакуум який показував манометр ММ-250.
9. Визначити атмосферний тиск навколишнього середовища. Результати вимірювань записати в таблицю 2.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Зобразити у протоколі лабораторної роботи один із рідинних манометрів.
2. Занести результати вимірювання тисків в таблицю 1.

3. Підрахувати і записати абсолютні, відносні та середні відносні похибки для всіх засобів вимірювання.

Абсолютні похибки:

$$\Delta p = p_{em} - p_m. \quad (8)$$

Відносні похибки:

$$\delta = \frac{p_{em} - p_m}{p_m} \cdot 100, \%. \quad (9)$$

4. Визначити клас точності окремо взятого манометра.

Таблиця 1 – Результати вимірювання тиску рідинними манометрами

№	Найменування величини	Назва та тип приладу				
		ММ-250	U-подібний манометр	Похилий манометр	Чашковий манометр	Електричний
1	Надлишковий тиск					
2	Надлишковий тиск					
3	Надлишковий тиск					

5. Визначити атмосферний тиск за допомогою різних видів барометрів. Дані занести в таблицю 2.

Таблиця 2 – Величина атмосферного тиску

Барометр	Атмосферний тиск		
	мм. рт. ст.	Па	Торр
Пружинний			
Електронний			

Примітка: 1Торр = 1 мм.рт.ст. = 133 Па.

РОЗРАХУНКИ

Роботу виконав
здобувач вищої освіти _____ «___» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «___» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке тиск?
2. Який тиск вимірюють манометри?
3. В яких одиницях вимірюється вакуум?
4. Для чого слугують рідинні манометри та яка їх точність вимірювання?
5. В яких випадках застосовують пружинні манометри та який їх принцип дії?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУМИННОГО НАСОСУ ЗА МОЖЛИВІСТЮ СТВОРЕННЯ ВАКУУМНОГО СЕРЕДОВИЩА

Мета роботи: дослідити роботу лабораторної установки з струминним насосом з графічним відтворенням її будови, а також отримання експериментальним шляхом характеристики зміни величини вакууму в ежекторному каналі в залежності від гідродинамічного тиску в інжекторному каналі.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: струминний насос, компресор поршневий, ресивер, манометр, вакууметр.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Насоси в яких відкачка молекул газу з вакуумної камери здійснюється за допомогою струменя рідини чи газу називаються молекулярними,

До молекулярних насосів відносяться *струменеві насоси*. Відкачка газу в цих насосах відбувається в результаті дії молекул струменя пари робочої рідини на молекули газу, що надходять через впускний отвір вакуумної системи в насос, а потім виштовхуються через випускний отвір.

Відкачка газу з вакуумної камери в цих насосах як правило протікає при молекулярному режимі течії газу, але вона може виникати і при в'язкісному режимі.

Коли робоче тіло (рідина, чи її пара) буде рухатися в середині трубки яка має різний поперечний переріз (рис.1), то в результаті виникне різниця тисків. Різниця тисків в трубці із змінним поперечним перерізом можна визначити за допомогою рівнянням Бернуллі:

$$p_1 - p_2 = \frac{1}{2} \rho (v_2^2 - v_1^2), \quad (1)$$

де ρ – густина робочого тіла; v_1 та v_2 – відповідно швидкості в двох перерізах s_1, s_2 .

Із рисунку видно, що уздовж всієї довжини трубки величина тиску змінюється. Так тиск робочого тіла у місці звуження трубки знижується (рис.1).

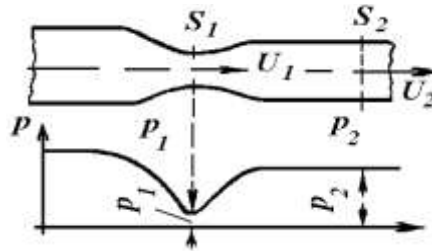


Рисунок 1 – Зміна тисків у трубці

Приєднавши у цьому місці вакуумну камеру, робоче тіло почне захоплювати газ, що знаходиться у ній. Газ із вакуумної камери почне рухатись разом з робочою рідиною в заданому напрямку. Таким чином отриманий від більш рухливого шару молекул імпульс, почне передаватися молекулам шару, що рухаються повільніше. Внаслідок такого теплового руху молекули робочого тіла і газу, що знаходиться в камері відкачки змішуються, і тоді відбувається відкачка газу.

Робочим тілом в таких насосах може бути вода чи її пара, або пари масла вакуумного, або пари ртуті. Якщо робочою рідиною є вода то такі насоси, називаються водоструминними (рис.2). Основними частинами водоструменевих насосів є: дифузор 1, ежекторне сопло 2 і струменепровід 3.

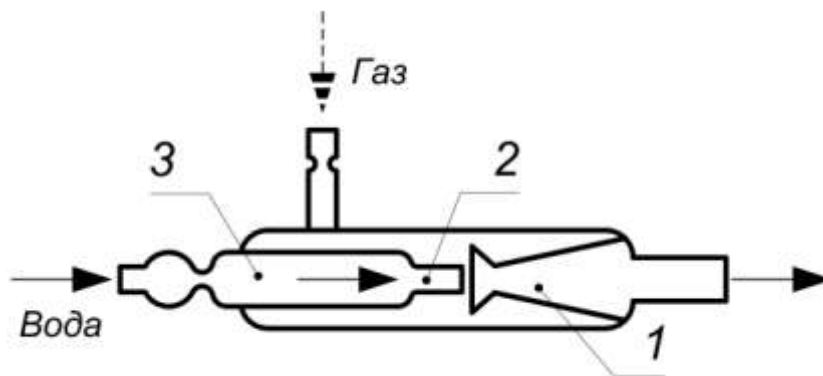


Рисунок 2 – Водоструминний насос

Водоструминні насоси можуть мати граничний тиск близько ~ 5 Торр. Це досить високий тиск, і він відповідає низькому вакууму. Ці насоси мають велику швидкодія $\sim 0,1$ л/ста просту конструкцію.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Увімкнути компресор.
2. По мірі нагнітання компресором повітря до струминного насосу відслідковувати, за заздалегідь прийнятим кроком, величину тиску у інжекторному каналі та фіксувати на кожному кроці рівень вакууму в ежекторному каналі.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. За допомогою умовних позначень, що прийняті для позначення конструктивних елементів пневматичних систем, викреслити лабораторну установку.
2. Змінюючи величину пневматичного тиску у інжекторному каналі зафіксувати величину створеного вакууму в ежекторному каналі. Отримані дані занести до таблиці.
3. За результатами експериментальних побудувати графічну залежність $p_{\text{ежект}} = f(p_{\text{інжект}})$.



Таблиця 1 – Експериментальні дані

№	Вакуум в ежекторному каналі, кПа	Тиск в інжекторному каналі		Різниця тисків в інжекторному та ежекторному каналі ΔP , кПа
		Поділки манометра	Тиск, кПа	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

РОЗРАХУНКИ

[illegible]

Роботу виконав

здобувач вищої освіти _____ «___» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «___» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Який принцип покладений в основу роботи струминного насосу ?
2. До якого типу відносяться струминні насоси?
3. За якою формулою визначається різниця тисків у трубці зі змінним поперечним перерізом?
4. Які режими течії газу можуть бути у струменевих насосах?
5. Наведіть позитивні і негативні якості струменевих насосів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

ОТРИМАННЯ ВАКУУМУ ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛАСТИНЧАСТО-РОТОРНОГО ВАКУУМНОГО НАСОСУ

Мета роботи: дослідити роботу лабораторної установки з пластинчасто-роторним вакуумним насосом з отриманням робочої характеристики зміни величини вакууму від часу у відкачувальному об'ємі.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: вакуумний насос РВН-20, вакуумна камера, вакууметр.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Вакуумна відкачка – створення розрідженого осередку в замкнутій від зовнішнього середовища системі.

Відкачка проводиться з метою зменшення молекулярної концентрації, тобто зменшення кількості молекул в камері відкачки до ступеня, котрий повністю забезпечує проведення необхідних фізичних експериментів, або проведенні в промисловості вакуумних технологічних процесів.

Звичайні обертові насоси створюють вакуум на засадах закону Бойля-Маріота. Відповідно до цього закону якщо температура і маса газу утримуються сталими, то в будь-якому становищі добуток тиску газу на його обсяг є величиною також сталою:

$$pV=const. \quad (1)$$

Цей закон ще називають ізотермічним, тобто таким, що відображує зміни в газі, які відбуваються при постійній температурі.

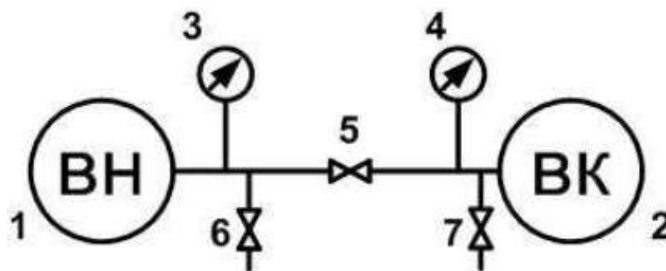
Для плідної експлуатації вакуумних насосів варто знати їх головні параметри. Вакуумні насоси мають такі головні параметри: продуктивність насоса, швидкодія насоса, початковий тиск, граничний тиск, найбільший випускний тиск, і робочий тиск.

Продуктивність насоса – величина потоку газу, що попадає в середину насоса за тиском який створюється на впускному патрубку, тобто це добуток швидкодії насоса на впускний тиск.

$$Q = S_n p_1. \quad (2)$$

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Відкрити вакуумний клапан 5 при закритих нагнетателях 6 та 7.
2. Увімкнути вакуумний насос 1 і спостерігати за допомогою вакуумметра 4 зміну вакууму у вакуумній камері 2.
3. З початком зміни вакууметричного тиску провести хронометраж даної зміни у контрольних точках які вказані у таблиці звіту.
4. Після досягнення мінімально можливого вакууму вимкнути насос та відкрити нагнетателя 6 та 7 для запуску повітря до вакуумної камери.
5. По досягненню рівня атмосферного тиску у вакуумній камері повторити дослід за пп.1-4 ще двічі.



1 - вакуумний насос, 2 – вакуумна камера, 3, 4 – вакуумметр, 5 – вакуумний клапан, 6, 7 – нагнетатель.

Рисунок 1 – Вакуумна лабораторна установка

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

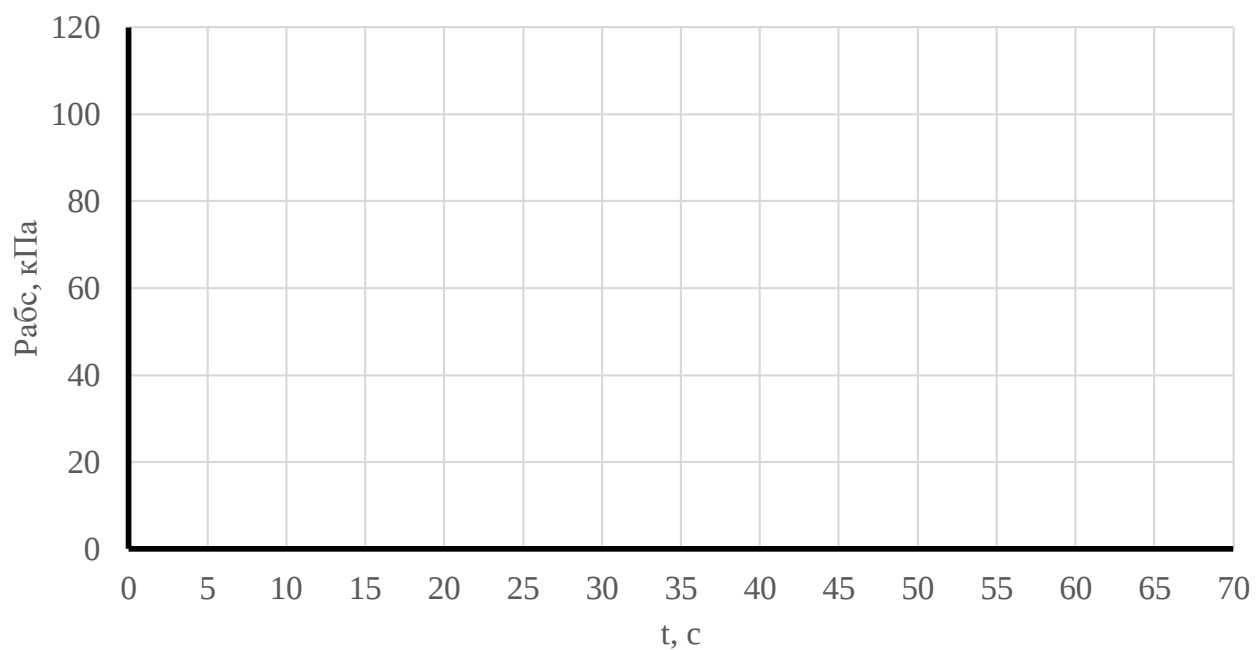
1. Накреслити принципову схему лабораторної установки з використанням умовних позначень вакуумних систем.
2. Провести експеримент по визначенню величини вакууму у відкачувальному об'ємі в залежності від часу проведення дослідів. Дослід повторити три рази, дані записати в таблицю.
3. Визначити атмосферний тиск і записати його в таблицю.
4. Підрахувати абсолютний тиск. Результати занести в таблицю.
5. Побудувати залежність $p_{абс} = f(t_{сер.})$.

Таблиця 1 – Результати експерименту

№	Час,с				Р _{вак.}		Р _{атм.}		Р _{абс}
	t ₁	t ₂	t ₃	t _{сер.}	атм	кПа	мм.рт.ст.	кПа	кПа
1					-0,1				
2					-0,2				
3					-0,3				
4					-0,4				
5					-0,5				
6					-0,6				
7					-0,7				
8					-0,8				
9					-0,9				
10					-1,0				

Примітка: 1 атм. = 0, 1 МПа = 100 кПа = 100000Па.

760мм.рт. ст. = 760 Торр = 101 325 Па.



РОЗРАХУНКИ

Роботу виконав

здобувач вищої освіти _____ «__» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «__» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Сформулюйте закон Бойля-Маріота?
2. На яких припущеннях базується молекулярно-кінетична теорія газів?
3. Що таке тиск згідно з молекулярно-кінетичною теорією газів?
4. Як визначається продуктивність вакуумного насосу?
5. Які режими течії газу розрізняють?
6. Що таке вакуумна відкачка?
7. Що таке швидкодія вакуумного насосу. та швидкодія об'єкта відкачки?
8. Що називають коефіцієнтом використання вакуумного насоса?
9. Які основні параметри вакуумних насосів?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕМПЕРАТУРИ КИПІННЯ ВОДИ ВІД ЗОВНІШНЬОГО ТИСКУ

Мета роботи: дослідити характер зміни температури кипіння води від тиску та відтворити його у вигляді апроксимованої залежності.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: блок живлення, вакуумний насос РВН-20, вакуумна камера, термометр, електрична плитка, аналітичні ваги, мірні мензурки.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Кипіння – процес інтенсивного пароутворення, який відбувається в рідині, як на вільній її поверхні, так і всередині її структури. При цьому в об'ємі рідини виникають межі поділу фаз, тобто на стінках посудини утворюються бульбашки, які містять повітря і насичений пар.

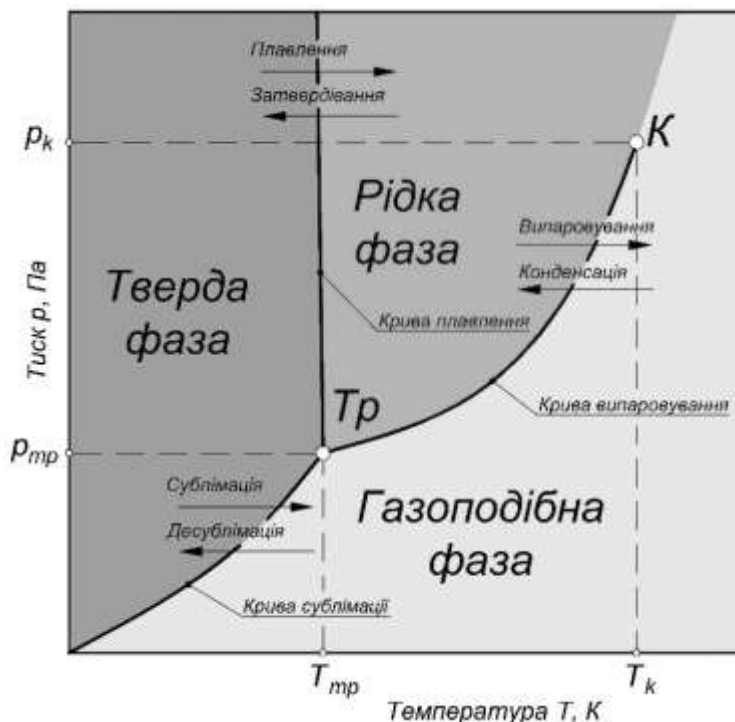


Рисунок 1 – Фазова діаграма води

Кипіння при нормальному атмосферному тиску приводиться як одна з основних характеристик хімічно чистих речовин.

Кипіння є фазовим переходом першого роду. Кипіння відбувається набагато інтенсивніше, ніж випаровування з поверхні,

Кипіння, як і випаровування, є одним із способів пароутворення. На відміну від випаровування, кипіння може відбуватися лише при певній температурі і тиску. Температура, при якій відбувається кипіння рідини, що знаходиться під постійним тиском, називається температурою кипіння. Як правило, температура

через присутність осередків пароутворення, обумовлених як більш високою температурою досяжної в процесі кипіння, так і наявністю домішок.

Початок кипіння рідини пов'язано з прогріванням пристінних шарів рідини до температури, що перевищує температуру насичення на певну величину dT . Величина перегріву dT залежить від багатьох факторів (тиску, швидкості течії рідини, концентрації розчинених в рідині речовин і. т. д.) і в загальному вигляді не визначається. Залежно від щільності теплового потоку, а також інших факторів, на поверхні обігріву утворюються або окремі парові бульбашки, або суцільна плівка пари, і кипіння називається або бульбашковим або плівковим.

Температура, при якій відбувається кипіння рідини, що знаходиться під постійним тиском, називається температурою кипіння чи температурою насичення.

Температура кипіння залежить, передусім, від величини абсолютного тиску, при якому відбувається протікання процесу пароутворення. Дана залежність може бути представлена у вигляді фазової діаграми або набути у формі статистичної таблиці (табл.1).

Таблиця 1 – Залежність температури кипіння від зовнішнього тиску

Абсолютний тиск $p_{абс}$		Температура кипіння $t_k, ^\circ\text{C}$
кПа	атм	
0,981	0,01	6,698
3,923	0,05	28,64
19,61	0,2	59,67
39,23	0,4	75,42
58,84	0,6	85,45
78,45	0,8	92,99
98,07	1,0	99,09
101,3	1,033	100,00
147,1	1,5	110,79
245,2	2,5	126,79

При використанні фазової діаграми пошук температури кипіння здійснюється в межах кривої випаровування, що є пограничною кривою між газоподібною та рідкою фазою речовини.

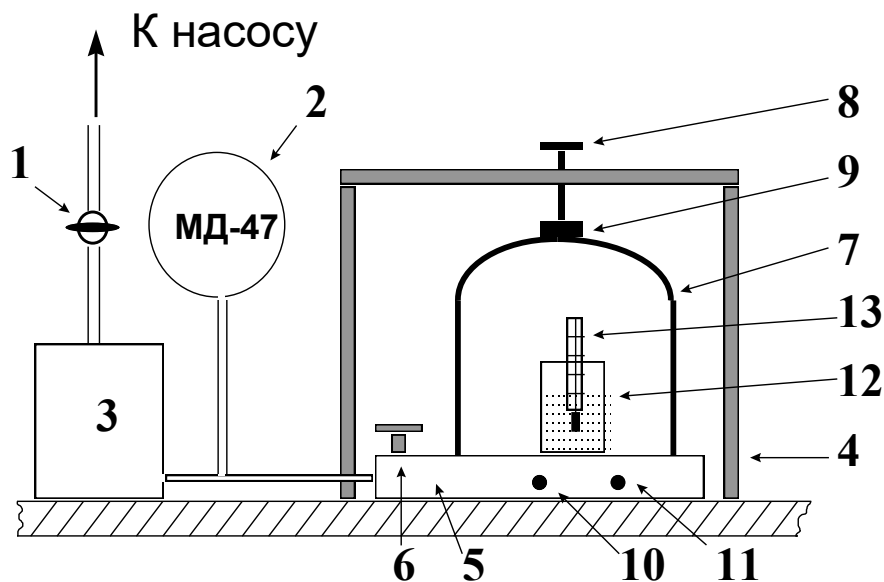
ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Попередньо нагріту воду в стакані 12 (рис.1) помістити під ковпак 7, опустивши при цьому в об'єм води термометр 13, і провертанням краном 6 почати відкачувати повітря з під ковпака.

2. По мірі відкачування повітря спостерігати за поведінкою води в стакані 12. У разі появи бурхливого кипіння припинити відсмоктування повітря, провертаючи кран 6 у відповідне положення, та зафіксувати поточний тиск по вакууметру 2 і температуру по термометру 13.

3. Отримані показники із вакууметра і термометра занести в таблицю.

4. За допомогою крану 6 збільшити тиск під ковпаком до атмосферного значення.



1- кран, 2 - вакууметр, 3 - баластний балон, 4 - станок, 5 – вакуумна тарілка, 6 - вакуумний кран, 7 - скляний ковпак, 8 притискний гвинт, 9 гумовий наконечник, 10 - сигнальна лампа, 11 - тумблер, 12 - стакан, 13 - термометр.

Рисунок 1 – Лабораторна установка

5. Збільшити попередній нагрів води на 10...15°C і повторити дослід ще п'ять разів за пп. 1-4.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Накреслити принципову схему лабораторної установки з використанням умовних позначень вакуумних систем.

2. Провести експеримент по визначенню зміни температури кипіння води від тиску. Дані записати в таблицю 1.

3. Визначити атмосферний тиск і записати його в таблицю.

4. Підрахувати абсолютний тиск. Результати занести в таблицю.

5. У декартових координатах відобразити залежність $t_{\text{кип}} = f(p_{\text{абс}})$.

6. Вивести функціональну залежність зміни температури кипіння від тиску у відповідності до формули:

$$t_{\text{кип}} = \alpha \cdot p_{\text{абс}} + b, \quad (1)$$

де α – кутовий коефіцієнт залежності $t_{\text{кип}} = f(p_{\text{абс}})$.

$$\alpha = \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

де φ – кут нахилу прямолінійної залежності $t_{\text{кип}} = f(p_{\text{абс}})$ до осі абсцис.

Таблиця 2– Результати експерименту

№	Атмосферний тиск, кПа	Показники вакуумметра		Абсолютний тиск у камері $p_{\text{абс}}$, кПа	Температура кипіння води, $t_{\text{кип}}$, °C	Температура кипіння (теорія) води, $t_{\text{кип}}$, °C
		атм	кПа			
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Примітка: 1 атм. = 0, 1 МПа = 100 кПа = 100000Па.

760мм.рт. ст. = 760 Торр = 101 325 Па.

Роботу виконав

здобувач вищої освіти _____ «__» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «__» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Суть процесу кипіння.
2. Що таке фазова діаграма?
3. Що таке температура кипіння?
4. Чим відрізняється процес кипіння від випаровування?
5. Чим відрізняється бульбашкове та плівкове кипіння?
6. Як визначити температуру кипіння за фазовою діаграмою?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №5

ДОСЛІДЖЕННЯ ШВИДКОДІЇ ВАКУУМНОГО НАСОСУ МЕТОДОМ СТАЛОГО ОБ'ЄМУ

Мета роботи: дослідити роботу лабораторної установки зібраної на основі пластинчасто-роторного насоса з отриманням характеристики його швидкодії.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: блок живлення, вакуумний насос РВН-20, вакуумна камера, вакууметр.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Вакуумним насосом називається пристрій, котрий призначений для видалення молекул газу із будь-якого герметичного об'єму.

Головними параметрами вакуумних насосів є: початковий тиск, швидкодія насоса, найбільший випускний тиск, граничний тиск і робочий тиск, продуктивність насоса.

Тиск при якому вакуумний насос запускається і починає нормально працювати називається початковим.

Тиск на випускному патрубку, при перевищенні якого насос перестане нормально працювати називається найбільшим тиском.

При тривалій роботі насос може створювати найменший тиск, він у вакуумній техніці називається граничним тиском. Граничний тиск ділиться на тиск який утворюється на впускному патрубку насоса і в системі відкачки. Перший залежить від конструктивних параметрів і матеріалів з яких виготовлений насос, а другий – від конструкції самої вакуумної системи.

Мінімальний тиск, при якому вакуумний насос протягом усієї своєї роботи зберігає номінальну швидкодію називається найменшим робочим тиском.

Максимальний тиск, при якому протягом всієї роботи насос зберігає свою номінальну швидкодію називається найбільшим робочим тиском.

Швидкодія вакуумних насосів визначається за слідкуючою формулою:

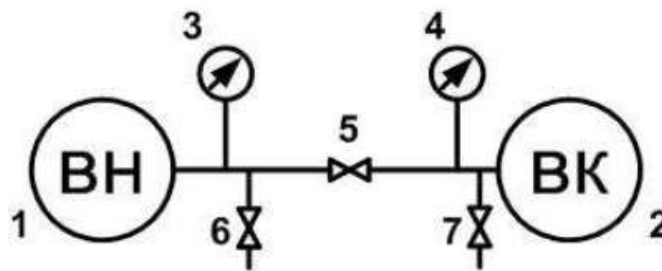
$$S_n = \frac{V}{t_1 - t_0} \ln \frac{p_0 - p_{zp}}{p_1 - p_{zp}}, \quad (1)$$

Де V – об'єм об'єкта відкачки; t_1 і t_0 – моменти часу при визначенні швидкодії насоса; p_0 , p_1 і p_{zp} – відповідно тиски в межах від нульового значення до першого та граничний тиск насоса.

В інженерних розрахунках швидкодія вакуумного насоса визначається за спрощеною формулою:

$$S_n = \frac{V}{t_1 - t_0} \ln \frac{p_0}{p_1}. \quad (2)$$

Проста схема вакуумної установки, наведена на рисунку 1.



1 - вакуумний насос, 2 – вакуумна камера, 3, 4 – вакуумметр, 5 – вакуумний вентиль, 6, 7 – натекатель.

Рисунок 1 – Вакуумна лабораторна установка

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Відкрити вакуумний кран 5 при закритих натекателях 6 і 7.
2. Увімкнути вакуумний насос 1 і спостерігати за зміною вакууму за допомогою вакуумметра 4 вакуумної камери 2.
3. З початком зміни вакууметричного тиску провести хронометрах даної зміни у наперед заданих контрольних точках, які вказані у таблиці, результати дослідів занести в таблицю.
4. Після досягнення мінімально можливого вакууму вимкнути насос та відкрити натекателі 6 і 7 для запуску повітря у вакуумну камеру.
5. По досяганню атмосферного тиску у вакуумній камері повторити дослід за пп. 1-4 ще двічі.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Накреслити принципову схему системи відкачки з нанесенням геометричних розмірів.

2. Визначити загальний внутрішній об'єм системи відкачки.
3. Визначити атмосферний тиск і записати його в таблицю 1.
4. Провести досліди по визначенню величини вакууму у відкачувальному об'ємі в залежності від часу проведення експерименту.
5. Визначити абсолютні тиски і занести їх в таблицю.
6. Підрахувати швидкодію насоса.
7. Побудувати залежності $S_n = f(t_{сер.})$ та $S_n = f(P_{абс.і})$.

Принципова схема експериментальної установки

Таблиця 1 – Результати експерименту

№	Час, с				$p_{\text{вак}}$		$p_{\text{атм}}$		$p_{\text{абс.}i}$	V	S_H
	t_1	t_2	t_3	$t_{\text{сеп.}}$	атм	кПа	Торр	кПа	кПа	м ³	м ³ /с
1					-0,1						
2					-0,2						
3					-0,3						
4					-0,4						
5					-0,5						
6					-0,6						
7					-0,7						
8					-0,8						
9					-0,9						
10					-1,0						

Примітка: 1 атм. = 0,1 МПа = 100 кПа = 100000Па.

$$760_{\text{мм.рт. ст.}} = 760 \text{ Торр} = 101\,325 \text{ Па}$$

РОЗРАХУНКИ

[illegible]

Роботу виконав _____ «__» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «__» _____ 20__ р.

1. Що таке вакуумний насос?
2. Назвіть головні параметри вакуумних насосів ?
3. Що таке початковий тиск вакуумного насоса?
4. Що таке найбільший тиск вакуумного насоса?
5. Що таке граничний тиск вакуумного насоса?
6. Що таке найменший робочий тиск вакуумного насоса?
7. Що таке найбільший робочий тиск вакуумного насоса?
8. За якими формулами визначається швидкодія вакуумного насосу?
9. Що таке швидкодія вакуумного насоса?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №6

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РІВНЯ АКУСТИЧНОГО ШУМУ У ВАКУУМЕТРИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

Мета роботи: дослідити характер зміни рівня акустичного шуму у вакууметричному середовищі при використанні п'єзокерамічного випромінювача.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: блок живлення, вакуумний насос РВН-20, вакуумна камера, вакууметр, шумомір SL824.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Вакуумна система – це технологічна установка до складу якої входять різні пристрої, прилади та арматура необхідні для створення, вимірювання і підтримування заданого ступеню вакууму. За допомогою вакуумних систем виконуються різні технологічні операції пов'язані із знегаження електровакуумних приладів (наприклад, освітлювальних приборів). Вакуумні системи використовуються в технологічних установках при виробництві лікарських препаратів, харчових продуктів тривалого зберігання і т.п.

Вакуумні системи складаються із: вакуумних насосів, вакуумних камер (рис.1 камера з герметичним ущільнювачем), уловлювачів пари рідких рідин, клапанів, вакуумних кранів, вентилів, затворів, натікувачів (дозаторів різної конструкції), вакуумних з'єднань і т.п.

За ступенем вакууму системи поділяються на системи з низьким, середнім, високим і надвисоким вакуумом.

Системи в яких створюється низький вакуум зазвичай складаються із одного вакуумного насосу робочий тиск якого не нижче за $\sim 7 \cdot 10^{-2}$ Торр. Такі називаються низько вакуумними.

Системи у яких присутні два вакуумних насоса називають середньо вакуумними системами. За допомогою таких систем створюється як низький так і середній вакуум. У подібних системах робочий тиск можна понизити до $\sim 7 \cdot 10^{-5}$ Торр.

Для створення високого вакууму до всі елементів середньо вакуумних систем додається ще й високо вакуумний насос. Такі системи називаються високо вакуумними. У високо вакуумних системах робочий тиск можна понизити до $\sim 7 \cdot 10^{-7}$ Торр.

Вакуумні насоси характеризуються наступними параметрами:

- швидкістю відкачки S_n ;
- найбільший робочий тиск $P_{p\ max}$;
- тиск запуску вакуумного насоса (початковий тиск) P_3 ;
- найбільший випускний тиск $P_{вип}$.

Звук – механічні хвилі, що поширюються у пружному середовищі (газ, рідина чи тверде тіло).

Звукові хвилі з частотою меншою 16 Гц називаються *інфразвуком*, а більшою 20 кГц *ультразвуком*.

Звук характеризується: гучністю, висотою, тембром і швидкістю поширення. Гучність звуку визначається амплітудою коливання тіла, що звучить.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Помістивши п'єзокерамічний акустичний випромінювач у вакуумметричну камеру, увімкнути вакуумний насос РВН-20.
2. Розташувати впритул до камери акустичний шумомір SL-824.
3. Довести рівень вакууму до максимально можливого рівня.
4. Подати живлення на вивідні клеми випромінювача.
5. Провернувши запірний кран вакуумної установки у положення всмоктування повітря, відслідковувати за показами акустичного шумоміру рівень шуму.
6. По мірі зменшення величини вакууму в контрольних точках (див. табл.) зафіксувати поточні покази на шумомірі.
7. По досягненню нульової відмітки вакуумметра повторити дослід ще двічі за пп. 3-7.
8. На підставі тричі повтореного експерименту вивести середнє значення рівня шуму $\psi_{сер}$.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Викреслити схему шумоміра SL-824.



Схема шумоміра SL-824

Роботу виконав
здобувач вищої освіти _____ «___» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «___» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке вакуумна система?
2. З яких елементів складається вакуумна система?
3. Якими параметрами характеризується низько вакуумна система?
4. Що потрібно зробити, щоб створити середній вакуум?
5. Де використовуються високо вакуумні системи?
6. Якими параметрами характеризуються вакуумні системи?
7. Що таке звук?
8. Яким чином розрізняють інфразвук від ультразвуку?
9. Якими параметрами характеризується звук?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 7

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ДЕГАЗАЦІЇ ДИСПЕРСНОЇ СИСТЕМИ ВОДА-ВУГЛЕКИСЛИЙ ГАЗ

Мета роботи: розглянути процес виділення двоокису вуглецю з газової емульсії у вакуумному середовищі з визначенням загальної тривалості його протікання.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: блок живлення, вакуумний насос РВН-20, вакуумна камера, вакууметр, аналітичні ваги, мензурки.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

Дегазація (лат. – *видалення*) – один із шляхів природним або штучним методом відсмоктування газів із їх джерел.

В техніці для видалення газів при підготовці води до вживання використовують плівкові дегазатори, а для знекислювання води – вакуумні дегазатори.

Газовану воду виготовляють шляхом насичення якісно підготовленої води вуглекислою під тиском. Вуглекислий газ досить добре розчиняється у воді, як і інші гази, котрі вступають із нею в хімічну взаємодію (сірководень, аміак і т.п.). Вуглекислий газ використовується як консервант і позначаються на упаковках під кодом E290.

Для видалення із води вільного діоксину використовують плівкові дегазатори. Вони забезпечують стійку дегазацію, мають високу продуктивність та довговічні.

На рис. 1 наведена схема плівкового дегазатора з насадками із кілець Рашига.

Вакуумні дегазатори (рис.2) використовуються для запобігання кислотної корозії труб та апаратури. Видалення вільної вуглекислоти котра присутня у підземних водах використовують вакуумні дегазатори.

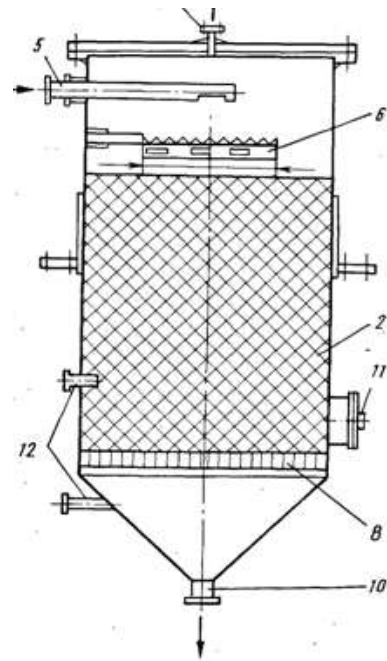
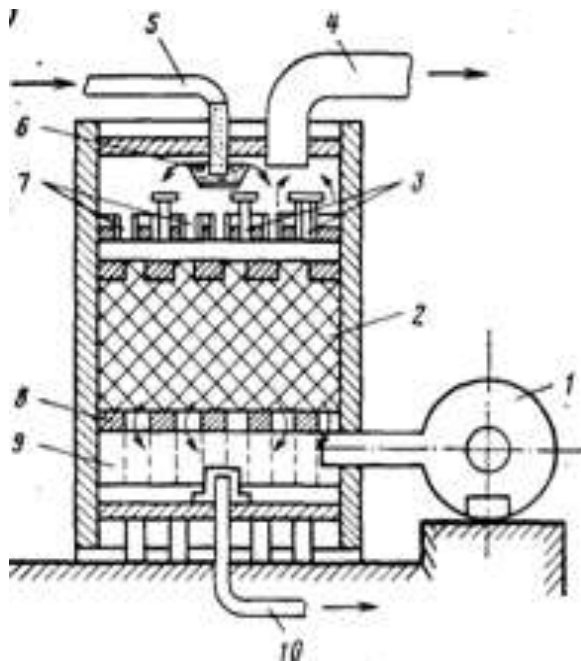
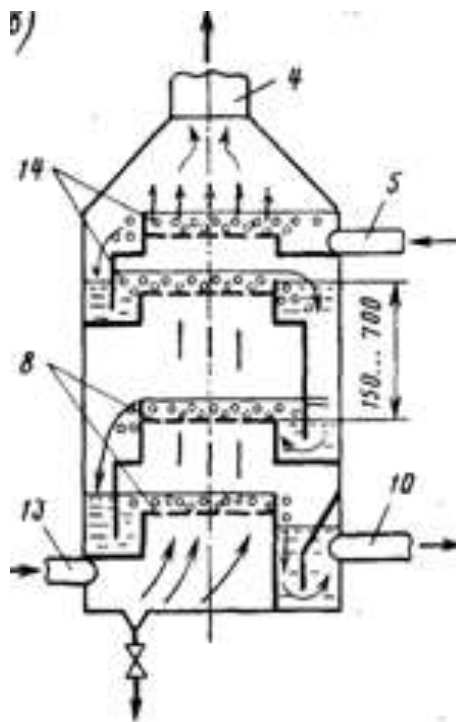


Рисунок 1- Плівковий дегазатор Рисунок 2 – Вакуумний дегазатор

На рисунку 3 наведена схема пінного дегазатора.



1 – вентилятор; 2 – насадка із керамічних кілець Рашига;
3 – газовідвідний патрубок; 4 – видалення повітря; 5, 10 – початковий
вхід і відвід дегазованої води; 6 – водорозподільна лійка;
7- зрошувальний патрубок; 8 - дірчасте дно; 9 – піддон; 11 – люк;
12 – патрубок для водомірного скла; 13 – вхід повітря.

Рисунок 3 – Пінний дегазатор

Концентрація вільної вуглекислоти у воді, яка підлягає дегазації, не завжди зазначається при її аналізі. Її можна визначити при дегазації води після Н – катіонних фільтрів. Сумарна кількість вуглекислоти у воді визначається так:

$$C_{\text{вх}} = 44Ж_i + C_{\text{поч}},$$

де $Ж_i$ – карбонатна твердість початкової води, мг – екв/л; $C_{\text{поч}}$ – утримання вільної вуглекислоти у початковій воді, мг/л, визначається по номограмі (рис. 4). Перший член формули враховує вільну вуглекислоту, яка утворилася при розкладі бікарбонатів.

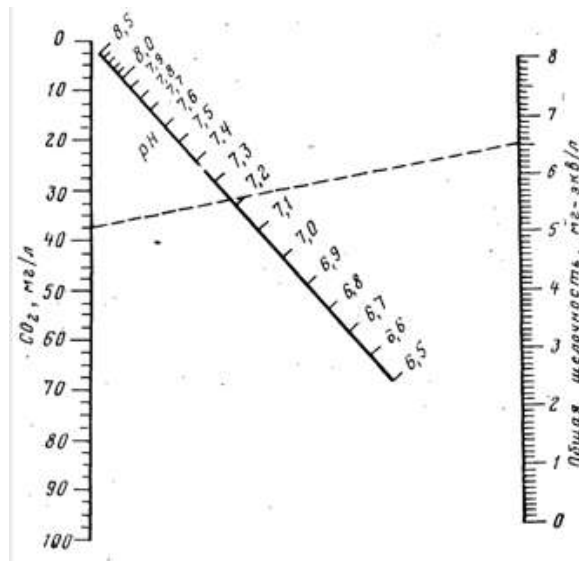


Рисунок 4 – Номограма для визначення складу у воді вільної вуглекислоти

Номограма складена для щільного розчиненого залишку води 20 мг/л і при температурі її 22⁰ С.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Увімкнути вакуумний насос.
2. За допомогою натекателя встановити необхідний рівень вакууму у ресивері лабораторної установки.
3. Поставити мірний стакан на ваги та залити необхідну кількість газованої води.
4. Помістити заповнений стакан під ковпак вакуумної камери.
5. Швидким повертанням запірного крану камери здійснити зниження тиску до вакууметричного, заданого в ресивері.

6. С початком встановлення вакууметричного середовища в камері запустити хронометр на відлік часу.

7. Спостерігати за виділенням газоподібної складової з газованої води.

8. При припиненні виділення газу вимкнути хронометр і отриманий час занести до таблиці 1.

9. Дослід повторити за пп. 2-8 декілька разів при іншій кількості води у стакані.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Провести дослідження по визначенню тривалості протікання процесу дегазації води при визначеному рівні вакууму. Результати дегазації занести до таблиці.

2. Визначити атмосферний тиск.

3. Змінюючи масу газованої води у стакані дослід по дегазації повторити ще чотири рази. Час дегазації занести до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати експериментальних досліджень

№	Маса водит, грам	Атмосферний тиск p , атм	Час t , сек
1			
2			
3			
4			
5			

4. Відобразити залежність $t = f(m)$ у графічній формі.

5. Провести регресійний аналіз залежності $t = f(m)$ та представити залежність у функціональній формі типу

$$t = \alpha m + b, \quad (1)$$

де α – кутовий коефіцієнт залежності $t = f(m)$.

$$\alpha = \operatorname{tg} \varphi, \quad (2)$$

де φ – кут нахилу прямолінійної залежності $t = f(m)$ до горизонталі.

РОЗРАХУНКИ

Роботу виконав
здобувач вищої освіти _____ «___» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «___» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Що таке дегазація?
2. За допомогою яких приладів проводять дегазацію води?
3. Як виготовляється газована вода?
4. Як можна визначити концентрація вільної вуглекислоти у воді?
5. Яким чином можна визначити склад вільної вуглекислоти у воді?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 8

ВИВЧЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ НАСОСІВ ВИСОКОГО ТИСКУ

Мета роботи: познайомитися з будовою і принципом роботи насосів високого тиску.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: ілюстративні плакати конструкції та принципу дії іонізаційних насосів, дослідні зразки іонізаційних вакуумних насосів.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

До насосів високого тиску відносяться металеві іонні, скляні іонно – сорбційні, магніторозрядні іонно - сорбційні та кріогенні адсорбційні насоси. В цих насосах відсутня пара робочої рідини. Основна перевага цих насосів полягає в тому, що за допомогою їх можна створити високий і надвисокий вакуум без загрози забруднення камери відкачки конденсованою парою, крім того насоси не мають рухомих ланок.

Іонні насоси широко використовуються при виробництві електричних приладів та напівпровідників, для довготривалого підтримування вакууму у вакуумних системах, для відтворення космічного вакууму у барокамерах.

Металеві іонні насоси - складаються із металевої трубки -1 (рис.1), яка є і корпусом і заземленим анодом, 2 і 3- вольфрамові порожнисті катоди, перший 2 «гарячий», а другий 3 холодний, 4 - випускні патрубки, 5- впускний отвір, 6 – зовнішній соленоїд, 7 – внутрішній соленоїд, 8 – звуження трубки.

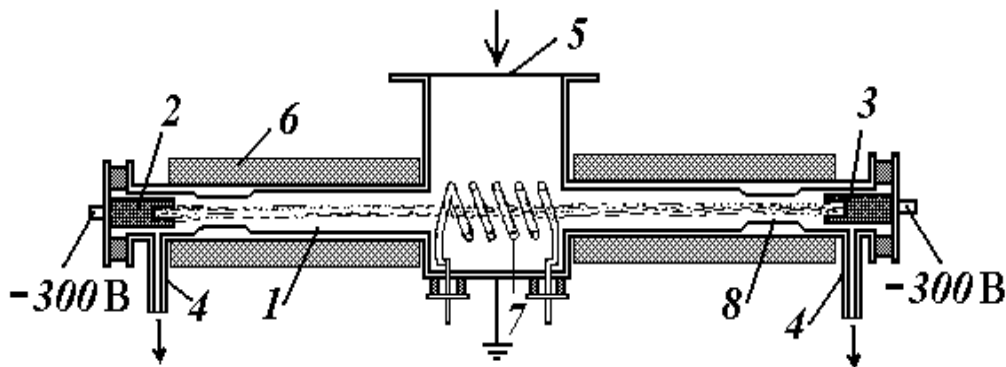


Рисунок 1 – Металевий іонний насос

Іонний насос працює таким чином газ з вакуумної системи спочатку потрапляє до центральної частини насоса, а потім розповсюджується в праву і ліву його частини. Соленоїд 6 створює постійне магнітне поле яке підвищує іонізацію молекул газу, котрі відкачуються із камери відкачки. Магнітне поле, яке створює соленоїд змушує електрони переміщуватися уздовж металевої трубки насоса. До катода рухаються позитивно заряджені іони, які при зіткненні з ним свій заряд йому віддають і стають нейтральними. Іонні насоси працюють в парі з насосами попереднього вакууму. Попередній вакуум створюється на випускному патрубку насоса і тоді нейтральні молекули будуть відкачуватися з вакуумної системи через випускні отвори 4.

Швидкодія металевих іонних насосів може досягати 7000л/с, а створений ними вакуум може мати тиск $(0,8...6) \cdot 10^{-6}$ Торр – при умові, що діапазон попереднього розрідження коливається від $3 \cdot 10^{-4}$ до $5 \cdot 10^{-4}$ Торр. Основний недолік металевих іонних насосів це руйнування катода в наслідок випаровування вольфраму, під час його нагріву.

Скляні іонно - сорбційні насоси – знижують тиск у приладах використовуючи фізичне явище пов'язане із адсорбцією газів металами. Випускний патрубок у скляних іонно - сорбційних насосах відсутній, а впускний патрубок приварюється до скляного приладу, де створюється вакуум. Такі насоси називаються сорбційними.

Сорбційний насос складається (рис.2) із випалювача металу 1, це вольфрамовий дріт з навитим на нього по спіралі титаном, іонізаційного пристрою 2, магнітного пристрою 3. До складу іонізаційного пристрою входить катод 4 і два кільцевих аноди. Аноди розміщені в пристрої симетрично катоду. Катод 4 нагрівається до температури електронної емісії. Для створення електричного поля на аноди і катод подається електричний струм, що прискорює іонізацію молекул газу. Магнітне поле примушує електронне рухатися по гвинтовим траєкторіям.

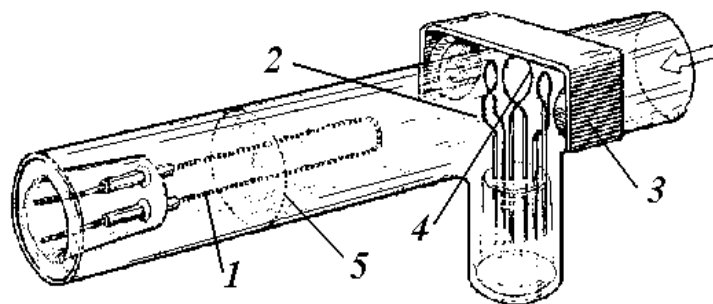


Рисунок 2 – Скляний іонно - сорбційний насос

Випарник 1 виконаний із вольфрамового дроту на котрому спіралью навитий дріт із титану.

Коли вольфрамовий дріт нагрівається титан починає випарюватися. Випарений титан тонким шаром починає осаджуватися на холодній стінці насоса, поглинаючи при цьому шар за шаром молекули газу. Титан добре поглинає такі гази як кисень, азот, водень, пари води та окис вуглецю.

Під час роботи насоса відбувається витрати титану, для поновлення якого необхідно випарник відрізати по колу 5 трубки. Після відрізання трубки проводиться навивка нової титанової спіралі на вольфрамовий дріт. Готовий випарник знову приварюється до насоса.

Такі насоси починають працювати тільки після створення тиску який сягає 10^{-4} Торр, тому їх необхідно спочатку з'єднати з насосом попереднього розрідження, котрий потім від'єднується.

Сорбційний насос створює надвисокий вакуум, граничний тиск може перевищувати 10^{-9} Торр, але для цього необхідно проводити якісне знегаження.

Магніторозрядні іонно - сорбційні насоси – в таких насосах основна відкачка активних газів відбувається за рахунок ефекту хемосорбції газів тонкою плівкою титану, котра під дією високої температури постійно відновлюється. Розпилення титанового поглинача відбувається електричним розрядом, котрий постійно діє в магнітному полі.

Принципова схема магнітно-іонного насоса наведено на рис.3.

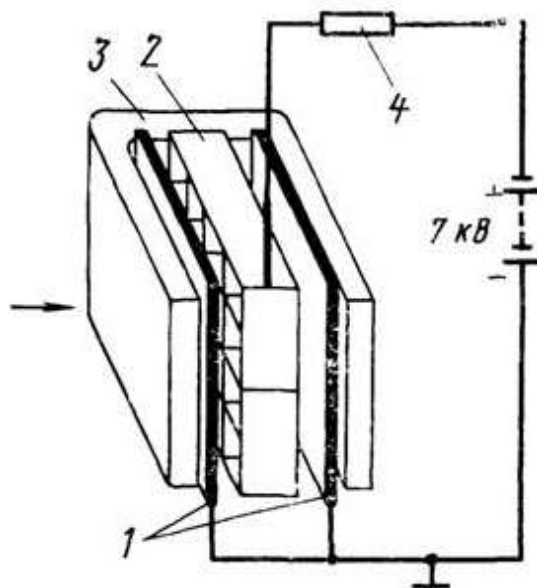


Рисунок 3 – Схема магніторозрядного іонного насосу

Магніторозрядний насос складається із плоских титанових катодів 1 і аноду 2, який складається із багатьох прямокутників або круглих чарунок. Анод розміщений між катодами, які поміщені в магнітному полі, що створюється постійним магнітом 3. Кожен отвір в аноді разом з протилежною ділянкою катода утворює розрядну чарунку насоса. При прикладанні різниці потенціалів між електродами розрядного блоку, котрий знаходиться у вакуумі, в чарунках насоса виникає електричний розряд.

Під впливом потужного магнітного та електричного полів заряджені електрони починають рухатись по спіралі навколо осі розрядної чарунки. Рухаючись електрони іонізують газ. Утворені позитивні іони, які значно важчі за електрони, з великою енергією бомбардують катод, при цьому відбувається катодне розпилення титану із катодних пластин. Атоми, що активно рухаються осаджуються в основному на зовнішній поверхні аноду, тому що його розміщують рядом з катодом. Це вказує на те, що активні гази, які відкачуються насосом потрапивши на плівку титану, поглинаються нею. Титанова плівка під час роботи насоса безперервно відновлюється. Нейтральні молекули і високоенергетичні іони, безперервно проникають на достатню глибину електрода і розчиняються поміж атомів титанових пластин. Гази, що

відкачуються можуть поглинатися і катодами, але ця абсорбція не значна.

Знегаження насоса проводять шляхом його прогріванням до температури 400...500°C.

Конструкція магніторозрядних насосів дуже різноманітна. Промисловість випускає магніторозрядні діодні насоси, котрі не охолоджуються типу НЕМ, швидкодія цих насосів знаходиться в діапазоні від 10 до 7000 л/с. Насоси, що охолоджуються типу НОРД мають швидкодію від 10 до 1000 л/с.

Електророзрядні насоси можуть створювати високий і надвисокий вакуум без загрози забруднення вакуумної камери, крім того рухомих частин і гарячих елементів в таких насосах немає. До позитивних якостей даних насосів слід віднести і те, що з ростом вакууму автоматично зменшується розрядний струм і, потужність, яку споживає насос.

Кріогенні абсорбційні насоси. Відкачка газів кріогенними насосами здійснюється з використанням явища фізичної абсорбції газів. На рис.4 наведена схема цеолітового кріогенного абсорбційного насосу.

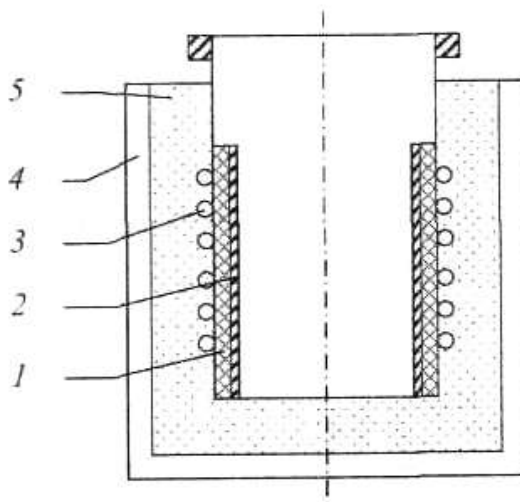


Рисунок 4 – Схема кріогенного насосу

Кріогенний насос складається із металевого або скляного циліндричного стакана, в середині якого розміщено адсорбент 1. Стакан оточує металевий фільтр 2, який наповнений активованим цеолітом. Електричний нагрівач 3 необхідний для регенерації адсорбенту після його насичення газами, що відкачуються з

вакуумної камери. Для охолодження адсорбенту використовують ємність Дьюара 4 з кіоагентом 5.

Адсорбційні насоси працюють таким чином, відкритий патрубок насоса приєднують до камери з якої відбувається відкачка газу. Після цього рідким азотом, воднем чи гелієм насос охолоджують до низької температури. Така операція приводить до того, що адсорбент починає активно поглинати гази із вакуумної камери.

Відомо, що насос після досягнення насичення газами перестає працювати. Насичений газами насос від'єднується від камери відкачки і піддається відновленню (регенерації), тобто із його адсорбенту видаляється водяна пара і гази.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Вивчити методичні вказівки по виконанню лабораторної роботи.
2. Вивчити будову і принцип роботи одного із іонних насосів
3. Вивчити функціональне призначення основних деталей.
4. Привести марки та технічні характеристики насосів.
5. Скласти звіт про виконану роботу

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

1. Викреслити схему насоса високого тиску в робочий зошит
2. Описати функціональне призначення основних деталей заданого на лабораторній роботі насоса високого тиску.
3. Скласти таблицю технічних характеристик насосів заданого класу.

РОЗРАХУНКИ

Роботу виконав

здобувач вищої освіти _____ «__» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «__» _____ 20__ р.

КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

1. Поясніть будову і принцип роботи іонного насоса?
2. Поясніть будову і принцип роботи металевого іонного насоса?
3. Поясніть будову і принцип роботи скляного іонно - сорбційного насосу?
4. Поясніть будову і принцип роботи іонного насосу магніторозрядного іонно - сорбційного насосу?
5. Поясніть будову і принцип роботи кріогенного насоса?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА 9

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ СУБЛІМАЦІЙНОГО СУШІННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ

Мета роботи: розглянути процес зневоднення харчових продуктів в умовах сублімаційного сушіння з визначенням динаміки волого відбору та побудувати криву сушіння.

Перелік спеціального обладнання та устаткування: блок живлення, вакуумний насос РВН-20, вакуумна камера, вакууметр, аналітичні ваги, електронагрівник, термометр, рефрижераторна установка.

ТЕОРЕТИЧНІ ПОСИЛАННЯ

В основу сублімаційного процесу сушіння покладений фазовий перехід води з твердого агрегатного стану до рідкого стану, минаючи рідку фазу. Даний тип сушіння характеризується рядом переваг на перевагу від традиційних способів довготривалого зберігання:

- відсутня потреба використання низького температурного способу зберігання, що обумовлено можливістю висушених продуктів довгий час перебувати плюсовій температурі;
- значний чином зменшується питома вага продуктів, що значним чином зменшує витрати на транспортування та розвантажувально-завантажувальні роботи;
- поліпшується підхід до реалізації та збільшення терміну збуту;
- сталість смакових та корисних властивостей.

Для здійснення сублімаційного сушіння потрібно дотримуватися кількох важливих умов:

- переважна частка вологи в продуктів повинна перебувати в твердій фазі;
- належна різниця парціальних тисків парів водяних парів на поверхні продукту та навколишнього середовища.

Процес сублімації яскраво та інтенсивно може відбуватися при умові досягнення навколишнього тиску величини, що відповідає тиску в потрійній точці. При цій умові закристалізована вода

перетворюється в пар, не переходячи в рідкий стан, та конденсується на низькотемпературній поверхні теплопоглинального апарата.

У ході протіканні процесу сушіння в зону фазового переходу повинна весь час надходити тепла енергія в достатній кількості тотожній теплоті пароутворення. По мірі збільшення глибини зони

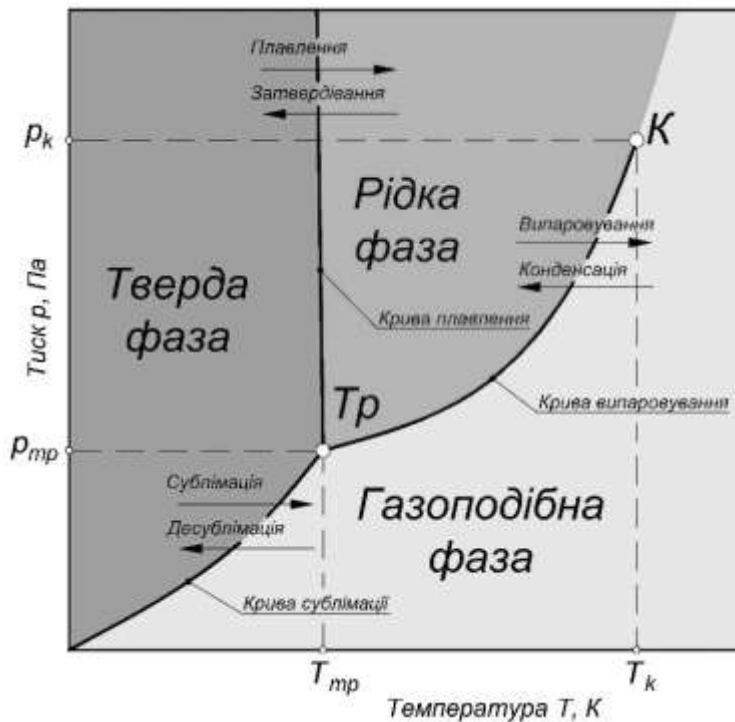


Рисунок 1 – Фазова діаграма води

фазового переходу погіршуються умови теплопідводу. Зневоднена область продукту створює опір для міграції пари з глибини продукту до вільної поверхні та перешкоджає поширенню тепла.

Попередня обробка сировини, що буде піддана сублімаційному сушінню, визначається технологічними та

фізико-механічними властивостями харчових продуктів і передбачає, головним чином, теплову обробку, подрібнення, додавання різних добавок та здійснення певних біохімічних процедур.

Заморожування харчових продуктів як першочерговий крок сушіння суттєво впливає на якісні показники продукту, при цьому швидке заморожування сприяє меншій втраті харчових властивостей продуктів.

Продукти харчування в залежності від особливостей складу та властивостей заморожують в спеціалізованих камерах при нормальних умовах або здійснюють даний процес в субліматорі внаслідок інтенсифікації процесу випаровування вологи при постійно зростаючому рівні вакууму. У свою чергу заморожування у вакууметричному середовищі є неприйнятним для м'яса сирцю та порізаної риби, плодово-ягідних соків, певних видів фруктово-ягідної

продукції, що обумовлено суттєвими змінами фізико-хімічними та механіко-структурними властивостями.

Для пастоподібних продуктів після їхнього заморожування слід здійснити їх подрібнення в низькотемпературному середовищі. Зважаючи на це, доцільно здійснювати їх заморожування в розпиленому стані з наступним висушуванням утворених заморожених гранул в тонкошаровому стані. При заморожуванні продуктів у швидко заморожувальних камерах слід проводити окреслений технологічний процес таким чином, щоб продукт перед сублімацією не переходив в рідкий стан.

При сублімаційному сушінні слід здійснити відбір 75-90 % вологи з центральної частини продукту при мінусовій температурі, що дозволить отримати високоякісний продукт. Залишена частка вологи достатньо міцно зв'язана з продуктом і може бути видалена при нагріві. Граничний рівень температури продукту в момент возгонки та виокремлення залишкової вологи визначається його властивостями та довго тривалістю процесу висушування. Висока якість продуктів може отримуватися в помірному діапазоні від'ємних температур – від мінус 10 до мінус 30 °С. Для більшості харчових продуктів температура сушіння перебуває в межах мінус 10 °С. Для плодово-ягідних соків, для яких характерно наявність великої кількості цукру, температура повинна підтримуватися від мінус 20 до мінус 30 °С. Температурний стан продуктів тваринного походження в період сублімаційного видалення вологи не повинна бути вище мінус 15...20°С. Період сублімаційного сушіння становить 50-60% загального часу сушіння, а кількість вологи, що відбирається – 70...80%.

На етапі видалення залишкової вологи важливими аспектами, що обумовлюють високу якість продукту, є тривалість високотемпературного впливу та верхня температурна границя цього впливу. Для окремо взятого харчового продукту мається температурна межа стійкості до нагрівання. У границях цього температурного діапазону можуть бути вибрані оптимальні співвідношення температурного стану продукту та тривалості

нагрівання, при яких протікання процесу сушіння буде відбуватися з найменшими змінами у властивостях. Спираючись на властивості продукту та тривалості висушування, діапазон зміни температури вкладається в межі від 40 до 80 °С. Тривалість даного етапу становить 40...60%, а кількість видаленої вологи – 20-30% від початкової кількості.

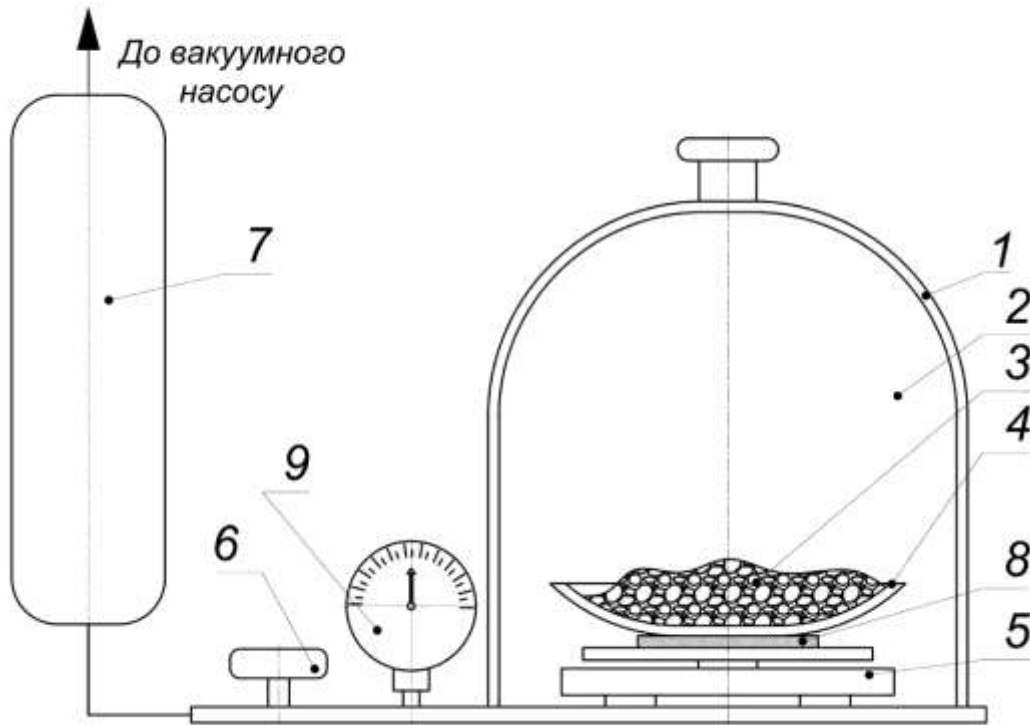
При оцінці харчової цінності харчових продуктів після сублімаційного сушіння за цілим рядом показників, зокрема органолептичними, фізико-хімічними, технологічними, приходять до висновку про незначні зміни у властивостях цих продуктів. На досить високому рівні зберігаються ненасичені жирні кислоти, вітаміни, амінокислоти, мінеральні та цілий ряд не менш важливих та цінних показників харчової цінності продуктів. Також висушені продукти володіють від'ємними смаковими та ароматними властивостями. У свою чергу, висушені продукти характеризуються пористістю та високою абсорбційною здатністю. Збідненні на вологу продукти рослинного та тваринного походження швидко збагачуються киснем з навколишнього середовища, особливо в початковій фазі зберігання. Поглинання кисню призводить до розвитку окислювальних процесів, що призводить до погіршення органолептичних та харчових властивостей продуктів.

Також після сублімаційного висушування продукти інтенсивно поглинають вологу з оточуючого середовища, що стимулює розвиток біохімічних реакцій потемніння та погіршення якості продукту під час зберігання. Даний процес може суттєвим уникнути здійснюючи вакуумування продукту в упаковку. Вакуумування продукту необхідно здійснювати в без кисневому середовищі. Крім того, вакуумування продукту в упаковку значно поліпшує показники об'ємної маси та коефіцієнту використання тари.

Найбільш прийнятною тарою для вакуумної упаковки є полімерні матеріали, які володіють високими захисними властивостями, малою масою та жорсткістю, гарний зовнішній вид та низька вартість.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕННЯ РОБОТИ

1. Дістати з морозильної камери зразок харчового продукту, що був попередньо заморожений до температури нижчої від температури кристалізації води.



1 – ковпак, 2 – вакуумна камера, 3 – харчовий продукт, 4 – лабораторний посуд, 5 – ваги, 6 – кран запірний, 7 – повітряний ресивер, 8 – нагрівальний елемент, 9 – вакууметр.

Рисунок 1 – Лабораторна установка

2. Помістити дослідний зразок продукту у спеціальний лабораторний посуд та розташувати його у вакуумній камері на тепловипромінювальному елементі, розташованого на електронних вагах.

3. Увімкнути вакуумний насос при закритому крані вакуумної камері.

4. Після досягнення мінімально можливого рівня вакууметричного розрідження у повітряному ресивері відкрити кран вакуумної камери.

5. Після вирівнювання рівня розрідження у ресивері та вакуумній камері подати живлення до нагрівального елемента.

6. Після досягнення необхідної температури нагрівального елемента здійснити початок відліку часу.

7.3 початком плину часу зафіксувати кількісну характеристику зміни маси харчового продукту через рівні проміжки часу.

8. Спостерігати за процесом сублімаційного сушіння.

9. Після завершення повноцінного висушування, на що буде вказувати незмінність маси продукту впродовж значного періоду часу, зупинити відлік часу.

10. Результати проведеного дослідження відобразити в таблиці.

ПРОТОКОЛ ЛАБОРАТОРНОЇ РОБОТИ

За результатами експерименту занести дослідні дані до таблиці та провести потрібні масові розрахунки.

Кількість виділеної вологи:

$$m_{\text{вологи}} = m_{\text{продукт}}^{\text{початкова}} - m_{\text{продукт}}^i, \quad (1)$$

де $m_{\text{продукт}}^{\text{початкова}}$ – початкова маса продукту, г;

$m_{\text{продукт}}^i$ – поточна маса продукту в i -ий період часу, г.

Відобразити залежності $m_{\text{продукт}} = f(\tau)$ та $m_{\text{вологи}} = f(\tau)$ у графічній формі.

Таблиця 1 – Результати досліджень $p_{\text{вак}} = \underline{\hspace{2cm}}$ кПа

№	Част, хв	Маса продукту $m_{\text{продукт}}, \text{Г}$	Кількість виділеної вологи $m_{\text{вологи}}, \text{Г}$
1	2	3	4
1	0		0
2	3		
3	6		
4	9		
5	12		
6	15		
7	18		
8	21		
9	24		
10	27		
11	30		

Роботу виконав

здобувач вищої освіти _____ «___» _____ 20__ р.

Роботу прийняв викладач _____ «___» _____ 20__ р.

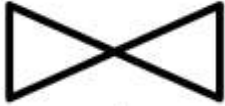
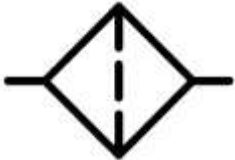
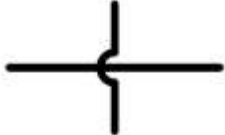
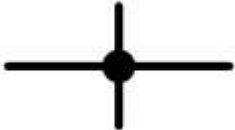
КОНТРОЛЬНІ ПИТАННЯ

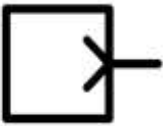
1. Що називається сублімацією?
2. В чому переваги та недоліки процесу сублімаційного сушіння?
3. В чому полягає фізичний процес возгонки?
4. При якій умові відбувається процес фазового переходу з твердого до газоподібного?
5. Що характеризує крива сублімації?
6. Як за фазовою діаграмою визначити термодинамічні умови протікання процесу сублімації?

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Пипко А.И и др. Конструирование и расчет вакуумных систем. - М.: Энергия. – 1988. – 504с.
2. Ворончев Т.А. Физические основы электровакуумной техники. /Т.А Ворончев, Д.В. Сорболев. – М.: Высшая школа. 1967. - 352с.
3. Шепілко Е. В Вакуумна техніка. Конспект лекцій. / Е.В. Шепілко. – Харків: ХНАМГ, 2005. – 122с.
4. Юрьева А.В. Расчет вакуумных систем: учебное пособие / А.В. Юрьева; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2012. –44с.
5. Розанов Л.Н. Вакуумная техника. / - М.: Высшая школа., 1990. – 320 с.

УМОВНІ ПОЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ПНЕВМАТИЧНИХ СИСТЕМ

№	Умове позначення	Найменування
1	2	3
1		Вентиль прохідний (клапан)
2		Вентиль регулюючий
3		Клапан запобіжний
4		Засувка
5		Ресивер
6		Фільтр для відокремлення твердих часток
7		Трубопровід
8		Перетин трубопроводів без з'єднання
9		Перетин трубопроводів зі з'єднанням
10		Лінія заглушена пробкою

1	2	3
11		Манометр (вакууметр)
12		Клапан зворотній
13		Насос струменевий
14		Насос вакуумний
15		Місце приєднання до джерела стиснутого повітря
16		Компресор
17		Електромотор з муфтою
18		Термометр
19		З'єднання швидко розбірне
20		Клапан запобіжний підпружений
21		Забір повітря з атмосфери

ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ІОНІЗАЦІЙНИХ ВАКУУМНИХ НАСОСІВ

Таблиця А – Технічні характеристики іонних насосів з
титановими випарниками

Параметри	Значення параметрів для іонних насосів		
	ГИН – 05М1	ГИН - 2	ГИН - 5
Швидкість відкачки повітря від $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-8}$, мм. рт. ст. в л/с	450	1800	4500
Строк служби випалювача при тиску $3 \cdot 10^{-7}$ мм. рт. ст	1500	3000	3000
Ефективний запас титану в насосі, грам	6	50	100
Габаритні розміри насоса, мм: в плані; висота	364×280 464	510×420 882	770×680 1100
Маса, кг	36	100	216
Споживана потужність, кВт	0,85	3,5	3,5
Витрата охолоджуючої води, л/год.	300	600	600
Тип блоку живлення	БПГИН – 05М	ПУГИН - 2/5	ПУГИН – 2/5
Габаритні розміри блоку живлення, мм: висота; розміри в плані	373 460×550	1050 580×700	1050 580×700
Маса блоку живлення, кг	70	160	160

Таблиця Б - Технічні характеристики магніторозрядних насосів

Параметри	Значення параметрів для насосів марок		
	НЭМ – 30 - 2	НЭМ – 100 - 2	НЭМ – 300 -1
Швидкість відкачки повітря при тиску , $3 \cdot 10^{-6}$ мм. рт. ст. в л/с	30	100	300
Габаритні розміри в мм: висота; довжина × ширина	373 Діаметр 200	415 373 × 193	575 442 × 379
Маса, кг	16,2	42	145
Струм короткого замикання випрямляча, А	0,1	0,1	0,35
Максимальна потужність яку споживає блок живлення, в Вт	300	300	1000
Тип блоку живлення	БПНЭМ 30-1 (варіант 1)	БПНЭМ 30-1 (варіант 2)	БПНЭМ30-1
Габаритні розміри блоку живлення, мм: висота; довжина × ширина	230 250×470	230 250×470	350 350×550
Маса блоку живлення, кг	18	18	40

ПИТАННЯ ДЛЯ ПЕРЕВІРКИ ЗНАНЬ З ВАКУУМНОЇ ТЕХНІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ

1. Основні поняття та визначення вакуумної техніки. Тиск і температура?
2. Основні закони ідеальних газів. Фізична суть їх?
3. Молекулярно – кінетична теорія газів. Основне рівняння молекулярно- кінетичної теорії газів?
4. Сформулюйте і запишіть об'єднаний газовий закон?
5. Сформулюйте і запишіть закони Авогадро і Дальтона. Що таке парціальний тиск?
6. Виведення барометричного рівняння Больцмана. Що воно відображає. Які критерії впливають на рівняння Больцмана?
7. Як можна визначити число молекул, що вдаряються в стінку?
8. Що таке ефузія. Запишіть і поясніть закон Грехема?
9. Що розуміють під теплопровідністю газів. Запишіть і поясніть закон Фур'є?
10. Поясніть суть досліду Катрона?
11. Що таке дифузія газів. Запишіть і поясніть основний закон дифузії (закон Фіка)?
12. Що таке в'язкість газів. Яке співвідношення існує між коефіцієнтом в'язкості та теплопровідністю в газі?
13. Головні параметри вакуумних насосів?
14. Як розраховується швидкодія вакуумного насоса?
15. Як відбувається течія газу через трубопровід змінного діаметра. Запишіть рівняння Бернуллі, та поясніть його фізичну суть?
16. Як класифікуються вакуумні насоси?
17. Порядок запуску і зупинки обертових насосів?
18. Як експериментально визначається швидкодія вакуумного насоса?
19. Виведіть рівняння Геде, яке необхідне для визначення швидкодії насоса?
20. Основні елементи вакуумних систем. Що таке основна і додаткова лінії відкачки?

22. Потік газу. Виведіть головне рівняння вакуумної техніки. Які наслідки впливають із головного рівняння вакуумної техніки?
23. Поясніть будову і принцип роботи пластинчасто-статорного насоса?
24. Поясніть будову і принцип роботи кріогенних насосів. Переваги і недоліки цих насосів?
25. Поясніть будову і принцип роботи водоструменевих насосів. Переваги і недоліки таких насосів?
26. Поясніть будову і принцип роботи іонного вакуумного насоса?
27. Що таке ежектор. Поясніть будову, принцип роботи і призначення ежекторного насоса?
28. Як працює поршневий вакуумний насос?
29. Як працює крапельний ртутний насос Шпренгеля?
30. Як працює ртутний насос Геде?
31. Поясніть будову і принцип роботи пластинчасто-роторного насоса?
32. Поясніть будову і принцип роботи пароструменевого насоса Геде.
Позитивні і негативні якості такого насосу?
33. Поясніть будову і принцип роботи золотникового насоса?
34. Поясніть принцип роботи двороторного насоса Рутса?
36. Поясніть будову і принцип роботи металевого парортутного насоса. Позитивні і негативні якості цього насосу?
37. Поясніть яке призначення має вакуумне масло в обертових насосах і яким вимогам воно повинно відповідати?
38. Поясніть принцип роботи молекулярного обертового насоса?
39. Поясніть принцип роботи молекулярного насоса Гольвека?
40. Поясніть принцип роботи багатопластинчастого насоса?
41. Поясніть будову і принцип роботи турбомолекулярних насосів
42. Поясніть будову і принцип роботи насоса Зігбана?
43. Поясніть принцип роботи дифузійно-конденсаційного насоса Ленгмюра?