

Методи ОДЕРЖАННЯ та ВИМІРЮВАННЯ ВАКУУМУ

I. Вакуумні насоси

Залежно від розрідження, яке необхідно отримати в системі, методи одержання вакууму поділяють на такі чотири стадії:

1. одержання форвакууму (розрідження до 10^{-2} мм.р.с.);
2. створення в системі середнього вакууму (розрідження $10^{-2} - 10^{-4}$ мм.р.с.);
3. створення в системі високого вакууму (розрідження $10^{-4} - 10^{-6}$ мм.р.с.);
4. створення в системі надвисокого вакууму (розрідження $10^{-6} - 10^{-8}$ мм.р.с.).

(1 мм.р.с. = 1 торр = $101325 / 760 = 133.322$ Па)

Для одержання вакууму до 10^{-2} мм.р.с. використовують форвакуумні насоси. Принцип дії найпростішого форвакуумного насосу такий: у металічному відшліфованому циліндрі, який має два отвори, на валу ексцентрично обертається стальний ротор, в якому зроблений виріз паралельно осі. В цьому вирізі є дві пластинки-лопаті А і В, що розсуваються пружиною, яка міститься між ними. Лопаті щільно притискуються пружиною до циліндра, в якому обертається ротор (рис. 1а).

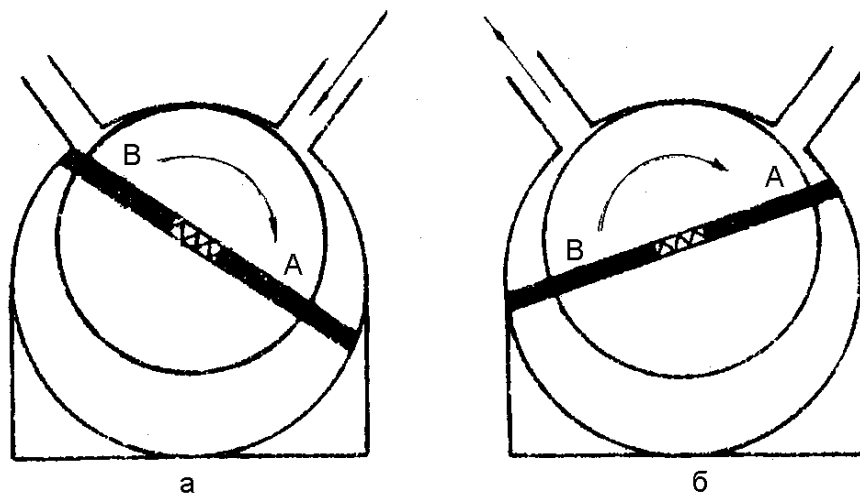


Рис.1 Схема форвакуумного насосу

При обертанні сталюого ротора об'єм між лопаттю А і вхідним клапаном у металічному циліндрі збільшується, і газ всмоктується (рис.1а). Згодом пластинка В відкриває клапан для виходу газу і газ виштовхується лопаттю А із циліндра (рис.1б).

У сучасних форвакуумних насосах у металічному циліндрі ротор у вигляді ексцентрика обертається навколо осі, що проходить через центр циліндра. В цьому випадку ротор дотикається до циліндра тільки в одному

місці, виконуючи при обертанні функції лопатей. Є двороторні форвакуумні насоси.

Для більшої щільності та зменшення тертя між циліндром і лопаттями (ротором) вільний простір заповнюють форвакуумним маслом, рівень якого контролюється за допомогою скляного віконця з рисочкою. Форвакуумні насоси створюють вакуум не більше 10^{-2} мм.р.с.

Щоб дістати вакуум $10^{-3} - 10^{-6}$ мм.р.с., використовують дифузійні вакуумні насоси.

Схема і принцип роботи найбільш поширеного паромасляного дифузійного насоса показана на рис.2. На дні металевого циліндра є рідина, що випаровується під дією електричного нагрівача 3.

Верхня частина насоса вакуумно щільно з'єднується з об'ємом, в якому необхідно створити розрідження, а нижній патрубок сполучається з форвакуумним насосом. Він створює попередній вакуум. Коли розрідження у системі досягає 10^{-2} мм.р.с., вмикають нагрівник паромасляного дифузійного насоса, але не раніше, бо масло в дифузійному насосі може окислитися. При кипінні пари масла піднімаються по трубці 1 і з великою швидкістю виходять через сопла 2, захоплюючи гази, що дифундують із системи внаслідок низького тиску, який утворюється в насосі при конденсації парів масла на холодних стінках металевого циліндру. Молекули газу разом з крапельками масла потрапляють у нижню частину паромасляного і відкачується форвакуумним насосом. Щоб стінки металевого циліндра не нагрівалися, вони охолоджуються проточною водою.

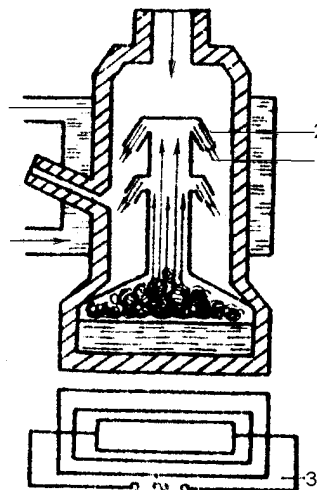


Рис.2 Схема паромасляного дифузійного насоса

Паромасляні насоси прості та надійні в експлуатації. Їх основний недолік – порівняно високий тиск парів масла, що не дає змоги одержати надвисокий вакуум (10^{-6} мм.р.с.) без додаткових пасток. При роботі паромасляного насоса частина парів масла (особливо легко летючі його фракції) потрапляють у вакуумну систему і забруднюють її.

Для зменшення забруднення маслом і збільшення розрідження в системі до 10^{-7} мм.р.с біля верхньої частини паромасляного дифузійного насоса

ставлять спеціальні відбивачі та пастки, які охолоджують рідким азотом. Можна також застосовувати іонні пастки. Коли пари масла дуже шкідливо впливають на структуру та фізичні властивості плівки, то використовують ртутні дифузійні вакуумні насоси.

Для відкачки газів і парів, які не конденсуються на охолоджених до температури рідкого азоту пастках, застосовують сорбційні насоси. За сорбенти можна брати активоване вугілля, активований окис алюмінію тощо.

У замкнених системах після досягнення вакууму 10^{-6} мм.р.с., для створення ще більшого розрідження, використовують термічне розпилення активних металів (барій, титан), які при випаровуванні та конденсації поглинають велику кількість активних інертних газів+, створюючи в системі надвисокий вакуум до 10^{-8} мм.р.с..

На цьому принципі також працюють іонно-сорбційні насоси, в яких активний метал випаровується протягом необхідного часу. Є два типи таких насосів: іонно-сорбційні з термічним випаровуванням активного металу та іонно-сорбційні з катодним розпиленням поглинача. Недолік іонно-сорбційних насосів – велика селективність по швидкості відкачки для різного сорту газів.

II. Вимірювання тиску

Діапазон тисків, які використовуються в сучасній вакуумній техніці 10^3 - 10^{-14} мм.р.с. Вимірювання тисків у такому широкому діапазоні, очевидно, не може бути забезпечено одним приладом. На практиці, для вимірювання тисків розріджених газів, застосовуються різні типи перетворювачів, які відрізняються за принципом дії та класом точності.

Прилади для вимірювання тисків у вакуумній техніці називаються вакуумметрами. Вони складаються з двох частин – манометричного перетворювача та вимірювальної системи. За методами вимірювання вакуумметри можна розділити на абсолютні та відносні. Покази абсолютних вакуумметрів не залежать від роду газу й можуть бути заздалегідь розраховані. На відміну від абсолютних, у відносних вакуумметрах використають залежність параметрів деяких фізичних процесів, які протікають у вакуумі, від тиску. В цьому випадку є необхідність градуювання за еталонними приладами. Вакуумметри вимірюють загальний тиск газів, які є присутні у вакуумній системі. В табл.1 показано діапазони робочих тисків різних типів вакуумметрів.

Таблиця 1 (Типи вакуумметрів та їх робочі діапазони)

Тип вакуумметра	Діапазон (мм.р.с.)
Механічні (деформаційні)	10^3 - 10^{-4}
Гідростатичні (рідинні)	10^3 - 10^{-3}
Теплові	10^3 - 10^{-3}
Іонізаційні (електронні, іонні)	10^{-1} - 10^{-10}
Магнітні	10^0 - 10^{-13}
Радіоізотопні	10^3 - 10^{-3}

2.1. Механічні перетворювачі (датчики або манометри)

Одним з видів механічних перетворювачів є трубка Бурдона (рис.3) – манометр у вигляді спіральної трубки 2, яка скручується під дією атмосферного тиску у випадку відкачування внутрішньої порожнини за рахунок різних радіусів кривизни, а отже, і площ зовнішньої й внутрішньої поверхонь трубки. Даний манометр вимірює тиск у межах 10^3 - 10^1 мм.р.с. Точність вимірювань становить 5% і обмежується повільним поверненням трубки в початкове положення після пружної деформації.

Мембранні перетворювачі розрізняються залежно від способу реєстрації переміщення мембрани та методу вимірювання. У барометрах використовується схема, показана на рис.4. У середині герметичної області, утвореної мембранами 1, створюється порівняльний тиск P_p . Якщо вимірюваний тиск P не дорівнює P_p , то відбувається деформація мембрани й переміщення стрілки, буде пропорційним різниці тисків.

Діапазон вимірювань мембранних перетворювачів 10^3 - 10^{-3} мм.р.с. Однак внаслідок того, що лінійність показів зберігається лише при невеликих деформаціях мембрани, один і той же прилад може вимірювати тиски, які змінюються межах 2-3 порядків.

Нижня межа вимірювань обмежується температурними деформаціями, мінімальною твердістю та міцністю мембрани. Перетворювачі з електростатичною компенсацією мають більше стабільні характеристики, тому що мембрана в них практично не деформується.

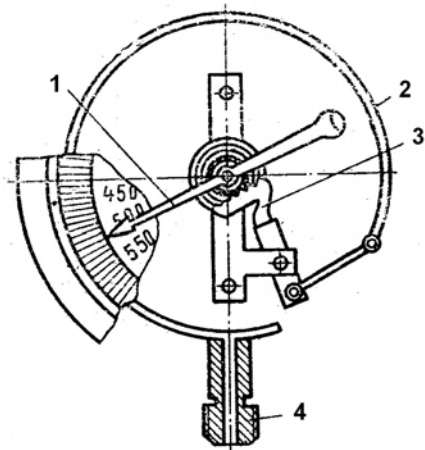


Рис.3 Трубка Бурдона

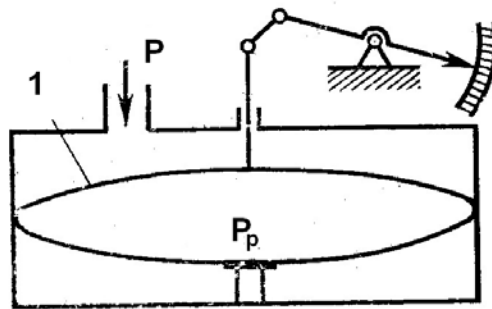


Рис.4 Барометр

2.2. Гідростатичні (рідинні) перетворювачі (манометри)

Найпростішими гідростатичними перетворювачами є рідинні манометри з відкритим або закритим коліном. Вимірювана цими манометрами різниця тисків P і P_p урівноважується масою стовпа рідини висотою h :

$$|P_p - P| = \rho gh \quad (1)$$

де g – прискорення вільного падіння; ρ – густина рідини.

Манометри з відкритим коліном (рис.5.а) зручніші для вимірювання тисків, близьких до атмосферного. У цьому випадку $P_p = P_{\text{атм}}$ і висота стовпа h є мінімальною. Але показання такого манометра залежать від поточного атмосферного тиску.

У закритому коліні манометра (рис.5.б) перед його заповненням отримують тиск $P_p \sim 0$. Це дозволяє безпосередньо вимірювати абсолютний тиск газу у вакуумній системі. У цьому випадку покази приладу не залежать від атмосферного тиску.

У якості робочої рідини в розглянутих манометрах застосовують ртуть або масло. Масляні манометри мають більшу чутливість, так як густина масла приблизно в 15 разів менша за густину ртуті. Однак масло добре розчиняє гази, і тому перед початком роботи необхідно його ретельно знегажувати.

Межі виміру ртутних манометрів $10^3 - 10^1$ мм.р.с., а масляних $10^3 - 10^2$ мм.р.с. Точність при відліку рівня може бути доведена до 0,1 мм. Але більше точне вимірювання рівня не має змісту, внаслідок мінливості величини поверхневого натягу, коливань щільності, температурних градієнтів робочої рідини. Чутливість манометрів до перепаду тисків в основному обмежується в'язкістю самої рідини.

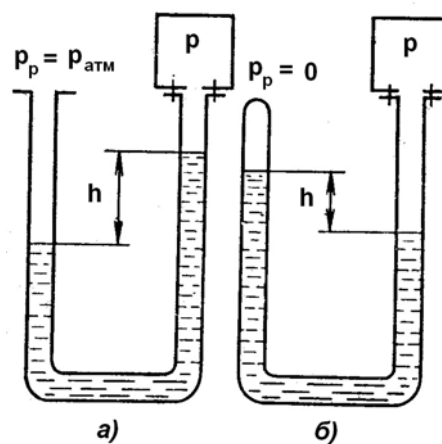


Рис.5. Рідинні манометри
а) з відкритим коліном, б) з закритим коліном

Також існують гідростатичні манометри попереднім стисканням газу. Це компресійні манометри. Такі манометри відносяться до абсолютних приладів і використовуються для градування інших манометрів. Діапазон їх вимірювання становить $10^{-1} - 10^{-5}$ мм.р.с.

2.3. Теплові перетворювачі (манометри).

В основу дії теплових перетворювачів закладено залежність теплопередачі через розріджений газ від тиску. Передача тепла здійснюється від тонкої металевої нитки до балона, який перебуває при кімнатній температурі. Металева нитка нагрівається у вакуумі шляхом пропускання через неї електричного струму.

Рівняння теплового балансу такого приладу можна представити у вигляді:

$$I^2 R = E_1 + E_2 + E_3 + E_4 \quad (2)$$

де E_1, E_2, E_3, E_4 – втрати тепла за рахунок конвекції, теплопровідності газу, випромінювання нитки і теплопровідності матеріалу нитки, відповідно, I – сила струму, R – опір нитки.

Вираз для розрахунку тиску матиме наступний вигляд:

$$P = \frac{I^2 R - (E_3 + E_4)}{K_T (T_{\text{нит}} - T_{\text{бал}})} \quad (3)$$

де K_T – коефіцієнт теплопровідності газу, $T_{\text{нит}}$ – температура нитки, $T_{\text{бал}}$ – температура балону.

Для точного вимірювання тиску необхідно, щоб втрати тепла за рахунок теплопровідності газу (E_2) були набагато більші ніж сума $E_3 + E_4$, тому умова $I^2 R - (E_3 + E_4) \geq 0.01 \times I^2 R$ визначає нижню межу вимірювання для такого манометра.

З рівняння 3 також видно, що тиск є функцією двох змінних: струму розжарювання нитки і температури нитки, тому існують 2 методи роботи теплових манометрів: метод постійної температури нитки і метод постійного струму розжарення. Але в обох випадках, для використання даних методів, необхідно мати градуювальні криві теплового манометра. Як правило, такі манометри градуюються для сухого повітря.

Теплові перетворювачі в залежності від методу вимірювання температури діляться на термопарні і перетворювачі опору. У термопарному перетворювачі температура нитки вимірюється за допомогою термопари. У перетворювачі опору для вимірювання температури використовується залежність опору нитки від температури. Обидва перетворювачі можуть працювати як у режимі постійного струму розжарення, так і в режимі з постійною температурою нитки.

Перевагою теплових перетворювачів є те, що вони вимірюють загальний тиск всіх газів і парів, які є присутні у вакуумній системі, і забезпечують безперервність вимірювання тиску. Діапазон робочих тисків становить 10^{-3} - 10^{-5} мм.р.с.

2.4. Іонізаційні (електронні, іонні) перетворювачі (манометри, вакуумметри).

В основу принципу дії іонізаційного перетворювача закладено прямо пропорційну залежність між тиском та іонним струмом, який утворюється в результаті іонізації термоелектронами залишкових газів.

Існують дві схеми іонного перетворювача: із внутрішнім і зовнішнім колектором.

Схема із внутрішнім колектором (рис.6.а) аналогічна звичайному тріоду. Колектором іонів є сітка, на яку подається, відносно катода, негативна напруга в кілька десятків вольт, а на анод – позитивна напруга 100-200В. Електрони на своєму шляху від катода до анода (струм I_e) стикаються з молекулами залишкових газів, і позитивні іони, які утворюються внаслідок цього,

попадають на сітку, створюючи іонний струм (I_i), який вимірюється гальванометром.

У схемі із зовнішнім колектором (рис.6.б) потенціали сітки та анода міняються місцями, і колектором стає анод. Електрони, які летять від катода до сітки, роблять навколо її витків ряд коливань, що збільшує довжину траєкторії електронів і підвищує ймовірність іонізації молекул залишкових газів. Це робить схему із зовнішнім колектором більше чутливою, незважаючи на те, що частина позитивних іонів, які утворилися між сіткою й катодом, не бере участь у вимірюванні тиску.

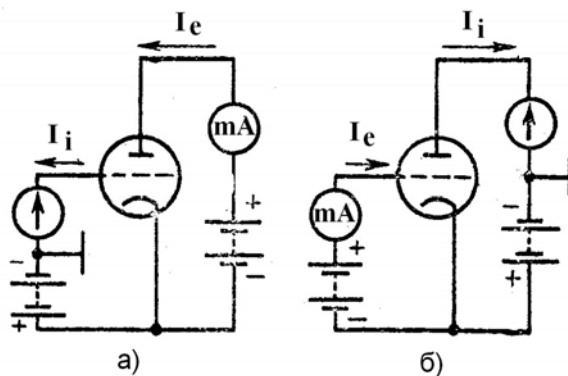


Рис.6. Схема електронного перетворювача
а) з внутрішнім колектором, б) з зовнішнім колектором

Вираз $I_i = KI_e p$ називають рівнянням іонізаційного перетворювача. Очевидно, що для того, щоб іонний струм був пропорційний тиску, необхідно під час вимірювання тиску підтримувати постійну величину електронного струму. Тоді величина $a = KI_e$ називатиметься сталою іонного манометра і буде визначатися тангенсом кута нахилу градуовальної кривої до осі тисків. Верхня межа вимірювання типового іонізаційного перетворювача становить 10^{-2} мм.р.с і обмежується порушенням лінійності градуовальної характеристики, коли середня довжина вільного пробігу електрона в об'ємі приладу стає меншою за шлях електрона між електродами. Для розширення верхньої межі можна зменшити відстань між електродами, але це приводить до сильного нагрівання катода. Тому такі катоди виготовляють з оксидів рідкоземельних металів.

Нижня межа вимірювання визначається фоновими струмами в ланцюзі колектора. Фонові струми виникають в результаті м'якого рентгенівського випромінювання анодної сітки, або, як наслідок, автоелектронної емісії колектора і ультрафіолетового випромінювання розжареного катода, що супроводжуються виходом з колектора фотоелектронів. Рентгенівське випромінювання анодної сітки є результатом її бомбардування електронами. Фонові струми мають однаковий напрямок з іонним струмом і тому впливають на вимірювальні прилади. Максимальним фоновим струмом є струм рентгенівського випромінювання, що виявляється пропорційним емісійного току.

2.5. Магнітні перетворювачі.

В основу принципу дії магнітного перетворювача покладено залежність струму самостійного газового розряду в схрещених магнітному й електричному полях від тиску.

Електродні системи, які забезпечують підтримку самостійного газового розряду при високому й надвисокому вакуумі, бувають декількох видів. Комірка Пеннінга (рис.7.а) складається з двох дискових катодів (1) і циліндричного анода (2). В магнетронному перетворювачі (рис.7.б) катоди з'єднані між собою центральним стрижнем. В інверсно-магнетронному перетворювачі (рис.7.в) центральний стрижень виконує роль анода, а зовнішній циліндр стає катодом.

Всі електроди перебувають у постійному магнітному полі. На анод подається позитивна, відносно катода, напруга 2-6 кВ, катод заземлений і з'єднується із входом підсилювача постійного струму.

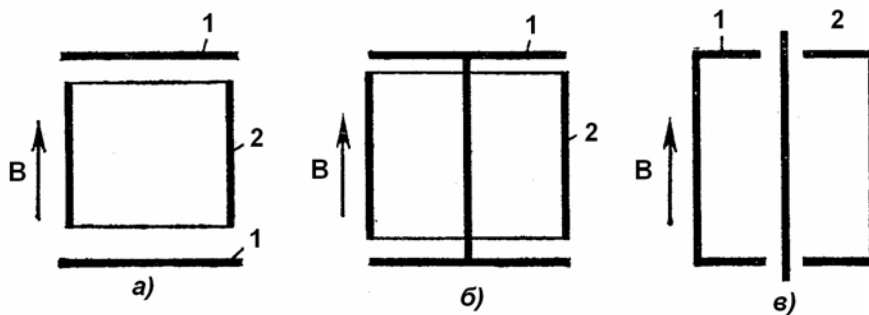


Рис.7. Електродні системи магнітних перетворювачів
а) комірка Пеннінга, б) магнетронна комірка, в) інверсійно-магнетронна комірка

Загальний розрядний струм магнітного перетворювача становить $I = I_1 + I_2 + I_3$ де I_1 – струм автоелектронної емісії, I_2 – іонний струм, I_3 – струм вторинної електронної емісії. Струм автоелектронної емісії не залежить від тиску і тому його можна вважати фоновим струмом. Тому запишемо залежність двох інших струмів від тиску у формі:

$$I_2 + I_3 = aP^n \quad (4)$$

де $a=10^{-2}-10^{-1}$ А/Па і $n=1.0-1.4$. Враховуючи це і знехтувавши фоновим струмом отримуємо вимірювальне рівняння магнітного перетворювача:

$$I = Kp \quad (5)$$

де $K = ap^{n-1}$ – чутливість приладу Звідси видно, що розрядний струм магнітного перетворювача нелінійно залежить від тиску.

Верхня межа вимірювань пов'язана з обмеженням максимального розрядного струму баластовим опором, який захищає вимірювальний прилад від виникнення дугового розряду..

Нижня межа вимірювання визначається часом запалювання розряду та величиною фонового струму. Для зменшення фонового струму застосовуються

спеціальні екрани, розташовані в проміжку між катодом та анодом, де напруженість електричного поля максимальна. Більша частина фонового струму в цьому випадку переходить на корпус, минаючи мікроамперметр.

Магнітні перетворювачі, так само як й електронні, мають неоднакову чутливість до різних газів. А перевагами магнітних перетворювачів над електронними є більше висока надійність у роботі, у зв'язку із заміною розжареного катода холодним, а основні їх недоліки пов'язані з коливаннями роботи виходу електронів при забрудненні катодів.

2.6. Радіоізотопні перетворювачі.

У радіоізотопних перетворювачах для іонізації газу використовується α або β -випромінювання радіоактивних ізотопів: ^{226}Ra , ^{239}Pu , ^{238}Pu або тритію. Особливо ефективним є використання α -випромінювання. Енергія α -частинок (двічі іонізованих позитивних іонів гелію), які виникають при радіоактивному розпаді, становить $(4.5-5.5)\times 10^6$ Ев. У зв'язку з цим у радіоізотопних перетворювачах не потрібно розжареного катода, як в іонних перетворювачах, так і високої напруги, обов'язкової в магнітних перетворювачах.

Стабільність роботи приладу забезпечується незалежністю радіоактивного розпаду від температури навколишнього середовища й фізико-хімічного впливу газів, які перебувають у перетворювачі. Завдяки цим властивостям і практично необмеженому терміну служби, радіоізотопний перетворювач є одним із кращих приладів для вимірювання вакууму.

При взаємодії з молекулами газів α -частинки викликають їхню іонізацію, причому кількість утворених позитивних іонів пропорційно тиску. Вимірювальне рівняння радіоізотопного перетворювача має вигляд:

$$I = Kp \quad (6)$$

де K – чутливість перетворювача ($K=10^{-10}-10^{-11}$ А/Па). Такі перетворювачі градууються переважно за повітрям або азотом.

Нижня межа робочих тисків визначається фоновим струмом, який виникає при бомбардуванні колектора α -частинками. Цей фоновий струм має дві складові, перша з яких пов'язана з позитивним зарядом самих α -частинок, а друга – з виникненням струму вторинної електронної емісії з колектора. Для розширення діапазону робочих тисків у деяких конструкціях перетворювачів колектор захищається екранами або розташовується поза зоною видимості джерела α -частинок. Інша методика полягає у збільшенні габаритів перетворювача, внаслідок цього підвищується чутливість, без зміни величини фонового струму.

Верхня межа вимірюваних тисків зумовлена незалежністю від тиску газу іонного струму на колектор після того, як довжина шляху α -частинки до повної втрати енергії, стане меншою розмірів перетворювача.

III. Конструкція та особливості використання вакуумметра іонізаційного-термопарного ВІТ-2.

В комбінованих іонізаційно-термопарних вакуумметрах ВІТ-2 використовуються в іонізаційному блоці – датчики типу ПМІ-2, в термопарному блоці – датчики типу ПМТ-2 і ПМТ-4М (ПМТ – перетворювач манометричний термопарний; ПМІ – перетворювач манометричний іонізаційний).

3.1. Особливості роботи термопарного блоку.

Перед початком роботи, характеристика кожного термопарного датчика повинна бути зіставлена з типовою градуовальною кривою (рис.9). Ця операція для датчиків ПМТ-2 і ПМТ-4М дещо відрізняється. Для металевих ламп типу ПМТ-4М заводом-виробником заздалегідь визначений струм розжарювання, величина якого позначена на корпусі датчика. Датчики ПМТ-2 випускають у скляному корпусі, причому з заводу вони постачаються у запаяному вигляді з тиском усередині датчика порядку 10^{-4} мм.р.с., що відповідає 10 мВ за шкалою для ЕРС. Для ПМТ-2 слід визначити струм розжарювання до розгерметизації лампи, щоб покази вимірювального приладу відповідали межі шкали 10 мВ. Тільки після цього лампу можна приєднати до відкачуваного робочого об'єму. На рис.10 показано схему вмикання термопарного датчика-перетворювача ПМТ-2.

У процесі експлуатації досить часто спостерігається «замаслювання» датчика-перетворювача, наприклад, за відсутності у вакуумній системі захисних уловлювачів. Це приводить до зміни теплового балансу і показань приладу вакуумметра. Тому при тривалій експлуатації таких датчиків необхідно періодично перевіряти сумісність градуовальної кривої і шкали приладу і корегувати струм нагрівача в умовах, коли тиск у датчику нижчий за 10^{-3} мм.р.с.

Для відновлення характеристик «замаслених» перетворювачів їх послідовно промивають бензином і ацетоном або спиртом. Перетворювач необхідно промити відразу після того, як виявлено його «замаслення». Вмикання «замасленого» перетворювача при низькому тиску порядку 10^{-3} мм.р.с. може призвести до необоротних змін характеристик перетворювача.

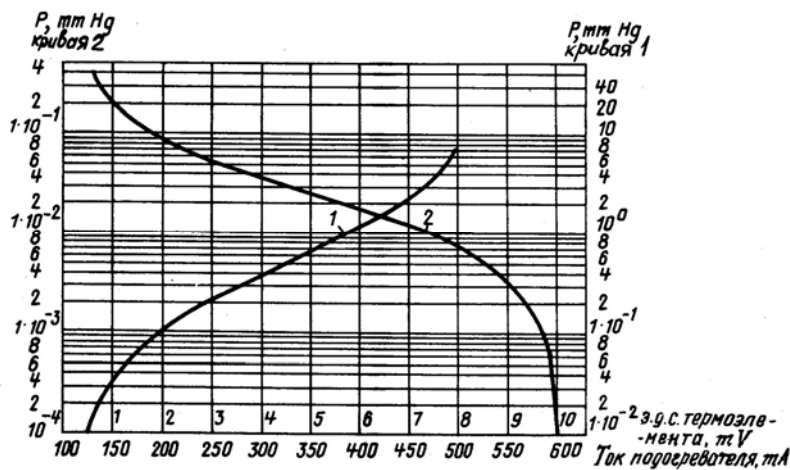


Рис.9. Градувальні криві для ПМТ-2

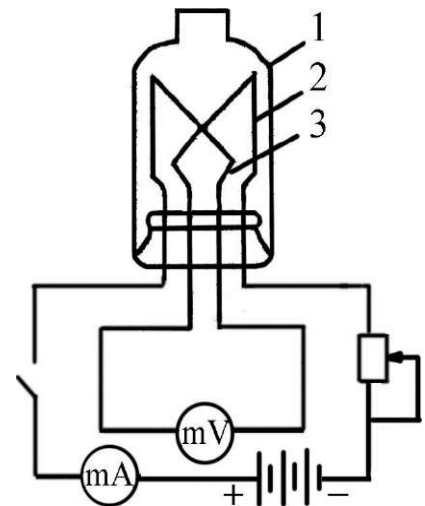


Рис.10. Схема вмикання ПМТ-2: (1 – скляна колба, 2 – нагрівач, 3 – термопара)

Значну похибку у показах вимірювань тиску за допомогою термопарних датчиків вносить зміна температури балона лампи. При її збільшенні температура нитки також зростає і показання приладу виявляються заниженими. Охолодження балону лампи, навпаки, приводить до завищених показань вакуумметра. Тому термопарні датчики необхідно розташовувати подалі від місць з нагрітими і охолодженими деталями вакуумної системи (нагрівачі вакуумних насосів, охолоджувані уловлювачі і т.п.).

Термопарні датчики не бояться «натікання» атмосферного повітря і мають практично необмежений термін служби. За наявності в газовому середовищі підвищеної концентрації парів масел і води між датчиком і системою необхідно встановити уловлювач, оскільки зміна складу газу вносить значну похибку при вимірюванні тиску. Пари води і органічних розчинників (бензин, спирт і особливо ацетон) різко змінюють тепловий баланс нитки і приводять до завищення показань приладу.

Підігрівач перетворювача ПМТ-2 виконаний з платини, а перетворювача ПМТ-4М – з нікелю. Термопара в перетворювачі ПМТ-2 хромель-копелева, а в перетворювачі ПМТ-4М – хромель-алюмелева. Робоче положення датчиків – вертикально, цоколем вгору

3.2. Особливості роботи іонізаційного блоку.

Даний блок вмикають лише тоді коли, в системі досягнуто вакууму не менше 10^{-3} мм.р.с. Спочатку вакуумметр вмикають в режимі знегажування сітки. Після прогрівання сітки протягом 5-10 хв встановлюють робоче положення перемикачів і струм емісії катода плавно збільшують до 50 мА. До початку вимірювань тиску перевіряють встановлення «нуля» вимірювального підсилювача і його калібрування. Після цього прилад можна вважати підготовленим до роботи.

Слід мати на увазі, що при відкачуванні вакуумної камери масляними насосами електронні іонізаційні датчики забруднюються парами масла, що приводить до значних похибок у вимірюванні тиску. Тому після вимірювання тиску датчик знову слід поставити в режим «прогрівання-знегажування».

На рис.11 показано схему вмикання іонізаційного перетворювача ПМІ-2, а на рис.12 – конструкції електронних іонізаційних датчиків із зовнішнім та внутрішнім колекторами.

При експлуатації іонізаційних датчиків слід пам'ятати про залежність іонного струму в умовах постійного емісійного струму від роду відкачуваного газу. Тому вводиться поправка на різну чутливість перетворювача до різних газів і вживається ряд заходів для запобігання прямого потрапляння парів ущільнювального матеріалу (наприклад гуми) в колбу датчика.

При потраплянні водяної пари в об'єм електронного іонізаційного датчика відбувається швидке розпилення катода – вольфрамової нитки розжарювання. Перетворювачі ПМІ-2 мають вольфрамовий катод у вигляді тонкої нитки і порівняно крихку, легко провисаючу сітку, тому їх слід розташовувати у вакуумній системі вертикально (цоколем вгору або вниз). Перегорання катода є основним видом відмови іонізаційного датчика з розжарюваним катодом, тому датчик потрібно ретельно оберігати від підвищення допустимого тиску. Перед установленням перетворювача у вакуумну систему необхідно зовнішнім оглядом переконаватися в цілісності катода та у відсутності замикань між електродами.

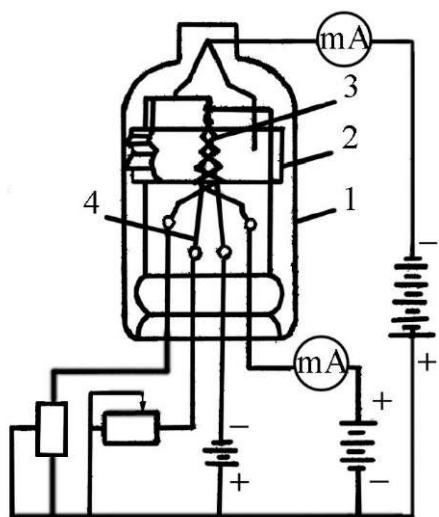


Рис.11. Схема вмикання іонізаційного перетворювача ПМІ-2 (1 – колба; 2 – колектор іонів; 3 – анодна сітка; 4 – катод)

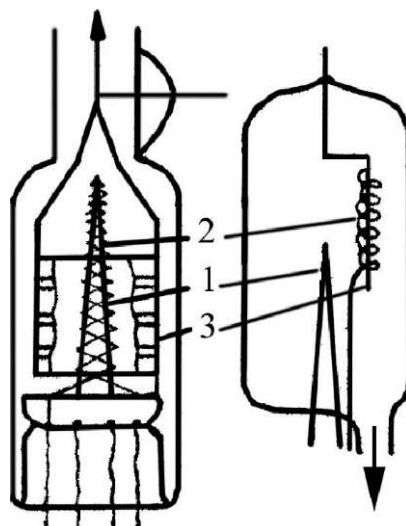


Рис.12. Лампи-датчики іонізаційного вакуумметра з зовнішнім (а) та внутрішнім (б) колекторами (1 – катод; 2 – сітка; 3 – колектор іонів)

3.3. Опис іонізаційно-термопарного вакуумметра ВІТ-2

На рис.13 показано зовнішній вигляд такого вакуумметра. Цей вакуумметр має два вимірювальних блоки – термопарний та іонізаційний. Розглянемо порядок роботи на кожному з даних блоків.

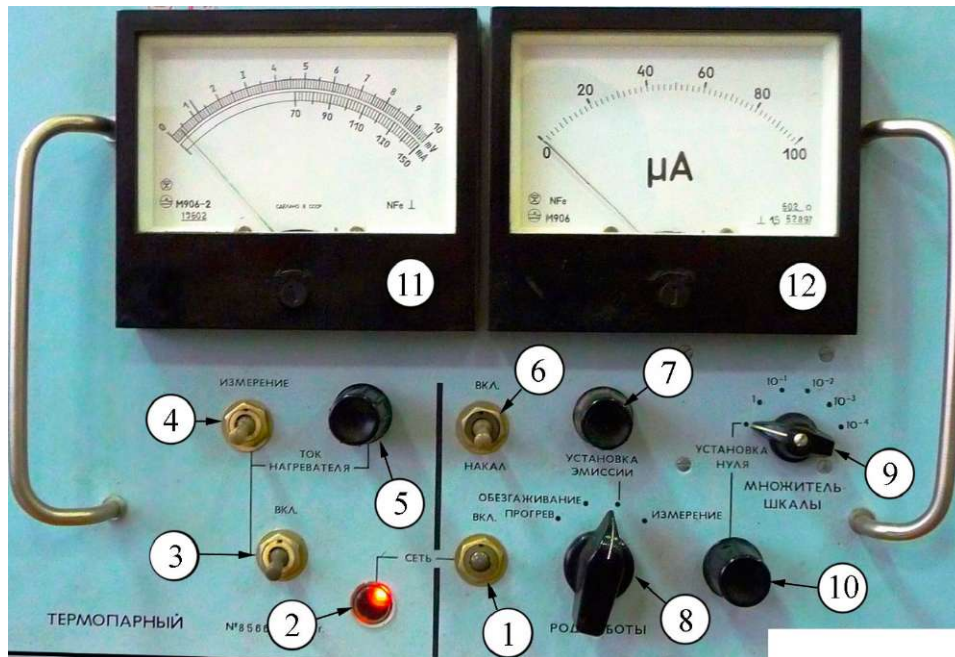


Рис.13 - Зовнішній вигляд іонізаційно-термопарного вакуумметра ВІТ-2П:

1– тумблер «Сеть», 2 – індикатор живлення вакуумметра, 3– тумблер вмикання термопарного блока, 4 – тумблер-перемикач «Измерение-Ток нагревателя», 5 – реостат «Ток нагревателя», 6 – тумблер «Накал», 7 – реостат «Установка эмиссии», 8 – перемикач «Род работы», 9 – перемикач «Множитель шкалы», 10 – реостат «Установка нуля», 11 і 12 – вимірювальні індикатори

3.4. Вимірювання тиску термопарним блоком та датчиком ПМТ-2

Підготовка до роботи:

1. Встановити тумблери «Сеть» (позиція (1) на рис.13) і «Накал» (6) у положення «Вимкнено», тобто вниз.
2. Встановити тумблер «Измерение – Ток нагревателя» (4) у положення «Ток нагревателя» (вниз) та вивести реостат (5) у крайнє ліве положення.
3. Ввімкнути вилку мережного кабеля вакуумметра в мережу 220 В, 50 Гц.
4. Для кожного термопарного перетворювача ПМТ-2 до розгерметизації скляного балона необхідно визначити його робочий струм за такою методикою:
 - з'єднати кабелем датчик-перетворювач із вимірювальним блоком вакуумметра;
 - ввімкнути загальне живлення приладу (тумблер «Сеть» (1) в положення «Вкл»). При цьому повинна засвітитися індикаторна лампа (2);
 - ввімкнути живлення термопарного блока (тумблер (3) у положення «Вкл»);
 - встановити тумблер «Измерение – Ток нагревателя» (4) у положення «Измерение» і реостатом «Ток нагревателя» (5) встановити стрілку вимірювального приладу (11) на кінець шкали (значення 10 мВ за верхньою шкалою);

- встановити тумблер (4) у положення «Ток нагревателя» і за нижньою шкалою вимірювального приладу (11) відрахувати струм розжарювання в міліамперах – це і буде робочий струм нагрівача для даного датчика ПМТ-2.

Вимірювання тиску:

1. Відрізати запаяний кінець скляної лампи датчика перетворювача ПМТ-2 і з'єднати перетворювач з відкачуванням об'ємом.
2. Встановити тумблер «Измерение – Ток нагревателя» (4) у положення «Ток нагревателя» і реостатом «Ток нагревателя» (5) встановити за нижньою шкалою значення струму нагрівача.
3. Встановити тумблер «Измерение – Ток нагревателя» (4) у положення «Измерение» і провести вимірювання ЕРС за верхньою шкалою приладу у мВ. Отримане значення перевести в одиниці тиску (мм.р.с.) за градуовальною кривою (рис.9).

3.5. Вимірювання тиску іонізаційним блоком та датчиком ПМІ-2

Підготовка до роботи:

Оскільки завод-виробник випускає перетворювачі ПМІ-2 в запаяному корпусі, всередині якого вакуум порядку **10⁻³ Па**, то можна перевірити працездатність вакуумметра шляхом безпосереднього вимірювання вакууму в самому датчику-перетворювачі до його розгерметизації. Після такої перевірки датчик-перетворювач необхідно розгерметизувати, тобто обрізати кінець скляної трубки корпусу датчика.

Перед вмиканням іонізаційного вакуумметра (подачею напруги на катод) необхідно переконатися за допомогою термодіагностичної частини вакуумметра, що тиск у відкачуваному об'ємі (робочій камері) не вище ніж 10^{-3} мм.р.с. Вмикання іонізаційного перетворювача при тиску вище ніж 10^{-3} мм.р.с. може призвести до перегорання катода і відповідно до виходу з ладу перетворювача, а тривала робота при тиску 10^{-3} - 10^{-4} мм.р.с. скорочує термін його служби.

Перед вмиканням приладу в мережу необхідно встановити перемикач «Множитель шкалы» (9) в положення «Установка нуля», перемикач «Род работы» (8) – в положення «Измерения», ручку реостата «Установка эмиссии» (7) – в крайнє ліве положення, тумблери «Сеть» (1) і «Накал» (6) – в положення «Вимкнено».

Вимірювання тиску:

1. Під'єднати вилку мережного кабелю вакуумметра до мережі 220В, 50Гц. Встановити тумблер «Сеть» (1) в положення «Вкл». При цьому засвітиться індикатор живлення вакуумметра (2).
2. Встановити тумблер «Накал» (6) в положення «Вкл» і реостатом «Установка эмиссии» (7) за стрілочним індикатором (12) встановити струм емісії катода 50 мкА.
3. Встановити перемикач «Род работы» (8) в положення «Обезгаживание». Знегажування проводити протягом 5-10 хв.

4. Встановити перемикач «Род работы» (8) в положення «Прогрев». Підігрівати анод перетворювача необхідно протягом 5-10 хв.
5. Після проведення вищезгаданих операцій дати приладу прогрітись протягом 10 хв.
6. Встановити перемикач «Род работы» (8) в положення «Измерение». Перемикачем «Множитель шкалы» (9) підібрати масштаб вимірювання.
7. Величина іонного струму в мікроамперах визначається як добуток отриманого значення за шкалою вимірювального індикатора (12) і відповідного множника перемикача «Множитель шкалы».

IV. Будова і правила експлуатації електронно-мікроскопічного вакуумного поста ЕВП-2

ЕВП-2 призначений для одержання тонких плівок методом термічного випаровування. Вакуумний пост ЕВП-2 конструктивно оформлений у вигляді металевого зварного стола. У центрі на столі розташована кругла плита, на якій закріплені пристрої необхідні для різних варіантів напилення. Через вакуумне ущільнення плита з'єднується із скляним балоном, з якого відкачується повітря і створюється необхідне розрідження. У задній частині стола – пульт керування та пристрої електроживлення вакуумного поста. Всередині стола (центральної частині) розташована вакуумна система приладу. Вона складається з розподільчого механізму, двох вакуумних насосів – попереднього та високого вакууму, вакууму трубопроводів, форвакуумного балона, вакуумної камери для змішування препаратів, засобів вимірювання вакууму. Всередині стола також розташовані понижувальні трансформатори для живлення термічних випарників, перемикачі та пускові реле механічного і паромасляного насосів. Стіл та електричні комунікації надійно заземлені.

4.1. Вакуумна система установки

Робочий об'єм (скляний балон) поста в процесі експлуатації потрібно періодично сполучати з атмосферою і знову відкачувати до робочого розрідження. Необхідні для цього комутації у вакуумній системі проводяться за допомогою вакуумного розподільчого пристрою. Розподільчий пристрій – це система клапанів, які можуть відкриватися або зачинятися у певній послідовності і в певному наборі. Штурвал керування, який виведено на передню стінку стола, за допомогою карданної передачі з'єднується з розподільчим механізмом. Штурвал має чотири фіксовані положення, які відповідають повному робочому циклу вакуумної установки: повітря→форвакуум→високий вакуум→повітря. Кожному положенню відповідають наведені нижче комутації.

Положення “В” (повітря). При такому положенні штурвала робочий об’єм з’єднується з атмосферою. Механічний насос проводить відкачування через форбалон із паромасляного насоса. Відкачна система від’єднана від робочого об’єму. Положення “ПВ” (попередній вакуум). Механічний насос під’єднується до робочого об’єму. Форбалон і паромасляний насос відключені від механічного насосу і робочого об’єму. Положення “ВВ” (високий вакуум). Відкачування робочого об’єму ведеться паромасляним насосом. Механічний насос відкачує форбалони. Положення “О”. Механічний насос від’єднується від форбалона, проводить відкачку в холостому режимі, система “робочий об’єм – паромасляний насос – форбалон” ізольована. Положення “О” необхідне для зупинки форвакуумного (механічного) насоса. Якщо зупинка буде довгою, обов’язково слід напустити повітря у механічний насос за допомогою додаткового крана.

З’єднання вакуумної камери для сушіння препаратів з механічним насосом проводиться окремим краном, що розташований у задній частині стола. При цьому штурвал вакуумного розподільчого механізму має перебувати у положенні “О”.

Вимірювання вакууму в робочому об’ємі та в комунікаційних трубопроводах здійснюється за допомогою термомонометричних ламп ЛТ-2 та ЛТ-4М.

4.2. Блок термічного випаровування

На установці ЕВП-2 можна випаровувати метали, діелектричні та напівпровідникові речовини з випарників спеціальної конструкції. Розігрів випарників до необхідної температури проводиться за допомогою електричного струму, який пропускається через випарник. У ролі випарників використовуються циліндричні та конічні вольфрамові спіралі й молібденові човники. Струм від сітки випарники отримують через вимикач “испаритель”, автотрансформатор, силовий понижувальний трансформатор та перемикач, ручка якого виведена на стінку стола. Перемикачем напруга подається на один із випарників, які закріплюються на масивних мідних клемах. Усіх клем є чотири, дві з них заземлені на корпус, а дві інші під’єднані до перемикача, який має три положення: 0 – нейтральне, 1 – випарник №1, 2 – випарник №2.

За допомогою автотрансформатора можна здійснювати плавне регулювання напруги, яка подається на випарник. Низьковольтний трансформатор дає змогу при цьому довести значення сили струму через випарник до 50 А. Індикатором значення струму є вимірювальний прилад “накал испарителя”, який під’єднано за схемою вольтметра до виходу низьковольтного трансформатора. Регульована напруга 0÷12 В трансформатора виведена також на передню панель стола до спеціальних гнізд.

4.3. Запуск вакуумного поста.

Для запуску вакуумного поста необхідно:

- перевірити, чи всі вимикачі на пульті управління вимкнені, а ручка автотрансформатора перебуває в крайньому лівому положенні;
- пустити воду для охолодження паромасляного насосу;
- увімкнути тумблер “мех. насос”; через 1-2 хв. встановити штурвал у положення “В” – повітря, а через 5-10 хв. увімкнути тумблер ”насос ВР” (розігрів паромасляного насоса займає близько 20 хв.);
- встановити та завантажити випарник і підкладку, на яку буде напилюватися плівка
- встановити балон (ковпак) на ізолюючу прокладку;
- після 20-хвилинного розігріву паромасляного насоса перевести штурвал в положення “ПВ”;
- увімкнути термоманометричний вакууметр (після досягнення вакууму $1,3 \cdot 10^{-2}$ Па можна приступати до випаровування наважки);
- увімкнути тумблер “испаритель”. Встановити перемикач живлення у потрібне положення. Поступово збільшуючи струм через випарник реостатом “накал испарителя”, довести температуру випарника до необхідної величини. Провести повне розпилення наважки. Вимкнути тумблер ”испаритель”;

Установку вимикаються у такому порядку:

1. вимкнути тумблер”ВР насос”;
2. через 15 хв. перевести штурвал у положення “О”;
3. вимкнути тумблер “мех. насос”;
4. впустити повітря у механічний насос краном випуску повітря;
5. припинити подачу води в паромасляний насос;
6. від’єднати установку від електромережі.

V. Будова і правила експлуатації вакуумного поста ВУП-5

Вакуумний універсальний пост ВУП-5 призначений для одержання плівок із різних матеріалів методами термічного, магнетронного та електронно-променевого розпилення, а також для підготовки об’єктів, які вивчаються за допомогою електронного мікроскопа або інших аналітичних приладів. Прилад може бути використано для досліджень у фізиці, хімії, біології, медицині та інших галузях науки і техніки.

5.1. Конструкція та технічні характеристики

Розглянемо конструкцію універсального вакуумного поста ВУП- 5М (рис.14). Пристрій виготовлений одним стояком, в якому розміщено робочий об’єм (1), блок керування та контролю (2), пульт дистанційного керування (3), блоки живлення пристроїв та приставок (4), вакуумна система приладу – форвакуумний насос (5), високовакуумний насос (6) та форвакуумний балон (7).

В установці ВУП-5 для відкачування робочого об'єму на форвакуум використовується пластинчасто-роторний насос 2НВР- 5ДМ, а для відкачування на високий вакуум застосовується паромасляний дифузійний насос НВДМ-160.

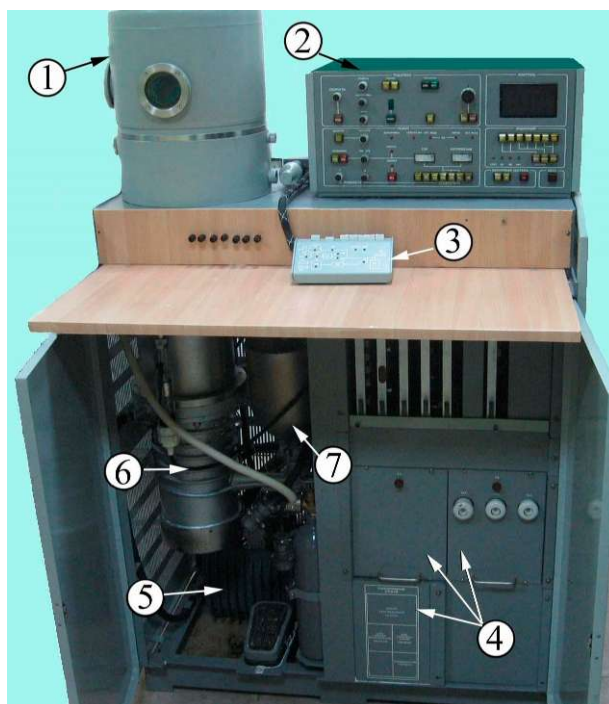


Рис.14. Зовнішній вигляд вакуумногоуніверсального поста ВУП-5 (1 – робочий об'єм;2 – блок керування та контролю; 3 – пульт дистанційного керування;4 – блоки живлення;5 – форвакуумний насос;6 – високовакуумний насос;7 – форвакуумний балон)

У таблиці 2 наведено основні технічні характеристики установки ВУП-5. Схема вакуумної системи даного поста зображена на рисунку 2.

Таблиця 2. Технічні характеристики вакуумного поста ВУП-5

Характеристика	Величина
Граничний залишковий тиск у робочому об'ємі при охолодженні уловлювача рідким азотом, Па	1.3×10^{-4}
Граничний залишковий тиск у робочому об'ємі при охолодженні уловлювача водою, Па	1.3×10^{-3}
Живлення установки напруга, В / частота, Гц	220 або 380 / 50
Споживана потужність без приставок, кВт	1.9
Максимальна споживана потужність, кВт, не більше	5
Маса приладу, кг	300
Розміри поста (не більше), м	
довжина	0.54
ширина	0.91
висота	1.55

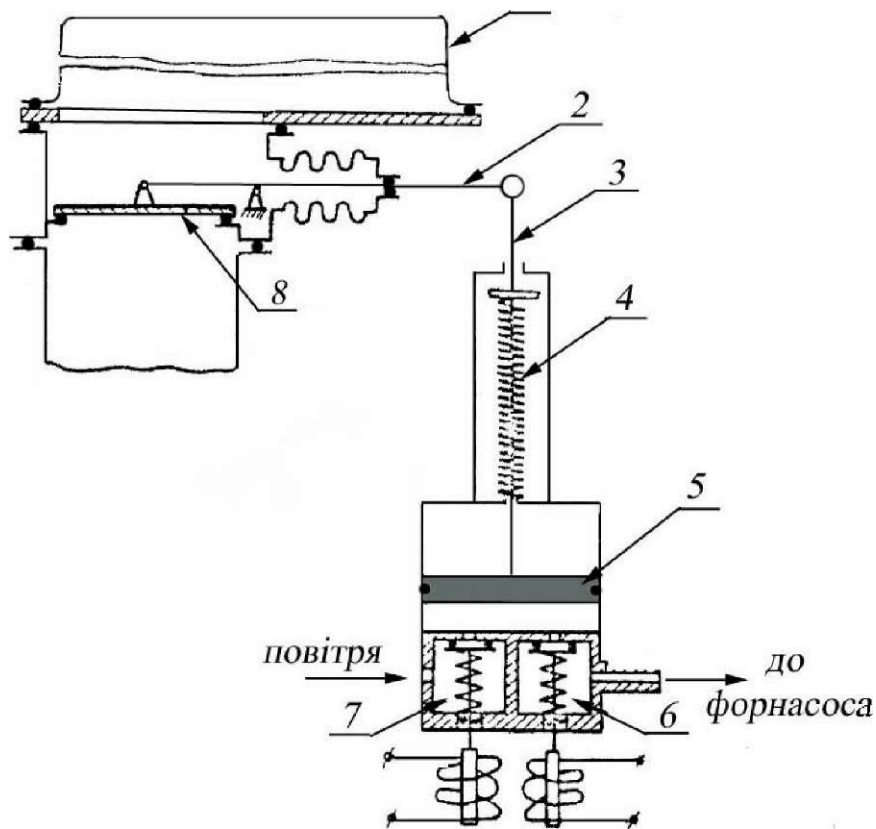


Рис.16. Схема високовакуумного затвора.

(1 – вакуумпровід для від'єднання паромасляного насоса доробочого об'єму; 2 – важіль; 3 – тяга; 4 – пружина; 5 – плунжер; 6 - електромагнітний клапан для відкачування приводу на форвакуум; 7 – електромагнітний клапан для напускання повітря у привод; 8 – пластина)

5.2. Порядок роботи

Вакуумна система приладу може працювати у ручному та автоматичному режимах, тобто комутація вакуумної системи при відкачуванні робочого об'єму до тиску $1,3 \times 10^{-4}$ Па може відбуватися під керівництвом оператора або без нього.

Перед початком роботи на установці ВУП-5 слід запам'ятати основні правила роботи, яких необхідно дотримуватися під час експлуатації будь-якої вакуумної системи:

- паромасляний дифузійний насос не може працювати без охолодження;
- паромасляний дифузійний насос може працювати лише разом із форвакуумним насосом;
- забороняється відкривати клапан напускання повітря в робочий об'єм V1 при відкритому високовакуумному затворі V4;
- забороняється одночасно відкривати клапан відкачування форбалона V8 і клапан відкачування робочого об'єму на попередній вакуум V7.

Порядок вмикання установки в автоматичному режимі

1. Забезпечити охолодження установки, відкривши водопровідний кран.

2. Перевірити положення кнопок на пульті дистанційного керування вакуумною системою. Всі кнопки (крім кнопки «РУЧН») повинні бути відтиснені.
3. Натиснути кнопку «СЕТЬ» на пульті керування, при цьому повинна засвітитися лампочка під кнопкою.
4. Натиснути кнопку «НФ» на пульті керування і привести в дію механічний форвакуумний насос. Необхідно, щоб даний насос деякий час попрацював «сам на себе». Тиск контролюється вакуумно-метричним датчиком Р2 (рис.2). Відкачувати потрібно до тиску 5-10 Па (до 3 мВ за показами цифрового індикатора на пульті керування).
5. Відтиснути кнопку «РУЧН» на виносному пульті. Повинна засвітитися лампочка сигналізації «АВТ». Через 90 хвилин прилад готовий до роботи.
6. Щоб відкрити робочий об'єм, слід натиснути кнопку «НВ» на пульті керування або на пульті дистанційного керування.
7. Після підготовки об'єктів робочий об'єм необхідно закрити і відтиснути кнопку «НВ». Прилад в автоматичному режимі буде відкачуватися до високого вакууму.

Порядок вимкнення установки в автоматичному режимі

1. Закрити робочий об'єм, відтиснути кнопку «НВ», відкачати робочий об'єм на вакуум.
2. Натиснути кнопку «СТОП». Через 25-30 хв повинна засвітитися лампочка «СТОП».
3. Вимкнути форвакуумний насос, відтиснувши кнопку «НФ».
4. Відключити пристрій від мережі.
5. Закрити воду.

Правила техніки безпеки. Перед початком роботи на установці необхідно ознайомитись із її конструкцією та інструкцією з експлуатації. Прилад може експлуатуватись однією людиною, але у приміщенні повинна знаходитися ще хоча б одна людина, що ознайомлена із правилами техніки безпеки. Під час роботи на приладі ВУП-5 необхідно дотримуватися правил техніки електробезпеки, оскільки в цьому приладі використовується змінна напруга 220 та 380В. Перед початком роботи необхідно перевірити електричне заземлення приладу. Працювати на приладі можна лише в присутності викладача або інженера.

Список літератури

1. Левин Г. Основы вакуумной техники / Г.Левин –М:Энергия, 1969. –272 с.
2. Королев Б.И. Основы вакуумной техники / Б.И.Королев –М:Госэнергоиздат, 1957. – 398 с.
3. Цейтлин А.Б. Вакуумные пароструйные насосы / А.Б.Цейтлин –М:МЭИ,

1960. –112 с.

4. Минайчев В.Е. Вакуумные крионасосы / В.Е.Минайчев – М:Энергия, 1976. – 150 с.
5. Кеменов В.М. Вакуумная техника и технология / В.М.Кеменов, С.Б.Нестеров –М:МЭИ, 2002. –84 с.
6. Демихов К.Е. Вакуумная техника: справочник / К.Е.Демихов – М.:Машиностроение, 2009. –590с.
7. Кучеренко Е.Т. Справочник по физическим основам вакуумной техники / Е.Т.Кучеренко –К.:Вища школа, 1981. –264с.