

**ВИПРОБУВАННЯ
НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ У ВИРОБНИЦТВІ
РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

2015

**Міністерство освіти і науки України
Дніпропетровський національний університет
ім. Олеся Гончара**

**ВИПРОБУВАННЯ
НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ У ВИРОБНИЦТВІ
РАКЕТНО-КОСМІЧНОЇ ТЕХНІКИ**

*Ухвалено вченою радою університету
як навчальний посібник*

**Дніпропетровськ
РВВ ДНУ
2015**

УДК 621.76.002(075.8)

В 51

Автори: В.П. Волков,
О.В. Кулик,
В.В. Хуторний,
М.М. Убизький,
С.В. Манжеліївський,
А.Г. Фесенко

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. Р.П. Дідик
д-р техн. наук, проф. Є.О. Джур

В 51 Випробування на герметичність у виробництві ракетно-космічної техніки [Текст]: навч. посіб. / В.П. Волков [та ін.]. – Д.: РВВ ДНУ, 2015. – 112 с.

Викладено основні уявлення про розробку технологічних процесів випробувань на герметичність виробів ракетно-космічної техніки. Подано інформацію про методи і способи контролю герметичності у виробництві ракетно-космічних літальних апаратів, основні принципи проектування технологічних процесів пневмогідровипробувань.

Для студентів, які отримують освіту в галузі знань «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» за напрямками підготовки бакалаврів «Авіа- і ракетобудування», «Двигуни і енергетичні установки літальних апаратів», спеціалістів і магістрів «Ракетні і космічні комплекси», «Технології виробництва літальних апаратів», «Ракетні двигуни і енергетичні установки».

ПЕРЕДМОВА

Сучасний рівень розвитку ракетно-космічного машинобудування характеризується ускладненням конструкцій виробів, збільшенням габаритних розмірів і зростаючими вимогами до їх надійності, конкурентоспроможності. Одним з головних завдань, що стоять перед виробниками ракетно-космічної техніки, є забезпечення необхідного рівня якості й надійності виробів, який значною мірою залежить від герметичності всіх видів з'єднань, замкнутих об'ємів, трубопроводів, елементів автоматики й основних конструкційних матеріалів. Забезпечення необхідної герметичності — складна науково-технічна проблема, для вирішення якої необхідна не тільки розробка нових конструктивно-технологічних рішень стосовно їх герметизації, але й удосконалення існуючих технологій випробувань, спрямоване на розвиток нових методів і засобів контролю герметичності виробів, на розробку нових і прогресивних технологічних процесів випробувань.

Досить важливим для рішення зазначеної проблеми є рівень підготовки розробників технологій і виконавців робіт, і в цьому значну роль відіграють обсяг і якість вузівської підготовки кадрів для ракетно-космічної галузі.

Запропоноване видання спрямоване на поліпшення науково-методичного забезпечення технологічної підготовки майбутніх інженерів-ракетників у галузі знань «Авіаційна й ракетно-космічна техніка».

Даний посібник охоплює розділи знань, необхідні під час розробки нових технологічних процесів, що забезпечують за параметром «герметичність» необхідну працездатність виробів. Він має за основу величезний науково-виробничий досвід, накопичений під час створення сучасних зразків ракетно-космічної техніки в Конструкторському бюро «Південне» ім. М.К. Янгеля й Виробничому об'єднанні «Південний машинобудівний завод ім. А.М. Макарова», у процесі виконання науково-дослідних робіт у Дніпропетровському національному університеті ім. Олеся Гончара.

У першому розділі посібника детально розглянуті методи і способи течешування у виробництві ракетно-космічної техніки з позицій техніки проведення контролю герметичності. Матеріал другого розділу містить інформацію щодо технології і об'єму випробувань на герметичність на етапах підготовки, проведення і завершення випробувань; розробки технологічного процесу відповідно до галузевих вимог; визначення необхідного комплексу технологічного оснащення та заходів з техніки безпеки під час виконання випробувань.

Розділ 1

ТЕХНІКА ТЕЧОШУКАННЯ В РАКЕТНО-КОСМІЧНОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Техніка течепошукування – галузь техніки, що забезпечує виявлення порушень герметичності, пов'язаних з наявністю течії. Інакше кажучи, *техніка течепошукування* – це комплекс обладнання, приладів і методів, розрахованих на індикацію малих потоків газу або рідини, що протікають крізь течії, а також реєстрацію малих вмістів пробних речовин в атмосфері або у вакуумі.

1.1. Причини негерметичності й вимоги до герметичності виробів

Герметичність — один з найважливіших параметрів, що визначають якість і надійність пневмогідравлічних систем (ПГС), окремих агрегатів, а іноді й виробу в цілому. Герметичність – це властивість конструкції або матеріалу (оболонки, корпусу), що виключає проникнення крізь них газоподібних або рідких речовин.

Необхідно відзначити, що не існує абсолютно герметичних виробів, зроблених з реальних матеріалів за існуючою технологією.

Причиною негерметичності виробів, виготовлених з металевих конструкційних матеріалів, є наявність у їх стінках наскрізних мікродефектів різної природи, які являють собою локальні канали, що з'єднують зовнішню й внутрішню поверхні виробу.

Насамперед, це дефекти, що виникають на металургійній стадії заготівельного виробництва: включення шлаків, газові бульбашки, усадочні раковини, тріщини в процесі обробки заготовок та інші несутцільності. Металургійні дефекти заготовок спричиняють негерметичність виробів «по суцільному матеріалу».

До таких характерних дефектів можна віднести поздовжні мікроканали в прокаті, утворені розкошуванням газових бульбашок заготовок. Деталі, отримані з таких матеріалів різними методами механічної обробки (точіння, фрезерування й т. ін.), можуть стати негерметичними.

Наступна, найпоширеніша причина негерметичності виробів – наскрізні дефекти в з'єднаннях.

Деталі й складальні одиниці виробів збираються за допомогою зварювання, паяння, рознімних (нерознімних) з'єднань з ущільненнями.

Дефекти зварних і паяних швів мають металургійну природу: пористість, оксидні плівки, газові включення, рекристалізація основного металу в зоні термічного впливу, тріщини, викликані термічними напруженнями.

Наскрізні дефекти рознімних з'єднань викликані найчастіше порушеннями технології виготовлення й складання деталей, що сполучаються. Причиною негерметичності можуть бути відхилення від заданої геометричної форми деталей, дефекти прокладок, сторонні предмети й дефекти на ущільнювальних поверхнях, неправильне затягування силових елементів з'єднання, релаксація напруг та ін.

Втрата герметичності рознімних з'єднань може бути пов'язана з недоліками

конструкції виробу. До них належать: низька жорсткість силових елементів з'єднання, неправильний вибір матеріалів елементів, що сполучаються, неврахування термічних напружень у разі зміни температури експлуатації й випробувань тощо.

У загальному випадку причини негерметичності різних з'єднань можуть бути конструкторськими й технологічними.

Наскрізні дефекти у виробках з металу, як правило, мають довільну конфігурацію й випадкову форму перетину від круглої до щілиноподібної. Причому форма й площа перетину змінюються від входу до виходу мікрodefекту.

Під входом мається на увазі кінець наскрізного мікрodefекту, розташований на внутрішній поверхні порожнини виробу, під виходом – кінець наскрізного мікрodefекту, розміщений на зовнішній поверхні виробу.

Дефекти різних з'єднань мають щілиноподібний канал, обмежений металевими й неметалевими (матеріал ущільнювальної прокладки) стінками.

Канал дефекту може мати тупикові відгалуження й місцеві розширення (рис. 1.1).

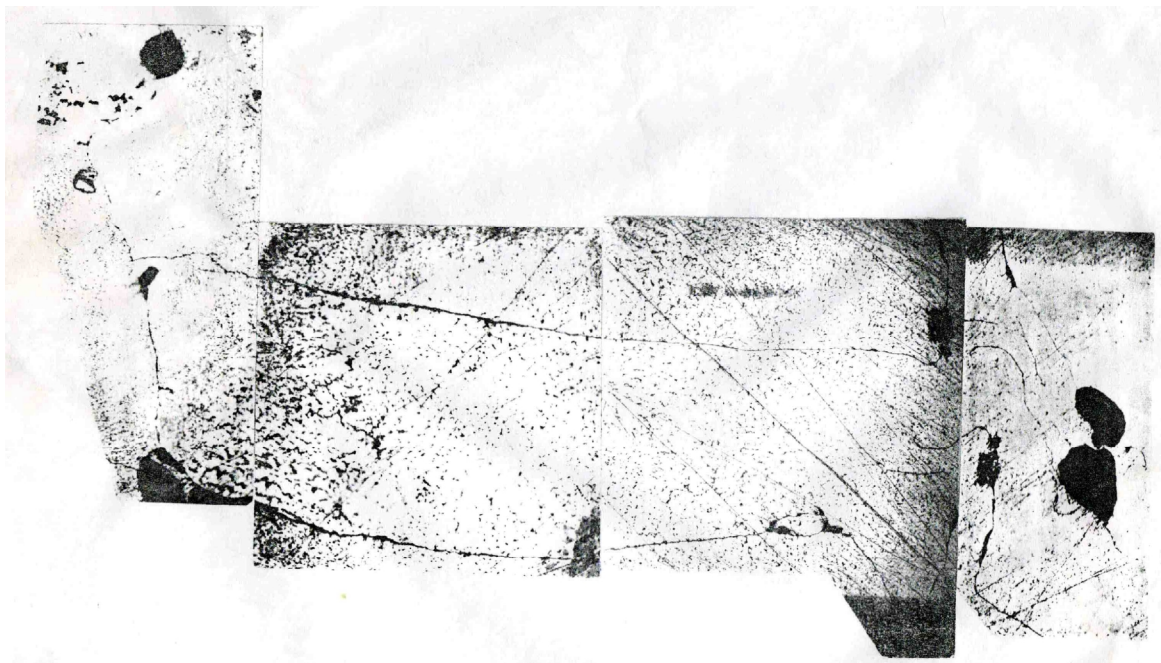


Рис. 1.1. Канал дефекту у зварному шві

Оскільки форма й розміри каналу наскрізного дефекту не піддаються безпосереднім вимірам, за узагальнену характеристику прийнята його витратна характеристика за газом:

$$Q = \frac{DV \cdot P}{t},$$

де Q – витрата газу крізь наскрізний мікрodefект, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$; P – тиск, Па ($\text{Н} / \text{м}^2$); $\frac{DV}{t}$ – об'ємна витрата газу, $\text{м}^3 / \text{с}$.

Кількісна оцінка герметичності визначається потоком крізь елементи конструкції робочої або контрольної речовини.

Ступінь герметичності можна визначити кількістю рідини або газу, що витікає із замкнутих об'ємів контрольованої системи протягом заданого проміжку часу відповідно до заданого тиску. Чим вище ступінь герметичності, тим менше її числова величина.

Ступінь герметичності визначається також заданою надійністю й умовами роботи, зберігання, припустимою концентрацією робочої речовини в просторі, що оточує систему, протипожежною безпекою, запасом речовини в системі й іншими факторам.

Задаючи ступінь герметичності, розрізняють:

- ступінь герметичності системи, виробу в цілому (сумарний);
- ступінь герметичності окремих ділянок системи або окремих з'єднань трубопроводів, стиків, зварних швів і т.д. (локальний).

Ступінь герметичності вимірюють в одиницях потоку. Потік – це кількість рідини або газу, що проникає за одиницю часу крізь нещільність.

Об'єкт випробування або його елементи вважаються герметичними, якщо під час випробування із чутливістю, вищою або рівною заданому ступеню герметичності, витік або натікання з об'єкта не виявляється.

У системі СІ одиницею виміру тиску є Па, одиницею потоку рідини – $\text{м}^3/\text{с}$, а одиницею потоку газу – $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$ або Вт.

У технічній і довідковій літературі, конструкторській і технологічній документації поданий цілий ряд інших одиниць виміру тисків і потоків.

У табл. 1.1 наведені співвідношення між застосовуваними одиницями вимірів тисків, а в табл. 1.2 – співвідношення між одиницями потоків газу.

Таблиця 1.1

Співвідношення між одиницями виміру тисків

Одиниця виміру	Еквівалент у розмірності						
	Па	мкПа	МПа	ат	атм	мм.рт.ст	мм.вод.ст
Па	1	10^6	10^{-6}	$1,02 \cdot 10^{-5}$	$9,87 \cdot 10^{-6}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$1,02 \cdot 10^{-1}$
мкПа	10^{-6}	1	10^{-12}	$1,02 \cdot 10^{-11}$	$9,87 \cdot 10^{-12}$	$7,5 \cdot 10^{-9}$	$1,02 \cdot 10^{-7}$
МПа	10^6	10^{12}	1	$1,02 \cdot 10^1$	9,87	$7,5 \cdot 10^3$	$1,02 \cdot 10^5$
ат	$9,81 \cdot 10^4$	$9,81 \cdot 10^{10}$	$9,81 \cdot 10^{-2}$	1	$9,68 \cdot 10^{-1}$	735,56	10^4
атм	$1,013 \cdot 10^5$	$1,013 \cdot 10^{11}$	$1,013 \cdot 10^{-1}$	1,033	1	760	$1,033 \cdot 10^4$
мм.рт.ст.	$1,33 \cdot 10^2$	$1,33 \cdot 10^8$	$1,33 \cdot 10^{-4}$	$1,36 \cdot 10^{-3}$	$1,32 \cdot 10^{-3}$	1	$1,36 \cdot 10^1$
мм.вод.ст.	9,81	$9,81 \cdot 10^6$	$9,81 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9,68 \cdot 10^{-3}$	$7,36 \cdot 10^{-2}$	1

Ступінь герметичності виробів часто визначається величиною гранично припустимої корозійно-безпечної концентрації парів компонентів робочої рідини (КРР) у спорудженнях або замкнутих об'ємах, у разі впливу якої виріб залишається працездатним. Знаючи припустиму концентрацію парів КРР, можна визначити припустиму сумарну величину витоку компонентів із систем у відсік ракетно-космічного апарата.

При цьому необхідно враховувати, що пари КРР, які проникають у виріб, не тільки призводять до загазованості, але й сорбуються поверхнями і взаємодіють із киснем і вологою повітря.

Таблиця 1.2

Співвідношення між одиницями виміру потоків

Одиниця виміру	Еквівалент у розмірності					
	м ³ ·Па/с Вт	мм ³ ·МПа/с	м ³ ·мкПа/с	л·мкм рт.ст/с	мм ³ ·атм/с	см ³ ·атм/с
м ³ ·Па/с, Вт	1	10 ³	10 ⁶	7,5·10 ²	9,87·10 ⁵	9,87·10 ⁸
мм ³ ·МПа/с	10 ⁻³	1	10 ³	7,5	9,87	9,87·10 ³
м ³ ·мкПа/с	10 ⁻⁶	10 ⁻³	1	7,5·10 ⁻³	9,87·10 ⁻³	9,87
л·мкм рт.ст/с	1,33·10 ⁻⁴	1,33·10 ⁻¹	1,33·10 ²	1	1,32	1,32·10 ³
мм ³ ·атм/с	1,013·10 ⁻⁴	1,013·10 ⁻¹	1,013·10 ²	7,58·10 ⁻¹	1	10 ³
см ³ ·атм/с	1,013·10 ⁻⁷	1,013·10 ⁻⁴	1,013·10 ⁻¹	7,58·10 ⁻⁴	10 ⁻³	1

У цьому випадку рівняння матеріального балансу має вигляд

$$m_{don} = \frac{C_{don}}{t} (V + \sum_{i=1}^n k_i S_i + k_g t V), \quad (1)$$

де m_{don} – припустимий сумарний витік компонента, кг/с ; C_{don} – припустима концентрація парів КРР, кг/м³; t – час експлуатації, с; V – об’єм відсіку, м³; k_i – коефіцієнт сорбції КРР конструкційними матеріалами, м³/м²; S_i – площа поверхні конструкції, м²; k_g – константа взаємодії парів КРР із газами й вологою повітря, 1/с.

Через конструктивні особливості вузлів і агрегатів різних виробів єдину норму негерметичності встановити неможливо. Так, аналіз формули (1) показує, що припустима величина витоку КРР (а отже, і контрольного газу) залежить від об’єму відсіку, порожнини, поверхні відсіку й застосовуваних покриттів, часу експлуатації виробів. Крім того, через неоднакову корозійну стійкість різних матеріалів і покриттів в умовах атмосфери, загазованої парами КРР, для них є своя визначена гранично припустима норма загазованості.

Для великогабаритних виробів, за винятком деяких випадків, величину сумарної негерметичності проконтролювати практично неможливо, тому контролю піддаються окремі вузли і їх з’єднання.

Вимоги забезпечення повної й надійної герметизації обумовлюються призначенням виробів, конструкцією їх елементів і систем, умовами експлуатації й зберігання. У більшості з’єднань абсолютної герметичності домогтися практично дуже важко. Однак норми допустимої негерметичності у виробках сучасної техніки можуть бути досить жорсткими. Необхідну герметичність задає розроблювач конструкції.

Більшість пневмогідролічних систем (ПГС) мають різні нерухомі з’єднання. Забезпечити тривалу надійну герметичність різних з’єднань, що відповідає вищенаведеним вимогам, дуже складно. Наприклад, звичайно фланцеві з’єднання ущільнюються за допомогою прокладок (фторопластові, металеві й ін.). У цих випадках ущільнення досягається за рахунок використання пружних властивостей ущільнювальних матеріалів, які увесь час перебувають під напруженням

за рахунок зусиль затягування з'єднання. Але з часом через релаксацію внутрішні напруження в ущільнювальних матеріалах знижуються за усім об'ємом прокладок. Зниження зусиль ущільнення спричиняють також пластичні деформації матеріалу сталевих болтів і різьбових з'єднань. У результаті вищевказаних процесів відбувається втрата герметичності рознімних з'єднань.

Кількісне вивчення явищ релаксації в рознімних з'єднаннях показало, що за 60 діб зусилля затягування фланцевих з'єднань знижується приблизно на 10%. Негерметичність з'єднань відзначається в разі зниження зусиль затягування до 35...50%. Якщо встановлену швидкість зниження зусиль затягування взяти за постійну величину, то негерметичність може виникнути через 200...300 доби.

Вимоги з герметичності до одиничних з'єднань одержують у результаті розподілу отриманої припустимої сумарної негерметичності на кількість вузлів або з'єднань, що перебувають у даному відсіку. Для сучасних виробів вимоги з герметичності окремих з'єднань і вузлів знаходяться у межах $1,33 \cdot 10^{-7} \dots 1,33 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$, а виробів у цілому – $1,33 \cdot 10^{-4} \dots 1,33 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Для вузлів, що працюють під тиском газу (пневмосистем), величина негерметичності встановлюється, виходячи із припустимого падіння тиску газу за час роботи виробу.

Припустима негерметичність вузла, виробу повинна бути обґрунтована, оскільки заниження вимог до герметичності призведе до передчасного виходу виробів з ладу, а необґрунтоване завищення – до збільшення трудомісткості й вартості виробництва виробу.

1.2. Основні поняття й визначення техніки течешукування

Наскрізні мікродефекти в технології течешукування одержали назву «течі». *Течі* – це наскрізні канали або пористі ділянки виробу чи його елементів, що порушують їх герметичність. Кількісною характеристикою негерметичності виробу є *ступінь негерметичності*, що визначається сумарною витратою речовини крізь течі. Чим вищий ступінь негерметичності, тим менше її числове значення.

Процес виявлення теч називають – *течошукуванням*.

Залежно від градієнта тиску на стінках виробу в техніці течешукування розрізняють поняття натікання або витіку. *Натікання* – це проникнення речовини всередину герметизованого виробу під дією перепаду повного або парціального тиску. *Витік* – просочення речовини з герметизованого виробу.

Норма герметичності виробу – найбільша сумарна витрата речовини крізь течі герметизованого виробу, що забезпечує його працездатний стан, встановлена нормативно-технічною документацією.

Існують експлуатаційні й технологічні норми герметичності. *Експлуатаційні норми* визначаються виходячи із заданої технічними умовами на виріб допустимої зміни його характеристик, пов'язаної з його негерметичністю під час експлуатації. Як норми можуть братися гранично припустимі втрати робочого середовища, за яких характеристики виробу в процесі експлуатації не виходять за задані межі. *Технологічні норми* герметичності передбачені конструкторською до-

кументацією на виріб і діють у процесі його виготовлення.

Контроль герметичності – технологічний контроль із метою встановлення відповідності виробу нормі герметичності. Контроль герметичності — контрольна операція в технологічному процесі випробувань на герметичність.

Метод випробування на герметичність (метод контролю герметичності) характеризується принципом виявлення течі, а також агрегатним станом контрольного середовища у виробі в процесі випробування.

Спосіб контролю герметичності – технологічний різновид методу контролю герметичності, що характеризується послідовністю технологічних операцій, реалізованих у процесі випробувань обраним методом.

Розрізняють три види речовин, використовуваних під час виробничого контролю герметичності:

- *пробна речовина* – це речовина, проникнення якої крізь течу виявляється під час течешукування;

- *баластна речовина* – використовується для підвищення повного тиску з метою збільшення витрати пробної речовини до індикаторного пристрою, а також для створення іспитового тиску у виробі, що забезпечує необхідний тиск на його стінки;

- *контрольне середовище* – складається з установленної кількості пробної і баластної речовин. Вона може бути рідкою й газоподібною. Його агрегатний стан у процесі контролю герметичності має важливе значення для вибору методу й засобів випробувань. Залежно від агрегатного стану контрольного середовища існують гідравлічні й газові методи випробування на герметичність.

З наведених визначень речовин очевидно, що пробна й баластна речовини є в загальному випадку складовими частинами контрольного середовища, яке одночасно може бути й пробною, і баластною речовиною. Таким є повітря, застосовуване для випробувань гідрогазодинамічними методами.

Для виявлення (індикації) місця розташування теч застосовується інша група речовин:

- *речовина-носії* – використовується для транспортування пробної речовини до індикаторного засобу;

- *індикаторний засіб* – індикатор, містить індикаторну речовину, її носій і технологічні домішки;

- *індикаторна речовина* – речовина, що в процесі взаємодії з пробною речовиною формує сигнал про наявність течі.

У течешуванні використовують різні види взаємодії: хімічну, гідрогазодинамічну, фізичну, електрохімічну й т.д. Сигнал може мати вигляд кольорової плями, пухирця газу в рідині, рідкої плівки або будь-який інший вигляд, що забезпечує надійну індикацію.

Індикаторні засоби в течешуванні можуть застосовуватися у вигляді легкознімних і робочих покриттів, індикаторних стрічок і паперу, стабільних і перегрітих рідин. Індикаторна речовина може бути й індикаторним засобом. Наприклад, вода у випадку індикації методом «акваріума».

Локалізація течі – виділення негерметичної ділянки й визначення місця ро-

зташування течі.

Чутливість течешукування – відношення зміни сигналу про наявність течі до витрати пробної речовини крізь течі, що викликала зміну сигналу. *Поріг чутливості течешукування* – найменша витрата пробної речовини, яка реєструється під час течешукування.

Течешукач – прилад або пристрій для виявлення теч.

Калібрована (контрольна) теча – пристрій, що відтворює задану витрату речовини крізь течу. Контрольна теча застосовується у випробуваннях на герметичність як міра потоку пробного газу.

1.3. Система технологічних заходів забезпечення герметичності у виробництві ракетно-космічної техніки

Герметичність — один з найважливіших показників якості й надійності ракетно-космічної техніки. Тому у виробництві ракетно-космічної техніки діє система заходів, що забезпечують задану герметичність наприкінці циклу виробництва.

Забезпечення герметичності – завдання комплексне.

По-перше, необхідне правильне розуміння самої проблеми герметичності.

По-друге, потрібна наявність арсеналу методів і засобів контролю герметичності потрібної чутливості.

По-третє, повинен бути особливий підхід до проектування конструкції. Розроблювач має забезпечити контролепридатність конструкції, тобто можливість надійного випробування на герметичність на всіх стадіях виготовлення виробу. Наприклад, у конструкції повинен бути доступ до всіх елементів, що піддаються випробуванням.

По-четверте, необхідні спеціальні вимоги до конструктивних матеріалів і високий рівень технології виготовлення.

З вищесказаного випливає, що система, яка забезпечує задану герметичність, повинна включати як конструкторські, так і технологічні заходи та визначати методи й засоби випробувань на герметичність.

У структурі технологічних заходів значна увага має приділятися підтримці стабільності технологічних процесів, що відбуваються у виробничому циклі, оскільки основні причини виникнення наскрізних дефектів пов'язані з порушенням технології.

Важливим технологічним заходом у системі забезпечення герметичності служить реалізація вимоги не піддавати деталі й складальні одиниці будь-якій обробці, пов'язаній з деформацією металу або його зніманням на герметичних поверхнях після випробувань на герметичність.

Механічна обробка зварних швів під час зняття посилення й проплавів зварних швів фрезою або різцем до випробувань на герметичність сприяє додатковому розкриттю до 80% ненаскрізних мікрodefektів, а в разі зачищення металевими щітками або шарошками додатково закривається до 60% нещільностей.

У вирішенні проблеми забезпечення герметичності виробів важливе зна-

чення має питання якісної підготовки поверхонь перед проведенням випробувань. Наявність на поверхні різних забруднень частково або повністю перекриває течі, що різко зменшує ймовірність їх виявлення й знижує вірогідність перевірок на герметичність.

Перекриття течі – це припинення або зменшення витрати речовини крізь течу внаслідок її закупорки або деформації ділянки матеріалу виробу, у якому вона розташована. Теча може бути закупорена вологою, технологічними рідинами, мастилами, які контактують із виробами в процесі виготовлення. Перекриття течі може бути тимчасовим. Перекриття течу в процесі випробувань важко або неможливо виявити, але в процесі експлуатації виробу вона може розкриватися й призводити до втрати герметичності.

Основна роль у системі забезпечення герметичності належить випробуванням на герметичність. Спроби забезпечити герметичність виробів без їх випробувань, наприклад, ускладненням конструкції або більш ретельним дотриманням технології складання-зварювання не гарантує герметичність виробу. Дійсно, у реальному виробничому процесі завжди є відхилення від оптимальної технології. Єдиний правильний шлях переконатися в якості виробу – це провести його випробування.

Система технологічних заходів із забезпечення герметичності реалізується у ракетно-космічному виробництві у вигляді такої схеми технологічних процесів:

1. Підготовка поверхні виробу до випробувань на герметичність. Призначення підготовки – видалення забруднень із поверхні виробу.
2. Сушіння. Його призначення — видалити вологу й розчинники з поверхні виробу й із мікродефектів.
3. Випробування на міцність. Завданням випробувань на міцність у системі забезпечення герметичності є розвиток схованих ненаскрізних дефектів у наскрізні (течі), малих теч у більшій під впливом іспитового тиску для подальшого їх виявлення в процесі випробувань на герметичність.
4. Випробування на герметичність.

1.4. Підготовка поверхні об'єкта випробування до випробувань на герметичність

Необхідною умовою високої надійності космічних апаратів і ракет-носіїв є дотримання жорстких вимог до чистоти відсіків, агрегатів, трубопроводів і робочих речовин ПГС, а також до компонентів палива.

Для забезпечення високої чистоти виробів ракетно-космічної техніки напрацьований цілий комплекс конструкторських, технологічних і організаційних заходів.

1. Основні конструкторські заходи під час проектування ПГС:
 - не допускати тупиків і застійних пустот, які утруднюють їх промивання;
 - не допускати доробок вузлів і деталей, пов'язаних зі зняттям металу, (при-тирання, доведення, свердління й ін.), здійснюваних під час складання й випробувань;

- не допускати контрування дротом, шайбами Гровера й іншими елементами деталей і вузлів, що перебувають у порожнинах;
- здійснювати загальне компонування систем з мінімальною довжиною трубопроводів з найменшою можливою кількістю їх з'єднань;
- зміцнювати поверхні найбільш чутливих елементів (золотників, клапанів) за допомогою хромування й ін.;
- необхідно забезпечувати надійний захист порожнин систем від потрапляння забруднень із навколишнього середовища крізь дренажні системи;
- урахувати фактор сумісності конструкційних матеріалів і робочих рідин на всіх режимах роботи (корозія, емульгування, окиснювання). Наприклад, контакт міді з латунню є каталізатором окиснювання мастил, магнію зі свинцем – причина утворення металевого «мила». Алюміній несумісний з міддю, нікелем, сріблом і їх сплавами;
- не допускати в конструкціях баків і герметичних відсіків пазів, кишень, напусткових з'єднань, глухих отворів, важкодоступних пустот.

2. Технологічні заходи включають спеціальні операції, у тому числі промивання, протирання, продувку, сушіння, знежирення, прокачування й контроль вхідних деталей і систем та ін.

3. Організаційні заходи:

- виконувати складальні, монтажні і випробні роботи у спеціальних чистих приміщеннях;
- виконувати вищевказані роботи тільки в першу й другу зміни;
- забезпечувати необхідну особисту гігієну робітників чистих цехів і дільниць;
- розроблювати заходи щодо забезпечення чистоти технологічного встаткування й оснащення, організація їх виконання;
- забезпечувати збереження чистоти деталей і складальних одиниць під час транспортування й зберігання.

Підготовка поверхонь

Виріб вважають підготовленим до випробувань, якщо на його поверхнях відсутні сліди вологи, механічні, фізичні й інші види забруднень, а з наскрізних дефектів вилучені вода й інші речовини, що їх закупорюють. Очищення виробів, що мають поверхні, недоступні для обробки в зібраному вигляді, здійснюють перед складанням або зварюванням виробу.

Вибір методів очищення поверхонь залежить від їх початкового забруднення, конфігурації, розмірів і матеріалів деталей, що очищаються, вимог до чистоти, технологічних можливостей і економічності доцільності.

За принципом видалення забруднень із поверхні виробу розрізняють механічні й хімічні способи очищення.

Механічне очищення проводять такими методами: продувкою або обдуванням стисненим газом, очищенням пирососом, протиранням, промиванням, струминним очищенням. У разі хімічних способів використовуються органічні розчинники або мийні водянні розчини, а також обробка в кислотних і лужних розчинах.

Під час знежирення з поверхні виробу видаляються органічні й мінеральні масла, мастила, жири й т.д. Знежирення здійснюють такими методами: протиранням, промиванням, зануренням у рідину, струминним очищенням.

Ручне знежирення й протирання виконують бавовняними серветками, змоченими в органічних розчинниках (спирт, ацетон, нефрас тощо), і забезпечують чистоту поверхні від механічних забруднень – 10 мг/м^2 , жирових – не більше 50 мг/м^2 . Недоліки: трудомісткість і залишки ворсу на поверхні. Для усунення ворсу використовують пілососи або обдув поверхні сухим стисненим повітрям. Тому протирання рекомендується застосовувати для виробів, що не мають щілинних зазорів, глухих отворів, важкодоступних місць.

Очищення деталей зануренням у рідину з певним часом витримки поліпшуються за рахунок перемішування й підвищення температури мийного розчину.

Вузли й деталі простої конфігурації можуть очищатися шляхом прокачування рідини зі швидкістю від 5 до 30 м/с. Прискорення й поліпшення очищення можливі за рахунок закручування потоку рідини, імпульсної подачі, упорскування повітря в потік рідини, підвищення температури.

Одним з ефективних методів очищення, особливо великогабаритних вузлів від масел і мастильних матеріалів, металевого пилю й інших забруднень, є струминний спосіб очищення. Поверхню виробу обробляють сканувальними струменями мийної рідини, яка видаляє жирові забруднення. Водночас інтенсивний механічний вплив струменя дозволяє видалити з виробу тверді частки й у такий спосіб поєднати механічне очищення зі знежиренням.

Іноді застосовують вакуумне очищення поверхонь на стадії заключного складання для космічних апаратів з подальшою термообробкою за температури близько 100°C протягом декількох діб.

Контроль чистоти поверхонь

Після видалення забруднень необхідно проконтролювати якість очищення поверхні. Методи й способи контролю чистоти поверхонь, порожнин і виробів, ступінь чистоти мийних рідин, які застосовуються для миття й знежирення, строго регламентовані галузевими стандартами, що визначають два види контролю забруднень:

- прямий, коли безпосередньо контролюється очищена поверхня;
- непрямий (опосередкований) – за чистотою робочої або технологічної (мийної) рідини.

Вибираючи метод контролю, враховують вимоги до чистоти поверхонь виробу, габарити й конфігурацію виробів, ступінь і вид забруднення, економічну доцільність.

Контроль механічних забруднень

Для контролю механічних забруднень застосовують прямі методи контролю – візуальний і індикаторний, а також непрямі – гранулометричний, за чистотою мийної рідини, гравітаційний.

Візуальний метод контролю передбачає безпосередній огляд поверхонь, він простий, але має істотний недолік – низьку чутливість – дозволяє виявляти забруднення із частками більше $50\ldots 70 \text{ мкм}$.

Індикаторний метод полягає в знятті відбитка з контрольної поверхні за допомогою спеціального матеріалу, наприклад мембранних тканин «Владипор» (ТУ 6-05-221-828-80), за спеціально розробленою методикою – механічні частки, більші за 50 мкм, виявляються візуально крізь лупу із чотириразовим збільшенням, менші – за допомогою оптичних мікроскопів.

Широко застосовується непрямий гранулометричний метод дослідження мийної рідини, у якій допускається наявність певної кількості часток того або іншого розміру в одиниці об'єму.

Для автоматизованого контролю чистоти у вітчизняній промисловості застосовують ряд фізичних приладів, побудованих за принципом порівняння властивостей розсіювання світла чистої й забрудненої рідин – так званих аналізаторів забруднення рідини, що використовують фотоелектричний, контактний, п'єзоелектричний і інші ефекти. Також використовують прилади для експрес-контролю наявності емульсійної води й твердих домішок у компонентах рідкого палива.

У Виробничому об'єднанні «Південний машинобудівний завод ім. А.М. Макарова» для визначення якості очищення великогабаритних посудин застосовується непрямий гравітаційний метод за масою твердих залишків на фільтрі, крізь який проходить вся мийна рідина, що зливається через фільтр. Як фільтрувальний елемент використовують батистову тканину.

Класи чистоти газоподібних робочих і технологічних середовищ регламентовані державними й галузевими стандартами.

Контроль масляних і жирових забруднень

Жири – органічні сполуки, повні складні ефіри гліцерину й однолужних жирних кислот (гліцерин, рослинна олія, продукти потовиділення, відбитки пальців і т.ін.). Масла мінеральні – суміші високомолекулярних вуглеводнів, отриманих з нафти. У ракетній техніці типовими забруднювачами є компресорне масло й інші види мастил і масел.

Застосовують прямі й непрямі методи контролю жирових та масляних забруднень.

Прямі методи – візуальний і люмінесцентний на очищеній поверхні.

Непрямі методи базуються на визначенні концентрації жирових і масляних забруднень в органічних розчинниках. До них належать метод якісної проби на утворення масляної плями, ваговий, нефелометричний, інфрачервоний.

Візуальний метод простий, але не дає кількісної оцінки забруднень. Він полягає у вибіркового протиранні контрольованої поверхні в декількох місцях серветкою (фільтрувальним папером), змоченою в ацетоні або спирті й віджатою. Поверхня вважається чистою за відсутності на серветці видимих слідів жирових або інших видів забруднень.

Ефективним і високопродуктивним методом контролю якості очищення є люмінесцентний метод, заснований на властивості жирових і масляних забруднень, які перебувають на поверхні або розчинені в рідині, світитися під дією ультрафіолетового випромінювання. Чутливість 30...50 мг/м².

Для непрямого контролю створений ряд приладів, у тому числі флуоримет-

ри, калориметри фотоелектричні концентраційні, фотолюмінесцентні концентратори. Дія флуориметрів заснована на порівнянні світлового потоку в еталонній і в обмірюваній рідині.

Якісний метод на утворення масляної плями полягає в послідовному нанесенні трьох крапель розчину на одне й те саме місце й аналізу після 30-хвилинної витримки за допомогою люмінесцентного приладу.

Ваговий метод характеризується високою чутливістю й базується на випарюванні води за температури 60...70 °С й зважуванні проби до й після випарювання:

$$X = \frac{(C_{T1} - C_{T2})100}{B}$$

де X – критерій чистоти, мг/м³; C_{T1} і C_{T2} – маса порожньої чашки й маса чашки із залишком після випарювання проби розчинника відповідно, мг; B – об'єм проби мийної рідини або розчинника, м³.

Суть нефелометричного методу — порівняння прозорості певної проби й спеціально приготовлених еталонних зразків:

$$X = \frac{C_T \times 100}{B},$$

де X – критерій чистоти (вміст масел), мг/м³; C_T — кількість масла, що відповідає обраному еталону мийної рідини, мг; B – об'єм проби мийної рідини або розчинника, м³.

Інфрачервоний метод полягає у вибіркового поглинанні теплової енергії в інфрачервоному діапазоні ($\lambda = 3,4...3,5$ мкм). Особливо зручний метод для нелюмінуючих розчинників. Відрізняється високою чутливістю – 1...5 г/м³.

1.5. Видалення рідини з нещільностей. Методи сушіння

Надійність випробувань на герметичність визначається попередніми технологічними операціями: очищенням поверхонь, сушінням виробів з метою виводу рідин з поверхонь і, головне, з наскрізних мікродефектів, а також терміном і умовами зберігання виробу між цими операціями й контролем герметичності. Наскрізні мікродефекти можуть бути закупорені маслами, охолоджувальними й технологічними рідинами після гідровипробувань або очищення поверхонь, речовинами, що з'явилися на поверхнях у результаті контакту з руками працівників, атмосферою вологою, пилом і аерозолями.

На сьогодні відпрацьовані методи й засоби, які забезпечують розкриття 92...95% мікронещільностей з величиною потоку за гелієм 10^{-8} м³·Па/с і до 80% з величиною 10^{-9} м³·Па/с. Наприклад, було встановлено, що кількість негерметичностей, закупорюваних органічними розчинниками, залежить від температури кипіння останніх. Так, фреон, що має температуру кипіння 319,7 К (46,7 °С), закупорює 3,1% мікродефектів, бензин з температурою кипіння 353 К (80°С) закупорює 15% мікродефектів, уайт-спірит – 413 К (140 °С) і 46% відповідно.

Таким чином, чим нижча температура кипіння розчинника, тим менша ймо-

вірність закупорювання ним мікрокапілярів, і цю рідину можна використовувати для попереднього розкриття останніх від масел і жирових забруднень, але обов'язково з подальшим сушінням для видалення вологи з наскрізних дефектів виробів перед випробуваннями на герметичність.

Спочатку поверхню виробу піддають загальному сушінню, тобто видаляють рідину із зовнішніх і внутрішніх поверхонь і важкодоступних місць. Загальне сушіння рекомендують проводити протиранням серветками, продувкою чи обдуванням стисненим повітрям, або сушінням з нагріванням і вакуумуванням виробу. Можливе поєднання цих методів. Особливу увагу необхідно звернути на важкодоступні місця, де можуть накопичуватися залишки рідини, що не зливаються. Якість і повнота видалення рідини з поверхонь підтверджується візуальним оглядом або забезпечується технологією, відпрацьованою на імітаторах або зразках.

У виробництві об'єктів ракетно-космічної техніки для видалення вологи з наскрізних мікродефектів і мікронещільностей застосовують такі методи сушіння: конвективний, температурний, температурно-вакуумний, термоградієнтний (безкамерний), вакуумний термоградієнтний.

На тривалість сушіння впливає довжина каналу наскрізного дефекту, температура поверхні виробу, мінімальний тиск середовища, величина допустимої за конструкторською документацією негерметичності виробу.

За довжину каналу наскрізного дефекту беруть умовну величину, що залежить від товщини стінок виробу й особливостей його конструкції. Умовну довжину каналу течі встановлює розроблювач виробу. Вона відображається в конструкторській документації. Наприклад, для механічно оброблених деталей, виготовлених зі штамповок, відливок й т.ін., у яких немає перерізання «волокон», що з'єднують внутрішні й зовнішні поверхні, за довжину каналу беруть товщину стінок деталей. Для деталей з перерізаними в процесі механічної обробки «волокнами» за довжину каналу вважають максимальну товщину металу деталі уздовж перерізаного волокна.

Від величини допустимої за конструкторською документацією негерметичності виробу також залежить тривалість сушіння. Чим менша величина допустимої негерметичності, тим більш тривалим повинне бути сушіння. Необхідно враховувати, що очищення теч від нелетких компонентів і речовин, утворених у результаті хімічних реакцій у капілярі, сушінням неможливе.

Конвективний метод сушіння полягає в обдуванні внутрішньої або зовнішньої поверхні виробу гарячим повітрям. Повітря, застосовуване для конвективного сушіння, повинне мати вологість з визначеною точкою роси не вище 258 К (–15 °С), заміряною за атмосферного тиску. Допускається сушіння із застосуванням підігрітого цехового повітря. Температура повітря для конвективного сушіння повинна бути не нижча 313 К (40 °С).

Тривалість сушіння t_k конвективним методом визначається за емпіричною формулою:

$$t_k = 6400 \frac{d}{t_c^2},$$

де d – умовна довжина каналу течі, мм; t_c – температура сушіння, °C.

Під температурним методом розуміють сушіння в термокамері. Температура сушіння не менша 313 К (40 °C). Сушильна камера повинна мати природну й непряму вентиляцію. За температури понад 353 К (80 °C) рекомендують періодично продувати камеру й виріб протягом 5 хв повітрям, підігрітим до температури сушіння.

Найбільш ефективно сушіння за температур, що перевищують температуру кипіння рідини. А тому потрібно прагнути до максимально можливої температури нагрівання виробу під час сушіння.

Температурним методом є й природне сушіння у виробничому приміщенні. При цьому температура повітря в приміщенні не повинна бути менша 288 К (15 °C), а відносна вологість не більша 60%.

Тривалість сушіння t_t у разі температурного методу визначається за емпіричною формулою:

$$t_t = 7060 \frac{d}{t_c^2},$$

де d – умовна довжина каналу течі, мм; t_c – температура сушіння, °C.

Критерієм вибору максимальної температури нагрівання виробу під час сушіння служить термічна стійкість його матеріалів.

Конструкційні матеріали типу алюмінієвих сплавів АМг6 у разі тривалої дії високої температури стають схильними до корозійного розтріскування. Наприклад, у сплаві АМг6 з нагартуванням на 20...30% корозійне розтріскування проявляється після нагрівання до 373 К (100 °C) з витримкою більше 24 год, а тому під час сушіння баків і інших вузлів температура не повинна перевищувати 353 К (80 °C).

В елементах конструкцій складних виробів звичайно є ряд деталей, виготовлених з органічних матеріалів: фторопласту, поліетилену, гуми тощо. За тривалих процесів і підвищених температур, починаючи з 323 К (50 °C), у таких деталях спостерігається жолоблення й усадка. А тому максимальна температура нагрівання під час сушіння подібних деталей обмежується значенням 323 К (50 °C).

Якщо не можна підвищувати температуру, то необхідно знизити тиск і вийти на режим кипіння рідини за припустимої температури сушіння. Метод температурного сушіння за зниженого тиску називається температурно-вакуумним.

За способом вакуумування розрізняють два різновиди температурно-вакуумного сушіння: метод загального вакуумування і метод безпосереднього (однобічного) вакуумування.

Відповідно до першого осушуваний виріб уміщують у вакуумну камеру й піддають загальному вакуумуванню, відповідно до другого – вакуум може створюватися з одного або іншого боку осушуваної оболонки виробу. Застосування методу безпосереднього вакуумування можливе тільки для вузлів і виробів, що допускають за міцністю оболонки конструкції перепад між зовнішнім і внутрішнім тиском більше 0,1 МПа.

Залишковий тиск у сушильній камері або у виробі повинен бути трохи ниж-

чий тиску насичених парів рідини за температури сушіння. Для води, без врахування облітерації, якщо температура сушіння 293 К (20°C), залишковий тиск повинен бути менший $2,3 \cdot 10^3$ Па; якщо 323 К (50 °C), залишковий тиск повинен бути меншим $1,2 \cdot 10^4$ Па; якщо 333 К (60°C) – $2 \cdot 10^4$ Па відповідно.

Тривалість сушіння $t_{\text{тс}}$ температурно-вакуумним методом визначається за допомогою емпіричної формули:

$$t_{\text{тс}} = 7060 \frac{d}{t_c^2} (K_2 - K_1),$$

де K_1 – безрозмірний коефіцієнт, що залежить від температури сушіння й глибини вакууму ($K_1 = 0,4 - 0,7$); K_2 – поправковий коефіцієнт часу, що залежить від величини вакууму ($K_2 = 0,6 \dots 1,3$).

Термоградієнтне сушіння ґрунтується на залежності поверхневого натягу рідини від температури. Для сушіння об'єкт поміщають на підставку з роликowymi ложементами й повільно обертають за допомогою спеціального електропривода навколо поздовжньої осі. Зовнішню поверхню з однієї сторони обігрівають інфрачервоними нагрівачами з параболічними відбивачами, а внутрішню – охолоджують продувкою сухим повітрям. При цьому по довжині капіляра зі стовпчиком рідини створюється градієнт температури, за рахунок якого порушується рівновага сил поверхневого натягу в капілярі, стовпчик рідини з нього проштовхується до поверхні матеріалу й випаровується. Крім того, у тонких капілярах діє ефект Кнудсена – явище перетікання за однакових тисків розрідженого газу крізь пори (малі отвори) від більш низької до більш високої температури. Градієнт температури має напрямок (рис. 1.2).

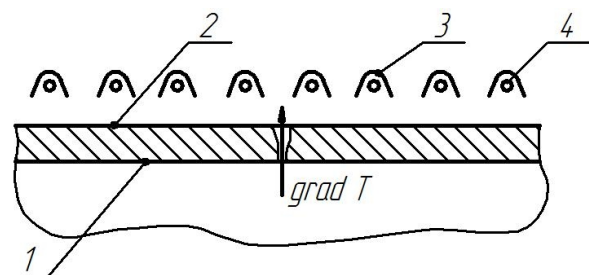


Рис. 1.2. Схема термоградієнтного сушіння:

1, 2 – внутрішня й зовнішня поверхні вузла; 3 – рефlector; 4 – інфрачервоний нагрівач

В останні роки для розкриття мікронещільностей після всіх видів контакту з рідинами (миття, тарування, гідровипробування і т.д.) застосовується вакуумне термоградієнтне сушіння, що полягає в такому.

Залишковий тиск у вакуумних камерах підтримується на рівні $6,65 \cdot 10^3$ Па. За більш низьких тисків дуже ускладнюється теплопередача, через що можливе замерзання рідини в мікрокапілярах, за більш високих тисків – зменшується ступінь нерівноважного стану між пружністю парів рідини й навколишнього середовища. Температура нагрівання конструктивних поверхонь осушуваних вузлів з алюмінієвих сплавів, як основних матеріалів баків і паливних систем ракет, дозволяється не більше $353 \dots 373$ К ($80 \dots 100$ °C) на поверхні.

За однієї й тієї ж величини негерметичності тривалість сушіння залежить від температури, але оскільки величина останньої обмежена, то час сушіння зале-

жить тільки від товщини стінки осушуваного виробу. Тривалість сушіння визначається спеціальними діаграмами й становить від декількох годин до доби й більше (рис 1.3).

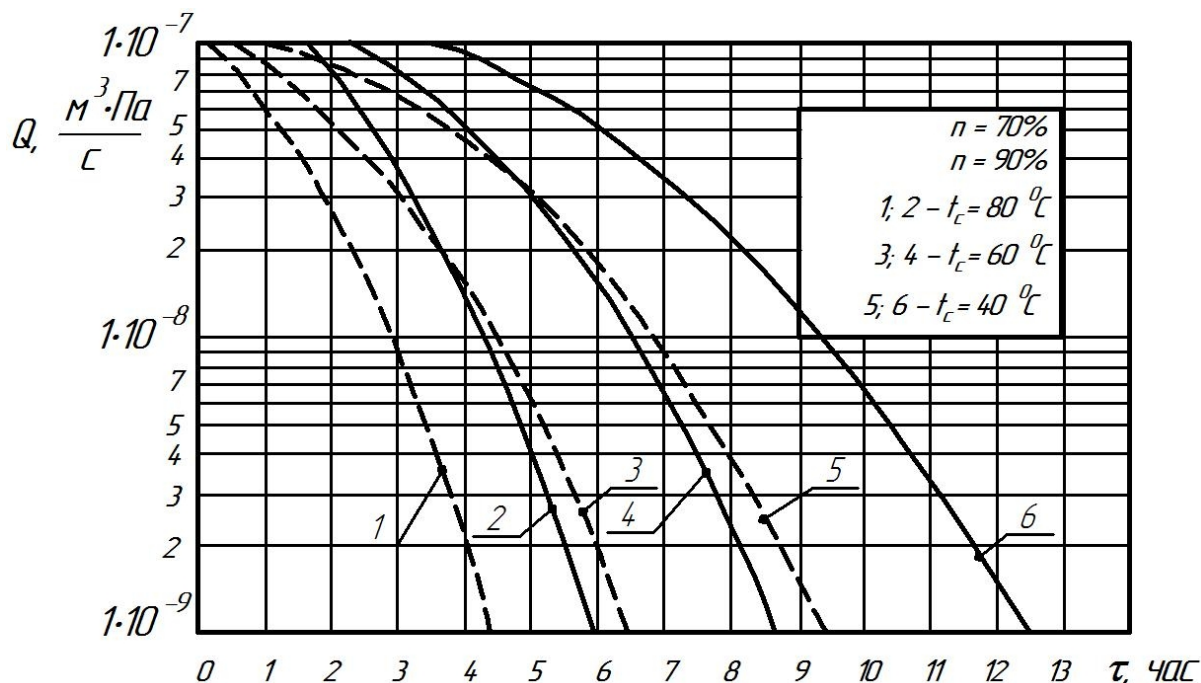


Рис. 1.3. Діаграма залежності тривалості сушіння τ від величини негерметичності Q (потік контрольного газу) для капілярів довжиною 5 мм і залишкового тиску в камері $6,65 \times 10^3$ Па:
 n – рівень розкриття капілярів, %; t_c – температури сушіння, $^\circ\text{C}$

Прискорити процес видалення рідини з наскрізних дефектів можливо, поєднавши вакуумування камери і нагрівання виробу з подачею надлишкового тиску в порожнині виробу. У цьому випадку рідинний поршень вологи в дефекті за рахунок перепаду тиску постійно піднімається до виходу дефекту й інтенсивно випаровується у вакуум.

Під час знаходження висушених виробів перед контролем на герметичність в умовах цеху можливе зменшення розмірів мікрокапілярів за рахунок сорбування вологи з повітря. Дійсно, спостерігається деяке зменшення потоків контрольного газу крізь негерметичності, що відповідають потоку $10^{-6} \dots 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$, у разі зберігання в умовах відносної вологості повітря 80% і вище протягом 30 діб, а негерметичності, що відповідають потоку $10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$ і менші за таких умов можуть закриватися зовсім. А тому для особливо важливих з погляду герметичності вузлів і агрегатів ракетно-космічних літальних апаратів проміжок часу між сушінням і контролем герметичності повинен бути обмеженим.

У галузевих стандартах задане обмеження часу зберігання об'єктів випробувань від закінчення сушіння до проведення випробувань на герметичність, яке залежить від установленого конструкторською документацією ступеня негерметичності об'єкта випробування.

З наведеного вище необхідно зробити висновок – підготовка до випробу-

вань на герметичність є не менш відповідальним процесом, ніж сам процес контролю герметичності.

1.6. Загальна класифікація методів випробування на герметичність виробів ракетно-космічної техніки

Відповідно до встановленої в Державних стандартах класифікації видів і методів неруйнівного контролю методи контролю герметичності ґрунтуються на проникності індикаторних рідинних або газоподібних середовищ крізь нещільності в посудинах з подальшою їх реєстрацією. Проникність індикаторних середовищ обумовлена або перепадом тисків, або капілярними силами, відповідно до чого всі методи контролю герметичності й течешування діляться на компресійні, вакуумні й капілярні. У кожному із цих методів можливе застосування однакових засобів індикації первинної інформації. Із цих позицій всі методи можна об'єднати в чотири класифікаційні групи: компресійні, вакуумні, хімічні й мас-спектрометричні.

Часто спосіб індикації найбільш повно характеризує метод контролю герметичності, і метод у цілому має назву методу індикації незалежно від значення перепаду тисків. Наприклад, мас-спектрометричний метод контролю герметичності називається саме так через спосіб індикації. З урахуванням зазначеного перелік згаданих методів контролю герметичності і їх розподіл на групи можна подати таким чином (рис. 1.4). У сукупності ці методи дозволяють визначати як сумарну, так і локальну негерметичність. Проте наведена класифікація не повна, оскільки всі методи випробувань мають реальні принципи дії й призначені для різноманітних технологічних завдань у конкретних умовах виробництва. У зв'язку з тим що назви методів склалися історично й не мають єдиної принципової основи, заслуговує на увагу наступна умовна класифікація, в основі якої п'ять рівнів (рис. 1.5).

Перший рівень визначається за *агрегатним станом контрольного середовища*. Залежно від рідинного або газоподібного стану контрольного середовища, що перебуває під випробним тиском у порожнинах виробу, всі методи розділені на *газові й гідролічні*. Агрегатний стан контрольного середовища має принципове значення під час розробки схеми випробувань, складу встаткування, режимів випробування.

Другий рівень – за *призначенням методів*: методи випробувань на сумарну герметичність і методи випробувань на локальну герметичність.

Третій рівень – за *можливістю методів визначати течі з використанням спеціальних пробних речовин, що додаються в контрольні середовища або без них*. Ця ознака характерна для газових і гідролічних методів випробувань.

В основі четвертого рівня класифікації лежить *спільність методів за принципом індикації витоку контрольного середовища*. Методи випробувань на герметичність різняться за фізичним принципом реєстрації витоку пробної речовини. За умовами реалізації принципу індикації витоку контрольного середовища методи випробувань можна розділити на чотири групи: гідрогазодинамічні, газоаналітичні, манометричні й хімічні.



Рис. 1.4. Класифікації методів контролю герметичності за назвою методу індикації

П'ятий рівень представлений *способами здійснення методів випробувань на герметичність*.

Залежно від параметрів технологічних процесів випробувань, а також конструктивно-технологічних особливостей об'єкта випробувань методи контролю, не змінюючи фізичної сутності, можуть бути реалізовані атмосферним або вакуумним способом. У разі вакуумного способу реалізації методів контролю герметичності витік контрольованого середовища крізь течії об'єкта випробувань відбувається у вакуумну порожнину схеми випробувань, а за атмосферного – в атмосферу або середовище, що перебуває під тиском, не нижчим атмосферного.

1.7. Манометричні методи контролю герметичності

Манометричні методи передбачають оцінку негерметичності випробовуваного виробу за зміною тиску в ньому або в камері, що оточує цей виріб, за допомогою манометричної (вакуумметричної) апаратури. Методи контролю за зміною тиску застосовують головним чином для попередніх випробувань об'єктів з метою виявлення порівняно великих наскрізних дефектів. Самостійно ці методи застосовують для контролю герметичності виробів, коли вимоги до порога чутливості не перевищують $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$ і можуть бути досягнуті під час контролю герметичності дрібних виробів.

В останні роки, у зв'язку з розвитком техніки контролю малих змін тиску й температури, можливості манометричних методів розширюються.



Рис. 1.5. Класифікація методів контролю герметичності

Групу манометричних методів складають компресійні й вакуумно-деформаційні методи контролю герметичності.

Компресійні методи

Найпоширенішим способом манометричного контролю герметичності виробів, заповнених газом, є спосіб, заснований на визначенні *величини спаду тиску газів* у цих виробах за одиницю часу. Найбільш простий варіант реалізації даного способу — прямий вимір зміни тиску у випробовуваному виробі (рис. 1.6).

Випробування в цьому випадку зводяться до створення у випробовуваному виробі надлишкового випробного тиску контрольованого газу, після чого виріб від'єднують від джерела тиску (закривають вентиль 3) і через час Δt знову контролюють величину тиску у виробі. Величину негерметичності виробу ($Q_{ВИР.}$) визначають за формулою

$$Q_{ВИР.} = \frac{DP}{Dt} V_{ВИР.},$$

де $Q_{ВИР.}$ — негерметичність виробу, $\text{м}^3 \text{Па/с}$; DP — зменшення тиску у виробі за час Δt , Па; $V_{ВИР.}$ — внутрішній об'єм виробу, м^3 ; Δt — час витримки, с.

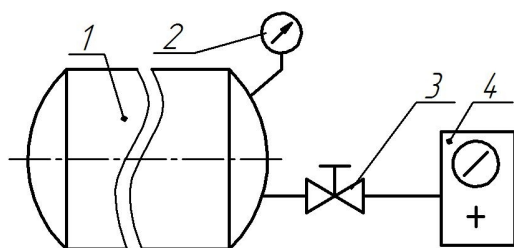


Рис. 1.6. Принципова схема випробувань способом спаду тиску у варіанті прямого виміру:

1 – об'єкт випробувань; 2 – контрольний манометр;
3 – запірний вентиль; 4 – пневмопульт (джерело тиску)

При цьому мінімальний, достовірно реєстрований перепад тиску (ΔP) в інтервалі часу Δt вибирають залежно від вимог конструкторської документації до норм герметичності випробовуваного виробу, об'єму його внутрішньої порожнини і виробничих умов випробувань.

Спосіб спаду тиску досить простий у реалізації й загальнодоступний для оцінки негерметичності всього об'єкта випробувань. Однак поріг чутливості способу, що не перевищує $10^{-3} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$, перебуває в тісній залежності від стабільності параметрів зовнішнього середовища, зокрема від температури, атмосферного тиску, а також від конструкторських особливостей об'єкта випробувань. Зміна температури газу в порожнині виробу в процесі випробувань вносить як випадкову, так і систематичну похибки в оцінку ступеня негерметичності об'єкта, що в загальному випадку вимагає урахування зміни температури та її компенсацій.

Величину негерметичності виробу в цьому випадку визначають за формулою

$$Q_{\text{ВИР.}} = \frac{DP}{Dt} V_{\text{ВИР.}} \pm Q_{\text{ВИР.}} \cdot f(DT, DV),$$

де $Q_{\text{ВИР.}} \cdot f(DT, DV)$ – похибка, що виникає через зміну температури в порожнині виробу в процесі випробувань, а також через зміну об'єму внутрішньої порожнини виробу від дії випробувального тиску.

Для підвищення точності визначення ступеня негерметичності параметр ΔP необхідно розраховувати за формулою

$$DP = P_1 - P_2 \left(1 + \frac{t_1 + t_2}{273 + t_1}\right) - (P'_A - P''_A),$$

де P_1 і P_2 – відповідно початковий і кінцевий тиск у виробі, Па; t_1 і t_2 – відповідно температура газу у виробі на початку і в кінці випробувань, $^{\circ}\text{C}$; P'_A і P''_A – відповідно атмосферний тиск на початку і в кінці випробувань, Па.

Для підвищення точності вимірювання негерметичності за спадом тиску у виробі використовують еталонну посудину, у якій фіксується початковий тиск газу перед витримкою (рис. 1.7). За еталонну беруть посудину із високим ступенем герметичності.

Під час цих випробувань реєструють не падіння тиску у виробі, а перепад тиску (ΔP) між еталонною посудиною й виробом за показниками диференціального манометра (3) за час витримки (Δt). Величину ступеня негерметичності розраховують за формулою

$$Q_{\text{ВИР.}} = \frac{DP}{Dt} \cdot V_{\text{ЕТ.}},$$

де V_{ET} – об'єм внутрішньої порожнини еталонної посудини, м^3 .

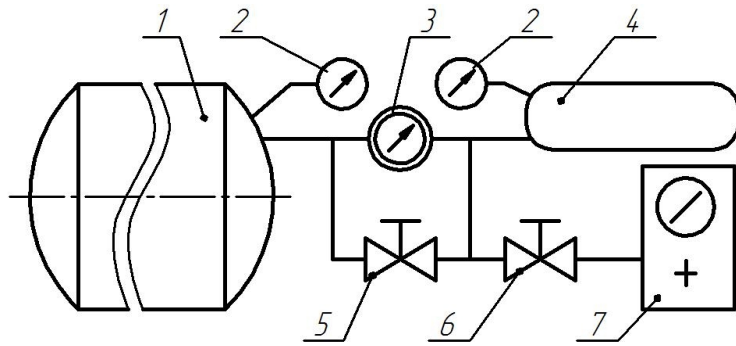


Рис. 1.7. Принципова схема випробувань способом спаду тиску з використанням еталонної посудини:
 1 – випробуваний виріб; 2 – контрольний манометр; 3 – диференціальний манометр; 4 – еталонна посудина;
 5, 6 – вентиль запірний;
 7 – пневмопульт

Необхідно відзначити, що у разі використання цієї схеми випробувань виключається вплив нестабільності атмосферного тиску за параметром ΔP .

Іншим способом, що реалізує компресійний метод контролю герметичності, є *спосіб підвищення тиску у вакуумній порожнині*. Спосіб передбачає два варіанти: створення вакууму всередині об'єкта випробувань (рис. 1.8) або в порожнині вакуумної камери, у яку він уміщений (рис. 1.9).

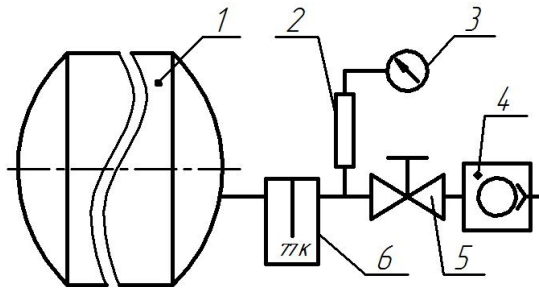


Рис. 1.8. Принципова схема компресійного методу контролю герметичності шляхом створення вакууму всередині об'єкта випробування:
 1 – об'єкт випробувань; 2 – датчик вакууму;
 3 – вакуумметр; 4 – засоби вакуумування; 5 – вакуумний вентиль; 6 – азотна пастка

Перший варіант (рис. 1.8) передбачає створення вакууму всередині об'єкта випробування (1), порядку $10^{-1} - 10$ Па, за допомогою засобів вакуумування (4), потім перекриття відкачки вакуумним вентилем (5) і реєстрацію зміни тиску в порожнині об'єкта датчиком (2) і вакуумметром (3). Ступінь негерметичності об'єкта визначається за результатами натікання атмосфери в його порожнину за час витримки (Δt).

Однак зміна тиску (вакууму) у внутрішній порожнині об'єкта відбувається й за рахунок газовідділення з його стінок. Тому в схемі течошукання передбачена азотна пастка (6), що конденсує частину парів і газів, які виморожуються, чим зменшує систематичну похибку оцінки негерметичності. Розрахунок ступеня негерметичності об'єкта виконується за формулою

$$Q_{ВИР.} = 0,95 \frac{DP}{Dt} V_{ВИР.},$$

де $Q_{ВИР.}$ – негерметичність виробу, $\text{м}^3 \text{Па/с}$; 0,95 – коефіцієнт, що характеризує ефективність азотної пастки; ΔP – зміна тиску у виробі за час Δt , Па; $V_{ВИР.}$ – внутрішній об'єм виробу, м^3 ; Δt – час витримки, с.

Другий варіант (рис. 1.9) передбачає створення вакууму порядку $10^{-1} \dots 10^{-7}$ Па усередині вакуумної камери (7), у яку вміщений об'єкт випробувань (1), за допомогою засобів відкачки (4).

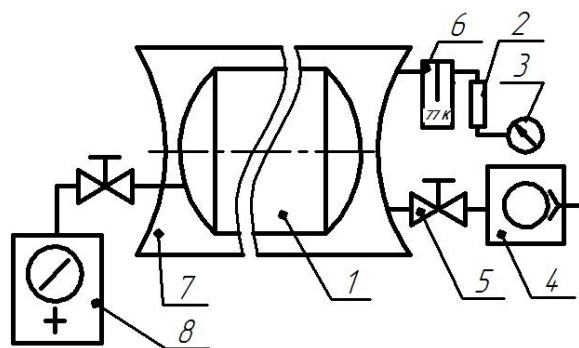


Рис. 1.9. Принципова схема компресійного методу контролю герметичності шляхом створення вакууму всередині вакуумної камери:

1 – об’єкт випробувань; 2 – датчик вакууму;
3 – вакуумметр; 4 – засоби вакуумування [вакуумний (і) насос (и)]; 5 – вакуумний вентиль;
6 – азотна пастка; 7 – вакуумна камера;
8 – пневмопульт

Методика оцінки ступеня негерметичності об’єкта, на відміну від попереднього варіанта, реалізується двома етапами.

На першому етапі відключення системи відкачки вакуумної камери й визначення швидкості зміни тиску в ній за допомогою датчика (2) і вакуумметра (3) відбувається за атмосферного тиску в порожнині об’єкта випробування.

На другому етапі аналогічна операція виконується за випробного тиску в об’єкті випробувань. Тоді оцінка ступеня негерметичності об’єкта набуде такого вигляду:

$$Q_{\text{вип.}} = 0,95 \left[\left(\frac{DP}{Dt} \right)_P - \left(\frac{DP}{Dt} \right)_{AT} \right] V_{\text{ВПК}},$$

де 0,95 – коефіцієнт, що характеризує ефективність азотної пастки; $\left(\frac{DP}{Dt} \right)_P$ і

$\left(\frac{DP}{Dt} \right)_{AT}$ – відповідно зміни тиску в порожнині вакуумної камери за випробного й атмосферного тиску всередині об’єкта за час Δt , Па/с; $V_{\text{ВПК}} = V_{\text{БК}} - V_{\text{ЗОВН. ВИП.}}$ – вакуумована порожнина камери, м³; $V_{\text{БК}}$ – внутрішній об’єм вільної вакуумної камери, м³; $V_{\text{ЗОВН. ВИП.}}$ – зовнішній об’єм виробу, м³.

Третій спосіб, що реалізує компресійний (манометричний) метод контролю герметичності, називається *способом порівняння з контрольною течєю*. Цей спосіб передбачає створення вакууму всередині об’єкта випробування порядку $10^{-1} - 10$ Па й оцінку величини усталеного потоку контрольного газу, що надходить із об’єкта шляхом порівняння його з потоком газу від контрольної течі. При цьому усталеним вважається потік контрольного газу, що залишається незмінним протягом однієї години.

Принципова схема контролю герметичності способом порівняння з контрольною течєю подана на рис. 1.10.

В об’єкті випробування (8) попередньо насосом (13) створюється вакуум порядку 10 Па, який вимірюється за допомогою датчика (4) і вакуумметра (5), а потім високовакуумним засобом відкачки (1) до усталеного значення показань вакуумметра (5).

Досягнута величина залишкового тиску P у посудині (3) фіксується, відкачка об’єкта випробувань припиняється (перекривається вентиль 7) і на вимірювальну систему подається потік від контрольної течі (9), яка слугує пристроєм, що

відтворює певну регульовану витрату газу. Величина потоку течі (Q_{KT}) залежить від тиску (P_{BX}), подаваного на вхід течі. За відомою з паспорта течі каліброваною залежністю $Q_{KT} = f(P_{BX})$ підбирається такий потік, що створює в додатковій посудині (3) тиск, рівний P . Натікання повітря в об'єкт випробування приймається рівним потоку від контрольної течі: $Q_{ВИР.} = Q_{KT}$.

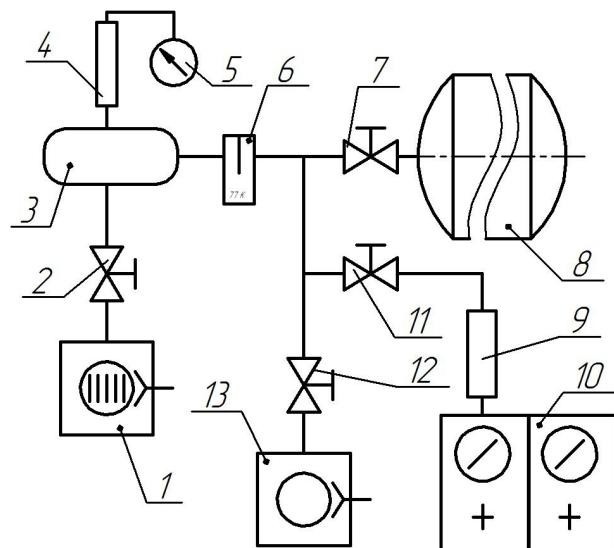


Рис. 1.10. Принципова схема компресійного контролю герметичності способом порівняння з контрольною течєю:
 1 – високовакуумні засоби відкачки; 2, 7, 11, 12 – вакуумні вентиля; 3 – додаткова посудина; 4 – датчик вакууму; 5 – вакуумметр; 6 – азотна пастка; 8 – об'єкт випробування; 9 – регульована контрольна течя; 10 – пневмопульт для подачі тиску на контрольну течю; 13 – вакуумний насос

Поріг чутливості способу порівняння з контрольною течєю перебуває в тісній залежності від габаритів об'єкта й становить для об'єктів об'ємом до декількох літрів $10^{-7} - 10^{-4} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$, для об'єктів об'ємом більше $1 \text{ м}^3 - 10^{-4} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Обмеженням у застосуванні манометричних методів можуть бути конструктивні особливості об'єкта випробувань – наявність матеріалів і елементів, здатних виділяти (або поглинати) контрольний газ.

Вакуумно-деформаційний метод випробувань на герметичність

Сутність вакуумно-деформаційного методу випробування на герметичність полягає в тому, що виріб уміщують у вакуумну камеру, у порожнині якої створюють розрідження й вимірюють величину пружної деформації корпусу виробу, яка відбувається під дією різниці тиску. Про герметичність виробу судять за зміною величини пружної деформації корпусу виробу протягом певного проміжку часу.

Метод варто застосовувати під час контролю сумарної негерметичності заповнених газом до атмосферного або невеликого надлишкового тиску виробів, здатних до деформації під впливом різниці тисків приблизно в 98 кПа.

Метод застосовують для виявлення теч, еквівалентний нормалізований потік газу крізь які більший $6,7 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Рекомендована принципова схема випробувань вакуумно-деформаційним методом наведена на рис. 1.11.

Випробування виробу на герметичність проводять у такій послідовності.

Розміщують виріб 3 на пристосуванні 8 таким чином, щоб наконечник вимірювального пристрою 1 зіткнувся з корпусом виробу в місці, вказаному в конструкторській документації, де є достатня для вимірювання деформація оболонки виробу. Якщо конструкторська документація не вказує місце вимірювання дефо-

рмації, то його визначають експериментально в процесі відпрацювання технологічного процесу випробувань.

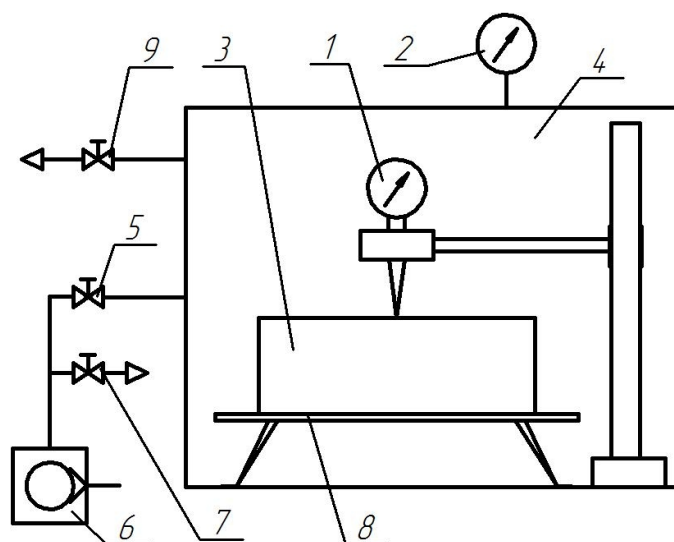


Рис. 1.11. Принципова схема установки для випробувань виробів на герметичність вакуумно-деформаційним методом:

1 – пристрій вимірювальний; 2 – вакуумметр; 3 – виріб; 4 – вакуумна камера; 5, 7, 9 – вентилі вакуумні; 6 – вакуумний насос; 8 – пристосування для установки виробу

Установлюють початкові показання вимірювального пристрою таким чином, щоб під час проведення контролю зміни в показаннях не виходили за межі шкали.

Закривають кришку вакуумної камери 4, відкривають вентиль 5 і роблять відкачку камери до тиску, допустимого за технічними умовами на виріб, але не більше 1,33 кПа (10 мм рт. ст.), за допомогою насоса 6. Тиск контролюють вакуумметром 2. Під час відкачки камери спостерігають за зміною показань вимірювального пристрою.

Після досягнення заданого розрідження в камері фіксують величину деформації Y_0 корпусу виробу, після чого спостерігають за показаннями вимірювального пристрою протягом інтервалу часу t_g . Тиск у вакуумній камері в процесі витримки протягом часу t_g повинен бути стабільним.

Допускається збільшення тиску у вакуумній камері за період витримки на величину, що визначається за формулою

$$DP_{вк} = \frac{|DY|DP}{Y_0},$$

де $DP_{вк}$ – допустиме підвищення тиску у вакуумній камері за час t_g , Па; DP – перепад між тиском у порожнині контрольованого виробу й у вакуумній камері, Па; $|DY|$ – величина, установлювана відповідно до розрізнявальної здатності вимірювального пристрою або прийнята більшою за розрізнявальну здатність вимірювального пристрою, виходячи зі зручності вимірів або розрахунків, мкм; Y_0 – максимальна величина деформації корпусу виробу, мкм.

По закінченні часу t_g фіксують величину деформації Y корпусу виробу, виконують розгерметизацію камери, попередньо заклавши вентиль 5 і відкривши вентиль 9.

Визначають величину зміни деформації корпусу виробу за формулою

$$DY_{змін} = Y_0 - Y.$$

Виріб вважається негерметичним у кожному з таких випадків:

– якщо під час створення розрідження в камері показання вимірювального пристрою не змінилися в межах, визначених варіацією показань вимірювального пристрою;

– якщо під час створення розрідження показання вимірювального пристрою спочатку збільшилися, досягнувши максимального значення, а у разі витримки виробу за незмінного за величиною розрідження почали зменшуватися.

По закінченні випробувань виріб витягають із камери, виключають насос 6, заповнюють насос повітрям, відкривши вентиль 7.

Якщо виникає потреба, то розраховують негерметичність виробу за формулою, правдивою за умови $0 < \frac{Y_0}{Y} \leq 2$:

$$Q = Q_{don} \frac{\left(DY - DP_{вк} \frac{Y}{DP} \right) (Y_0 - |DY|)}{|DY| \left(Y_0 + DP_{вк} \frac{Y_0}{DP} - DY_{змін} \right)},$$

де Q – сумарний потік газу крізь мікронещільності корпусу виробу, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$; Q_{don} – допустима величина течії виробу, задана в технічній документації, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$.

Час витримки виробу в камері після досягнення заданої величини розрідження визначають за формулою

$$t_{\text{в}} = \frac{9,8 \times 10^4 \times V}{Q_{don}} \times \frac{|DY|}{Y},$$

де $t_{\text{в}}$ – час витримки виробу в камері, с; V – внутрішній об'єм виробу, заповнений газом, м^3 .

1.8. Гідрогазодинамічні методи контролю герметичності

У гідрогазодинамічних методах для індикації витоків контрольних середовищ використовують різні види фізичної взаємодії контрольних середовищ і середовищ індикації з утворенням візуального ефекту.

Групу гідрогазодинамічних методів контролю герметичності складають пухиркові і гідравлічні методи.

Пузиркові методи

У разі пухиркового методу течошукування контроль здійснюється шляхом занурення виробу в рідину або покриття контрольованих ділянок виробів піноутворювальними розчинами з подальшою реєстрацією бульбашок, що утворюються. Методи дозволяють не тільки знаходити місця теч, але й судити про їх величину за швидкістю утворення й розмірами бульбашок.

Метод акваріума полягає в тому, що випробуваний виріб, попередньо наповнений контрольним газом до тиску 10 – 20% від випробного, занурюють у ванну з технологічною (індикаторною) рідиною на глибину 50 – 200 мм. Після чого виріб дозаповнюють контрольним газом до випробного тиску, витримують

не менш 3 хв і оглядають. Періодична поява бульбашок свідчить про наявність течі (рис. 1.12).

Величина локальної течі визначається за емпіричною формулою

$$Q_l = \frac{5,32 \cdot 10^{-3} \cdot d^3 \cdot n}{t_c},$$

де Q_l – величина локальної течі, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$; d – діаметр бульбашки в момент відриву, мм; n – кількість бульбашок, що утворились за час спостереження t_c , с.

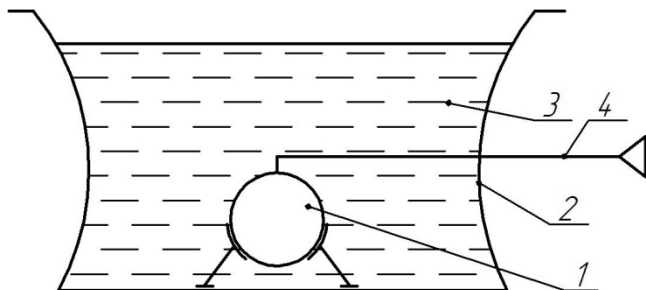


Рис. 1.12. Принципова схема контролю герметичності методом акваріума:

1 – об'єкт випробувань; 2 – посудина;
3 – індикаторна рідина;
4 – система подачі контрольного газу

Залежно від вимог до контролю герметичності й особливостей виробу як індикаторне середовище можуть застосовуватися різні рідини: вода, розчини поверхнево-активних речовин, спирт, хладон, гас, масло й т.ін. Чим нижча в'язкість індикаторного середовища, тим вища чутливість (табл. 1.3).

Чутливість методу акваріума залежить від в'язкості технологічної рідини (індикаторного середовища) і глибини занурення виробу в рідину.

Як контрольний газ переважно використовують повітря або азот. Чутливість методу можна підвищити, якщо як контрольний газ використовувати газ із коефіцієнтом в'язкості меншим, ніж у повітря й азоту (наприклад, водень).

Таблиця 1.3

Чутливість методу залежно від застосовуваної рідини

Застосовувана рідина	Чутливість
Вода	$1,33 \cdot 10^{-5} \dots 6,65 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$
Вода з ПАВ	$6,65 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$
Спирт	$1,33 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$
Водно-спиртові розчини	$6,65 \cdot 10^{-8} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$

Якщо визначення кількості бульбашок, що виділяються, або їх діаметра викликає практичні труднощі, необхідно застосовувати мірну посудину, заповнену індикаторним середовищем і розміщену над місцем течі так, щоб її нижній відкритий кінець охоплював (накривав) місце виділення бульбашок і перебував нижче рівня рідини у ванні. Рівень індикаторного середовища в мірній посудині повинен бути вищий за рівень рідини у ванні. Контрольний газ, що виходить з течі, при натіканні в мірну посудину викликає зниження рівня індикаторного середовища в ній. Підрахунок величини негерметичності виконують враховуючи зміни рівня рідини за емпіричною формулою

$$Q = 0,8 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{d(h_1 - h_2)}{t_c},$$

де Q – фактична негерметичність, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; d – внутрішній діаметр мірної посудини, мм ; t_c – час спостереження (спаду рівня рідини в мірній посудині), с ; h_1 і h_2 – початковий і кінцевий рівні рідини в мірній посудині, мм .

Якщо мірна посудина проградуйована в одиницях об'єму, то є можливість визначити величину негерметичності як об'ємну витрату газу за формулою

$$Q = \frac{\Delta V}{t_c},$$

де Q – величина негерметичності, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; ΔV – об'єм витиснутої рідини з мірної посудини за час t_c ;

Підвищити чутливість методу акваріума можна за рахунок вакуумування об'єму над дзеркалом технологічної рідини – *спосіб бароакваріума* (рис. 1.13).

Усуваючи в такий спосіб вплив атмосферного тиску на утворення бульбашок, знижують тиск, достатній для їх утворення.

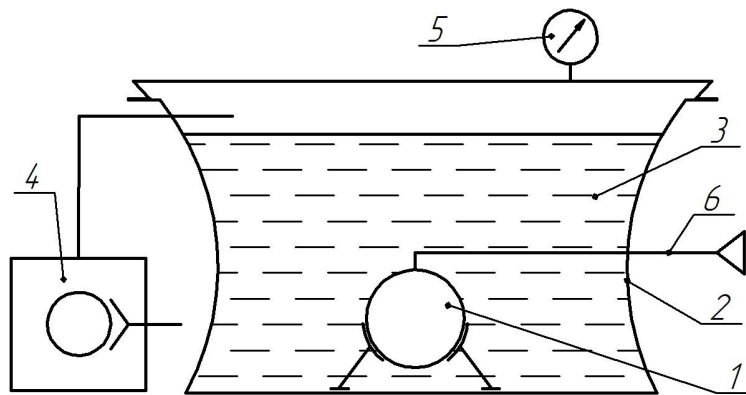


Рис. 1.13. Принципова схема контролю герметичності способом бароакваріума:

1 – об'єкт випробування;
2 – посудина; 3 – індикаторна рідина;
4 – вакуумний насос; 5 – вакуумметр;
6 – система подачі контрольного газу

У процесі підготовки до випробувань на герметичність необхідно робити знегажування технологічної рідини, поверхонь виробу й робочої посудини бароакваріумної установки. Знегажування виконується шляхом вакуумування.

У виробі із замкнутим об'ємом тиск уже не може бути підвищений за рахунок нагнітання газу ззовні. Одним з можливих шляхів збільшення тиску – підвищення температури газу в ньому, для чого випробовуваний виріб занурюють у нагріту рідину. Теплоємність рідини і її кількість повинні бути такими, щоб занурення холодного виробу не викликало переключення температурного режиму рідини, а виріб набув температури навколишнього середовища.

Зміна тиску в замкнутому обсязі, викликана зміною його температури, виражається рівнянням

$$\frac{P_2 - P_1}{P_1} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \Rightarrow DP = P_1 \cdot DT \frac{1}{T_1},$$

де P_1 – початковий тиск у виробі; T_1 – початкова абсолютна температура газу; P_2 і T_2 – значення тих же параметрів після нагрівання; DP – надлишковий тиск; DT – зміна температури виробу.

Обмеженням температури нагрівання виробу служить поведінка нагрітої рі-

дини. Тому вибір технологічної рідини визначається в основному температурою її кипіння. Вода може бути нагріта без утворення бульбашок до температури 353 К (80°C), так що надлишковий тиск у зануреному в неї виробі становить 20 кПа.

Вибираючи метод проведення випробувань на герметичність із зануренням виробу в рідину, необхідно в процесі конструкторсько-технологічного аналізу виробу встановити:

- допустимість контакту з технологічною рідиною;
- можливість зовнішнього вакуумування й навантаження надлишковим тиском;
- можливість і способи видалення залишків технологічної рідини з поверхонь після випробувань;
- наявність щілин, пористих матеріалів, здатних виділяти бульбашки повітря, що помилково створюють ефект течі;
- допустимість технологічного нагрівання виробу в процесі проведення випробувань.

Спосіб мундштука. Під час контролю герметичності виробів типу клапанів, редукторів, ущільнень і т. ін., контрольовані порожнини яких не мають безпосереднього контакту з рідиною, випробування пузирковим методом повинні проводитися способом мундштука.

Сутність способу полягає в тому, що до вихідного штуцера випробовуваного виробу приєднується шланг (трубка) із внутрішнім діаметром 4-6 мм і довжиною не більше 500 мм. Після заповнення виробу контрольним газом до випробного тиску другий (вільний) кінець приєднаного шланга (трубки) занурюють у рідину на глибину не більше 5 мм. За кількістю бульбашок, що виділяються зі шланга, судять про ступінь герметичності виробу.

Час витримки береться від моменту після занурення шланга в рідину й до моменту появи першої бульбашки або визначається за формулою

$$t = 7,51 \times 10^2 \frac{V}{Q},$$

де V – об'єм «накопичення» (вільний об'єм порожнини випробовуваного виробу й технологічного оснащення), м³; Q – технологічний ступінь герметичності, м³ Па/с.

Коли візуальний підрахунок бульбашок, що утворюються, і замір їх розмірів не викликають труднощів, величина фактичного ступеня негерметичності розраховується за формулою

$$Q = \frac{5,32 \cdot 10^{-3} \cdot d^3 \cdot n}{t_c},$$

де Q – величина течі, м³·Па/с; d – діаметр бульбашки в момент відриву, мм; n – число бульбашок, що утворились за час t_c ; t_c – час спостереження, с.

Якщо неможливо підрахувати кількість бульбашок, що виділяються, і їх діаметр або коли в конструкторській документації технологічна норма герметичності задана потоком контрольного газу, необхідно застосовувати витратоміри (наприклад: ротаметри, кубикоміри, пінні витратоміри, мікровитратоміри й т. ін.).

Подача (скидання) тиску у виріб у разі опущеного в рідину або приєднаного

до витратоміра шланга не рекомендується, щоб уникнути підсмоктування рідини у виріб.

Пузиркові методи не слід застосовувати, коли виріб містить у своєму складі конструктивні матеріали й елементи, здатні виділяти (поглинати) контрольний газ, або температура виробу змінюється в процесі випробувань.

Методи пінного індикатора і дисперсної маси

Відповідно до цих методів контролю герметичності на контрольовані ділянки виробу наноситься тонкий шар спеціальної пінної маси. За наявності надлишкового тиску у виробі контрольний газ, проникаючи крізь мікродефекти, механічно впливає на масу, накопичуючись у місці дефекту, викликаючи її деформацію – утворення пазирів або пінних здуттів – дрібних пазирчиків або кратерів оголених ділянок, які фіксуються візуально. Як контрольний газ застосовують стиснене повітря або азот.

У більшості випадків до складу мас, використовуваних для контролю локальної герметичності, входять водні розчини поверхнево-активних речовин, здатні утворювати на контрольованих поверхнях міцні шари маси. Залежно від складу маси, що деформується, розрізняють два основні методи контролю:

- метод пінного індикатора (омилування);
- метод дисперсної маси.

Метод пінного індикатора (омилування) широко застосовується у виробництві для випробування виробів з низькою чутливістю або як попередній метод для знаходження грубих теч. Значне поширення методу обумовлене простотою технології випробування, дешевизною й недефіцитністю використовуваних матеріалів, широкою сферою застосування (для контролю герметичності суцільного металу, зварних швів, рознімних з'єднань).

Разом з позитивними сторонами даний метод має невисоку чутливість, що дорівнює $5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$, та не дає можливості контролювати великі площі суцільного металу.

Фіксація локальних теч заснована на візуальному спостереженні за виникненням і ростом пазирчиків (зафіксованих), що утворюються в процесі контролю герметичності в зоні дефекту. Для надійного виявлення локальної течі необхідно, щоб видимий діаметр зафіксованого пазирчика (D) перевищував діаметр (d) елементарної чарунки пінної маси не менше ніж у 3 рази, тобто $D \geq 3d$.

Метод пінного індикатора можна реалізувати із застосуванням пінної маси, приготовленої на водному розчині піноутворювальних речовин. Варто звернути увагу, що вибору піноутворювальної речовини повинне передувати корозійне випробування матеріалу конструкції з використанням піноутворювальної речовини.

Реакція пінної маси на витік контрольного газу перед її використанням перевіряється у виробничих умовах за контрольною течєю. Після нанесення пінної маси шаром 1,5 – 2 мм на контрольну течу протягом не більше 2 хв повинна чітко фіксуватися негерметичність.

Нанесення пінної маси на контрольовану поверхню роблять пензлем рівним шаром без пропусків товщиною 1,5 – 2 мм (контроль візуальний). Не допускається утворення помилкових пазирів (значно більших за розміром, ніж пазирковий

фон і які не збільшуються з часом). Помилкові пузири видаляються пензлем, і на їх місце знову наноситься пінна маса.

Під час контролю герметичності з'єднань із накидною гайкою (ніпельні) масу наносять по обидва боки гайки, а за наявності на гранях гайки контрвальних отворів і на ці отвори. Під час контролю герметичності фланцевих з'єднань пінну масу поміщають у міжфланцевий зазор, на головки й гайки стягувальних болтів, у зазор між накидним фланцем і трубою. Через 3 – 5 хв після нанесення пінної маси на контрольовану поверхню виконується її зовнішній огляд (візуальний контроль).

Виріб вважається таким, що витримав випробування на герметичність, якщо в процесі самого нанесення пінної маси й після витримки не виявлено пузирів (здуттів, спінення), свищів, оголених ділянок. Контроль візуальний.

Масу з контрольованих поверхонь виробу видаляють після зниження в ньому тиску до значення, що відповідає 10 – 20% випробного, але не перевищує 200 кПа. Далі виріб протирають серветкою або м'яким пензлем, змоченим в воді з подальшим обдуванням поверхонь виробу сухим стисненим повітрям під тиском 400...600 кПа до повного видалення вологи. Наявність слідів піни після її видалення не допускається.

Метод пінного індикатора не слід застосовувати:

- для контролю фланцевих та інших рознімних з'єднань з периметром більшим за 150 мм;
- у разі неприпустимості контакту пінної маси з конструкційними матеріалами й елементами виробів;
- коли конструктивне виконання елементів, що перевіряються, не забезпечує можливість видалення пінного індикатора після випробувань;
- якщо обмежується вміст вологи в повітрі навколо виробу;
- для попередніх випробувань перед контролем високочутливим методом.

Метод дисперсної маси. Цей метод контролю герметичності широко застосовується в умовах виробництва під час випробування виробів з високою чутливістю. Суть і сфера його застосування аналогічна до методу пінного індикатора. Основна відмінність полягає в складі маси та її технологічних властивостях. До складу дисперсної маси входять: водний розчин піноутворювача, вологоутримувальний компонент, наповнювач, барвник, інгібітор корозії.

Порошкоподібний наповнювач, що утворює в рідкій фазі стійку суспензію, уводиться до складу дисперсної маси для підвищення в'язкості. Наявність наповнювача дозволяє також отримувати контрастне зображення пузиря на загальному фоні кольорового шару маси під час контролю герметичності (табл. 1.4).

На поверхню контрольованого виробу, що перебуває під попереднім надлишковим тиском повітря або іншого газу, наноситься тонкий шар маси, здійснюється нетривала витримка для утворення індикаторної плівки. У виробі створюється випробний тиск. Газ, проникаючи крізь негерметичності, здійснює певний тиск на плівку й викликає утворення пузирів або кратерів, що зберігаються й після скидання тиску у виробі. Місце негерметичності визначається візуально.

Таблиця 1.4

Склад і відносний вміст компонентів дисперсної маси

Компонент	Вміст компонентів, %
Сульфатат	12
Гліцерин дистильований	34
Діоксид титану (пігментний)	8
Каолін збагачений	20
Барвник органічний (метиловий блакитний хлоридгідрат)	0,2
Дихромат калію (хромпик)	0,15
Дистильована вода	25,65

Метод дисперсних мас має такі переваги:

- відносно висока чутливість $10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$;
- простий у виконанні, дешевий;
- безпечний у роботі, оскільки нанесення маси відбувається до подачі випробного тиску у виріб, а знаходження теч здійснюється після скидання тиску;
- універсальний, тобто може застосовуватися не тільки для контролю поверхонь, а й рознімних і зварних з'єднань.

Перед використанням дисперсна маса повинна проходити перевірку чутливості за контрольною течєю. Час реакції маси (утворення пухирчика діаметром приблизно 1,5 мм, якщо потік контрольного газу крізь контрольну течу $1,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3 \text{ Па/с}$) не більше 5 хв.

Метод не слід застосовувати:

- якщо недопустимий контакт дисперсної маси з конструкційними матеріалами виробів;
- коли конструктивне виконання складальних одиниць виробу, що перевіряються, не забезпечує видалення дисперсної маси після випробування;
- якщо існують технологічні труднощі, пов'язані з видаленням її з поверхні виробу;
- у разі контролю рознімних з'єднань і для попереднього випробування перед контролем високочутливим методом.

Для контролю герметичності виробів, в яких технологічно неможливо створити надлишковий тиск, іноді застосовують вакуумно-пузирковий метод контролю, за яким на контрольовану ділянку виробу наноситься піноутворювальний індикаторний розчин або шар дисперсної маси, і далі контрольована ділянка накривається прозорим вакуумним присосом. Внутрішню порожнину присоса вакуумують, створюючи таким чином перепад тиску повітря на контрольованій поверхні виробу. У місцях теч відбувається здуття індикаторного шару або утворення пухирчиків і кратерів, що вказує на негерметичність виробу.

Гідравлічні методи

У разі гідравлічних методів течешукування оцінка герметичності зводиться до реєстрації крапель або плям контрольної рідини в місцях теч на поверхні виробу, заповненого контрольною рідиною. Як контрольну рідину можна використовувати етиловий спирт, ацетон, воду, масло, гас й ін. Для кожної контрольної рідини

підбирається спеціальний індикатор у вигляді порошку або стрічок.

Гідравлічні методи дозволяють визначати як сумарну, так і локальну негерметичності. Чутливість методів у газовому еквіваленті становить від $1,3 \cdot 10^{-6}$ до $1,3 \cdot 10^{-9}$ м³·Па/с і залежить від часу витримки – від моменту заповнення об'єкта випробування контрольним середовищем до огляду.

До групи гідравлічних методів випробувань на герметичність можна віднести такі: газово-крейдовий, гідростатичний, сольватний і люмінесцентний.

Газово-крейдовий метод у практиці контролю герметичності набув досить широкого застосування як метод, що дозволяє проводити перевірку герметичності як об'ємних посудин, так і листових, штампованих і інших виробів.

На контрольовану поверхню виробу з одного боку наносять тонкий шар водно-крейдової суспензії (індикаторна речовина), а після її висихання з протилежного боку наносять гас (контрольна рідина). Гас під дією капілярних сил або надлишкового тиску проходить крізь течі й, контактуючи з крейдою, утворює на ній плями, за наявності яких судять про негерметичність виробу.

Малий поверхневий натяг й незначна в'язкість гасу сприяє хорошій змочуваності поверхні металу, а також порівняно швидкому руху гасу під дією капілярних і поверхневих сил як у мікродіфектах, так і на відкритих поверхнях. Гас також добре розчиняє масляні плівки, що закупорюють течі. Газово-крейдовий метод дозволяє провести тільки якісну оцінку локальних витоків крізь контрольовані елементи конструкцій, доступні візуальному огляду, при цьому наявність надлишкового тиску контрольованого середовища не обов'язкова.

Даний спосіб у виробничих умовах дозволяє виявляти локальні течі за газовими плямами на крейдовій обмазці з мінімальним діаметром діаметром 2,0 – 3,0 мм (табл. 1.5).

Таблиця 1.5

Застосування газово-крейдового методу

Еквівалентний потік повітря крізь течу, м ³ ·Па/с	Надлишковий тиск гасу, МПа	Порядок візуального огляду за товщиною контрольованого матеріалу	
		до 6,0 мм	до 25,0 мм
$7 \cdot 10^{-6}$ ($5 \cdot 10^{-2}$)	До 0,3	1. Через 1 - 2 хв після подачі тиску 2. Через 20 - 30 хв після подачі тиску	1. Через 1 - 2 хв після подачі тиску 2. Через 30 - 40 хв після подачі тиску
$7 \cdot 10^{-5}$ ($5 \cdot 10^{-1}$)	0	1. Відразу після нанесення гасу 2. Через 20 - 30 хв після нанесення гасу	1. Через 3 - 5 хв після нанесення гасу 2. Через 40 - 50 хв після нанесення гасу

Гідростатичний метод контролю полягає в тому, що об'єкт випробування, заповнений контрольною рідиною під тиском, установлюється в камері й витримується певний час. Контрольна рідина під дією різниці тисків і капілярних сил протікає крізь мікронещільності (течі) об'єкта випробування й випаровується в об'єм камери, звідки транспортується в індикаторний пристрій, де сорбується ін-

дикаторним складом, який виробляє сигнал про витік контрольної рідини.

На рис. 1.14, як приклад, наведений принцип установки контролю сумарної негерметичності об'єкта випробування, заповненого водою. Як індикаторний засіб варто застосовувати прозору трубку, заповнену індикаторним складом. Як такий використовують фільтрувальний папір, просочений 6%-м розчином двобромистого кобальту в дистильованій воді і висушений (при цьому колір повинен змінитися від рожевого до блакитного). Під дією водяної пари папір змінює колір знову на рожевий.

Процес контролю герметичності повинен проходити в такий спосіб.

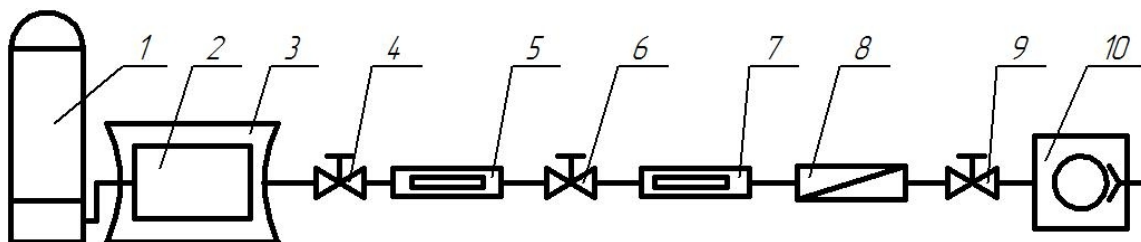


Рис. 1.14. Принципова схема установки контролю сумарної негерметичності об'єкта випробування, заповненого водою:

1 – джерело тиску контрольної рідини; 2 – об'єкт випробування; 3 – камера;
4, 6, 9 – вентилі; 5 – індикаторний засіб робочий; 7 – індикаторний засіб контролю; 8 – ротаметр; 10 – вакуумний насос

1. Перевірка герметичності системи випробувань.

Увімкнути насос 10, відкрити вентилі 4, 6 і встановити вентилем 9 максимальну витрату повітря 0,1 л/хв. Вакуумувати систему, доки робочий 5 і контрольні 7 зразки індикаторного паперу не стануть однакового кольору. При відсутності фону індикаторний папір повинен бути однакового блакитного кольору. Наявність фону (утворення рожевих плям) вказує на негерметичність схеми випробувань, у цьому випадку необхідно усунути негерметичність схеми випробувань і повторити операцію з перевірки фону.

2. Випробування на герметичність.

Відкрити вентилі 6, 9 і вакуумувати систему 1 – 2 хв. Закрити вентилі 4, 6, 9 і створити в об'єкті випробувань тиск відповідно до вимог конструкторської документації.

Відкрити вентиль 4 і через 15 хв визначити наявність течі за зміною кольору зразка індикаторного паперу в індикаторному засобі 5 порівняно з контрольним засобом 7. Якщо робочий зразок 5 індикаторного паперу має яскраве рожеве забарвлення, то об'єкт випробування негерметичний.

Місце течі під час випробування на герметичність гідравлічним методом можна визначити шляхом огляду або накладення фільтрованого паперу на поверхню, що перевіряється на герметичність, після певної витримки. Герметичність оцінюється залежно від наявності або відсутності краплі контрольного середовища або плям від нього на фільтрувальному папері, використовуваному як індикатор.

Одним з гідравлічних методів контролю локальної негерметичності є *сольватний метод*, за якого індикаторним засобом слугує суспензія барвника, розчи-

неного в контрольній рідині з утворенням яскравого забарвлення.

У разі промислового застосування даного методу на поверхню випробовуваного виробу, заповненого контрольною рідиною, наносять суспензію барвника або наклеюють індикаторний папір, що містить барвник. У випробовуваному виробі створюється надлишковий тиск, контрольна рідина, протікаючи на поверхню крізь наскрізні дефекти і контактуючи з індикаторним засобом, утворює пофарбовані плями, які є «слідами» течі.

Люмінесцентний метод також належить до гідравлічних і полягає в тому, що на поверхню виробу, який перевіряється, з однієї сторони наносять розчин люмінофору (контрольне середовище), який під дією капілярних сил проходить крізь течі на протилежну поверхню стінки виробу. У разі опромінення виробу ультрафіолетовими променями (звичайною кварцовою лампою) світний люмінофор укаже місце течі.

1.9. Газоаналітичні методи контролю герметичності виробів ракетно-космічної техніки

Газоаналітичні методи передбачають заповнення об'єкта випробування контрольним середовищем – газом, витікання якого крізь течі реєструється газоаналітичною апаратурою.

До газоаналітичних методів, що застосовуються у виробництві ракетно-космічної техніки, належать мас-спектрометричний і галогенний. Ці методи найбільш чутливі з погляду виявлення течі, але вимагають застосування більш складних устаткування й оснащення.

Мас-спектрометричні методи контролю герметичності

В основі цих методів лежить застосування мас-спектрометра для реєстрації парціального тиску пробного газу у вакуумній системі випробної установки або зміни його концентрації в атмосфері, яка оточує об'єкт випробування.

У разі випробування мас-спектрометричними методами як пробний газ застосовується здебільшого гелій, а як контрольне середовище – повітряно-гелієва або азотно-гелієва суміш. У виробництві вітчизняної ракетно-космічної техніки в основному використовується повітряно-гелієва суміш із 10%-м вмістом гелію.

В атмосфері міститься всього $5 \cdot 10^{-4}\%$ гелію, тому він має невисокий фон. Крім того, цей газ інертний і безпечний у роботі.

Для реєстрації пробного газу під час випробувань на герметичність мас-спектрометричним методом використовуються пересувні й стаціонарні промислові гелієві течешукачі марок ТИ1-22, ТИ1-30, ТИ1-50 (виготовлювач ВАТ «Завод «Измеритель», Санкт-Петербург, Росія) й ін., які випускаються серійно.

Мас-спектрометричні методи у виробництві ракетно-космічної техніки реалізуються декількома атмосферними й вакуумними способами. Ці методи дозволяють проводити випробування на сумарну негерметичність усього об'єкта випробування і його окремих зон із властивою для кожної з них чутливістю, а також здійснювати пошук локальних течі.

Спосіб вакуумування

Даний спосіб за представленою вище класифікацією належить до вакуумних і призначений для визначення ступеня негерметичності різних об'єктів ракетно-космічної техніки, їх окремих вузлів, агрегатів і елементів, а також конкретних зон перевірки.

Сутність способу вакуумування полягає в тому, що над контролюваною на герметичність поверхнею об'єкта випробувань (або в об'єкті випробувань) створюється вакуум, а в об'єкті випробувань (або над ними) створюється надлишковий або парціальний тиск газового контрольного середовища. За наявності наскрізних мікродефектів (теч) контрольне середовище під дією різниці тиску проникає у відвакуумовану порожнину, а потім у течешукач, з'єднаний з нею.

В основі оцінки ступеня негерметичності об'єкта випробувань лежить розрахунок потоку контрольного середовища (крізь течі об'єкта випробувань) за показниками течешукача, що реєструє пробний газ від течі випробовуваного об'єкта й контрольної течі, установлені в схемі течешукування. Натікання пробного газу з навколишнього середовища у вакуумну порожнину під час випробувань береться постійним.

Контрольну течу вибирають за необхідною величиною потоку пробного газу з неї, розрахунок якого здійснюється за формулою

$$Q_{КТ} = 10Q_{ДОП} \frac{C_{ОВ}}{100},$$

де $Q_{КТ}$ – величина потоку гелію від контрольної течі, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; $Q_{ДОП}$ – величина допустимого ступеня негерметичності об'єкта випробувань відповідно до конструкторської документації, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; $C_{ОВ}$ – концентрація гелію в об'єкті випробувань, %.

Спосіб вакуумування реалізується в умовах ракетно-космічного виробництва з використанням:

- стаціонарних вакуумних камер;
- вакуумних присосів;
- рознімних вакуумних камер;
- камер зовнішнього тиску.

Вибір вакуумного випробного встаткування визначається габаритами, складністю форм, а також вимогами до норм герметичності об'єктів випробувань.

Під час вибору схеми випробування способом вакуумування необхідно виходити з можливостей засобів відкачування течешукача й конструктивних особливостей об'єкта випробування (габарити, газовиділення, натікання, норма герметичності). На рис. 1.15 наведена принципова схема контролю герметичності *способом вакуумування з використанням стаціонарної вакуумної камери*.

На схемі подані прийняті на практиці варіанти з'єднання течешукача з вакуумною камерою:

- а) безпосередньо вакуумна камера – течешукач 11;
- б) форвакуумна система відкачки випробної установки – течешукач 13 або 14.

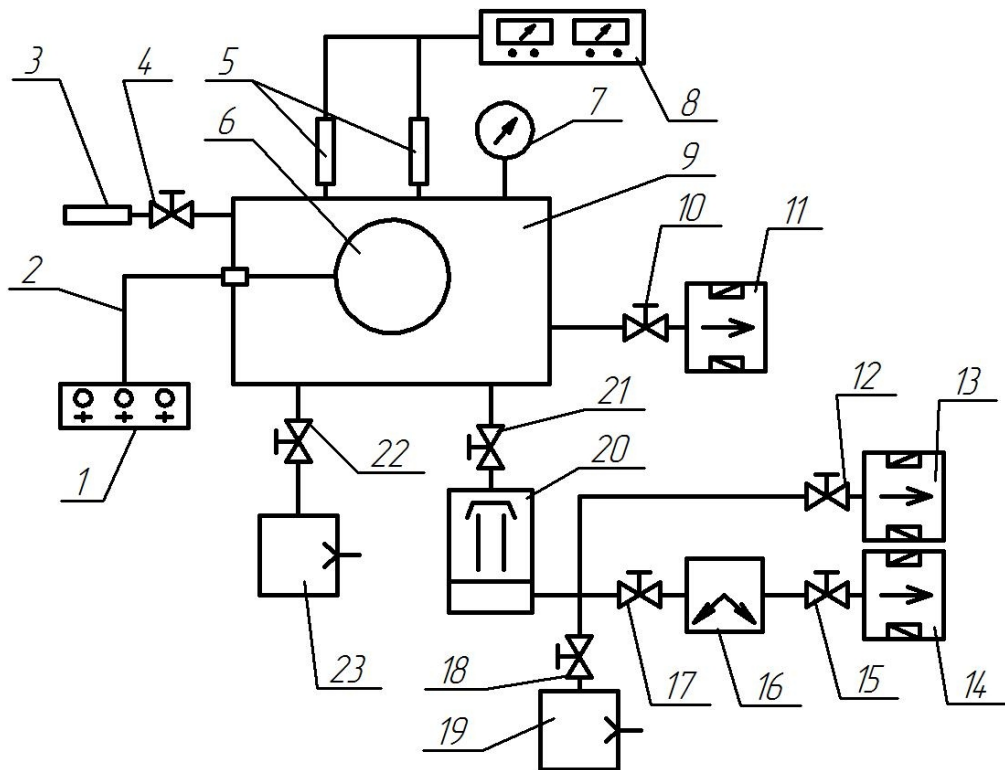


Рис. 1.15. Принципова схема контролю герметичності способом вакуумування з використанням стаціонарної вакуумної камери:

- 1 – пневмопульт (джерело газового контрольного середовища);
 2 – система подачі тиску в об'єкт випробування; 3 – контрольна теча;
 4, 10, 12, 15, 17, 18, 21, 22 – вакуумні вентиля; 5 – перетворювачі тиску;
 6 – об'єкт випробування; 7 – мановакуумметр; 8 – вакуумметр;
 9 – вакуумна камера; 11, 13, 14 – течешукачі; 16 – сорбційний вакуумний насос;
 19 – форвакуумний насос; 20 – високовакуумний насос;
 23 – вакуумний насос попередньої відкачки

Готовність течешукальної установки до проведення випробувань (перед подачею в об'єкт випробування контрольного газу) визначають за значенням порога чутливості течешукавання, яке повинне бути у два рази менше від норми герметичності об'єкта випробування за пробним газом. Числове значення порога чутливості схеми течешукавання залежить від: порога чутливості течешукача; розподілу потоку пробного газу між течешукачем і засобами відкачки вакуумної установки; тривалості перехідних процесів.

Під тривалістю перехідного процесу розуміють час досягнення встановленого режиму відкачки після виникнення (зникнення) потоку пробного газу у вакуумній системі, що відкачується.

Можливі два режими течешукавання способом вакуумування:

- 1) з подачею всього газового потоку в течешукач;
- 2) з подачею частини газового потоку в течешукач.

Максимальне значення порога чутливості досягається, коли весь потік пробного газу проходить крізь течешукач, причому у вакуумній порожнині не відбувається накопичення газу. На практиці такий режим течешукавання з використанням стаціонарних вакуумних камер може бути реалізований у разі відключення засобів

відкачки вакуумної установки. Але загальне газове навантаження (від газовиділення й натікання) не повинне перевищувати гранично допустимий газовий потік на вхід течешукача. Також за даного режиму можливо реалізувати технологічний прийом оцінки сумарної негерметичності виробів шляхом накопичення пробного газу у вільному об'ємі вакуумної камери. Оцінка кількості газу, що накопичується, здійснюється течешукачем, у якого відключена власна відкачна система.

У разі газового навантаження, що перевищує гранично допустимий газовий потік на вході течешукача, використовують режим течешукування з розподілом потоку пробного газу між течешукачем і засобами відкачки вакуумної установки.

Такий режим у виробничій практиці реалізується в разі приєднання течешукача до форвакуумної системи відкачки вакуумної установки. При цьому розподіл газового потоку, сформованого високовакуумним насосом 20 (рис. 1.15) на лінії форвакуумної відкачки, відбувається відповідно за співвідношенням

$$K_{\phi} = \frac{S_T}{S_T + S_M},$$

де $K_{\phi} = 0,01 \dots 1,0$ – коефіцієнт розподілу потоку газу на лінії форвакуумної відкачки; S_T – швидкість відкачки течешукача, $\text{м}^3/\text{с}$; S_M – швидкість відкачки форвакуумного насоса, $\text{м}^3/\text{с}$.

Накопичення пробного газу у вільному об'ємі вакуумної камери — один з ефективних технологічний прийомів для оцінки сумарної негерметичності виробів у вакуумі. Чутливість випробувань при цьому значною мірою залежить від величини вільного об'єму вакуумної камери, що у разі контролю великогабаритних виробів може досягати декількох сотень кубічних метрів. У даному випадку потрібен досить тривалий час для накопичення пробного газу. Саме це є основною перешкодою, що не дозволяє застосовувати даний принцип накопичення в разі контролю великогабаритних виробів.

З метою виключення впливів величини вільного об'єму вакуумної камери на час накопичення парціального тиску пробного газу, що достовірно реєструється, розроблений метод його примусового (компресійного) накопичення, сутність якого полягає в тому, що пробний газ, який проникає крізь течі випробуваного виробу у вакуумну камеру, разом із супутніми газами видаляють з неї й поміщають у замкнутий об'єм сорбційного насоса, де поглинаються всі гази, крім пробного. У сорбційному насосі 16 (рис. 1.15) накопичують пробний газ до одержання кількості, що реєструється.

Для стаціонарного режиму примусового накопичення час одержання мінімального парціального тиску пробного газу, що достовірно реєструється, визначається залежністю

$$t_H = \frac{V_H}{Q_{\text{ПР}}} P_{\text{ПР min}}$$

де t_H – час накопичення, с; V_H – об'єм примусового накопичення (вільний об'єм сорбційного насоса), м^3 ; $Q_{\text{ПР}}$ – потік пробного газу, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; $P_{\text{ПР min}}$ – парціальний тиск пробного газу, Па.

У випадку натікання пробного газу безпосередньо у вільний об'єм вакуум-

ної камери, від'єднаної від засобів відкачки, час одержання такого ж мінімального парціального тиску ($P_{PP\ min}$), що достовірно реєструється, визначають з рівняння

$$t_{BK} = \frac{V_{BK}}{Q_{PP}} P_{PP\ min},$$

де t_{BK} – час накопичення у вільний об'єм вакуумної камери, с; V_{BK} – вільний об'єм вакуумної камери, м³.

Ефективність методу примусового накопичення порівняно з методом накопичення у вільному об'ємі вакуумної камери очевидна зі співвідношення

$$\frac{t_H}{t_{BK}} = \frac{V_H}{V_{BK}}, \text{ тому що } \frac{V_H}{V_{BK}} \ll 1.$$

Таким чином, контроль сумарної негерметичності виробу із примусовим накопиченням пробного газу забезпечує скорочення часу одержання концентрації пробного газу, що достовірно реєструється, у стільки разів, у скільки вільний об'єм вакуумної камери більший за об'єм примусового накопичення.

Кількісну оцінку порога чутливості схеми течешукування виконують за формулою

$$S_Q = \frac{Q_{KT}}{a_{KT} - a_0} 2a_{\phi T},$$

де S_Q – поріг чутливості течешукування (чутливість схеми випробувань); a_{KT} – показання течешукача за потоком пробного газу від контрольної течії; a_0 – показання течешукача за залишковим вмістом (фоном) пробного газу у вакуумній системі; $a_{\phi T}$ – флуктуація показань течешукача; Q_{KT} – величина потоку контрольної гелієвої течії, установленної в схемі течешукування, за температури проведення випробувань.

Обчислення Q_{KT} проводиться за формулою

$$Q_{KT} = \frac{Q_T}{1 - \Delta Q_T (T_2 - T_1)},$$

де Q_T – величина потоку гелію з контрольної течії, зазначена у свідоцтві про її перевірку, м³·Па/с; T_1 – температура калібрування контрольної течії, зазначена у свідоцтві про її перевірку, °С; T_2 – температура, за якої проводяться випробування, °С; ΔQ_T – температурна поправка до величини потоку контрольної течії, 1,0 % на 1°С.

У тих випадках, коли цикл випробування у вакуумній камері тривалий, оцінку порога чутливості необхідно проводити з урахуванням стабільності залишкового вмісту (фону) пробного газу в системі випробування. Нестабільність фонових сигналів вважається допустимою, якщо виконується умова:

$$\frac{\Delta a_0}{t} \leq \frac{0,2a_0}{t},$$

де Δa_0 – зменшення фонових сигналів течешукача, вимірюване протягом 10 хв.; a_0 – початкове показання течешукача (показання течешукача за залишковим вмістом (фоном) пробного газу у вакуумній системі); t – заздалегідь визначений час, що дорівнює тривалості навантаження об'єкта випробувань контрольним газом,

включаючи час t_{3M} , необхідний для одержання рівномірної концентрації пробного газу в об'єкті випробувань, хв.

Для оцінки відповідності герметичності об'єкта випробування вимогам конструкторської документації розраховують величину приросту показання течешукача ($\Delta\alpha_{T.КД}$) від допустимої за конструкторською документацією негерметичності ($Q_{ДОП}$) за формулою

$$Da_{T.КД} = \frac{Q_{ДОП}}{Q_{КТ}} Da_{КТ} \frac{C_{ОВ}}{100},$$

де $C_{ОВ}$ – концентрація пробного газу в контрольній суміші в порожнині об'єкта під час випробувань, %; $\Delta\alpha_{КТ} = (\alpha_{КТ} - \alpha_0)$ – приріст показань течешукача за потоком пробного газу від контрольної течі.

Далі приступають до контролю герметичності об'єкта випробувань після заповнення його контрольним газом до випробного тиску й витримки протягом часу змішування (t_{3M}), необхідного для утворення рівномірної концентрації пробного газу (гелію) в контрольному газі.

Об'єкт випробувань відповідає вимогам конструкторської документації, якщо виконується така умова:

$$Da_{ОВ} \leq \frac{2}{3} Da_{T.КД},$$

де $\Delta\alpha_{ОВ}$ – приріст показань течешукача від течі (теч) на об'єкті випробувань.

Кількісну оцінку ступеня негерметичності об'єкта випробувань виконують за формулою

$$Q_{ОВ} = S_Q \cdot Da_{ОВ} \frac{100}{C_{ОВ}},$$

де $Q_{ОВ}$ – величина потоку контрольного газу (гелію) крізь течу або течі об'єкта випробування.

Для оцінки ступеня негерметичності окремих елементів, зон, зварних швів об'єкта випробування широко застосовують спосіб вакуумування з використанням вакуумних присосів (рис. 1.16).

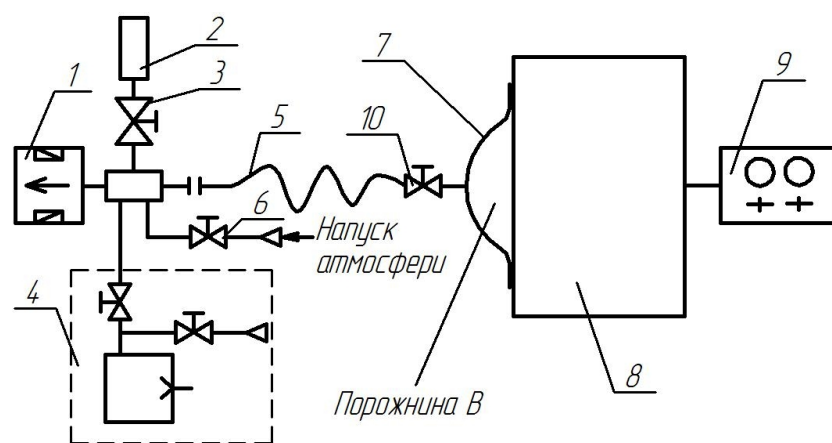


Рис. 1.16. Принципова схема випробування на герметичність з використанням вакуумних присосів:

- 1 – мас-спектрометричний течешукач; 2 – контрольна течя;
- 3, 6, 10 – вакуумні вентиляції;
- 4 – вакуумний пост попередньої відкачки; 5 – з'єднувальний шланг;
- 7 – вакуумний присос;
- 8 – об'єкт випробувань;
- 9 – пневмопульт (джерело контрольного середовища)

У вихідному стані вентиляції 3, 6 – закриті, вентиляція 10 – відкрита.

На об'єкт випробувань 8 установлюється вакуумний присос 7 так, щоб контрольована зона (ділянка) перебувала в порожнині В. Порожнина В вакуумується постом попередньої відкачки до надійної герметичності присоса на поверхні об'єкта випробування. Потім вакуумний пост відсікають і подальше вакуумування здійснюють за допомогою вакуумної системи течешукача 1 до усталеного робочого тиску в останньому.

Якщо вакуумна система течешукача дозволяє реалізувати режим байпасної відкачки, то пост попередньої відкачки зі схеми випробувань можна виключити і попередню відкачку порожнини В вакуумного присоса роблять форвакуумним насосом течешукача.

Після досягнення усталеного робочого тиску у вакуумній системі течешукача реєструють показання його за залишковим фоном пробного газу, а потім за допомогою контрольної течі 2, за відкритого вентиля 3, оцінюють поріг чутливості випробувань S_Q . Контрольну течу 2 від системи вакуумування відсікають, закриваючи вентиль 3. Об'єкт випробувань 8 заповнюють пробним газом або контрольним середовищем до випробного тиску від пневмопульту 9. За наявності витоку пробний газ через порожнину В присоса 7 і сполучний шланг 5 попадає в течешукач 1 для аналізу.

Розраховують величину $\Delta\alpha_{Т.КД}$ і оцінюють відповідність герметичності перевіреної ділянки (зони) вимогам конструкторської документації за виконанням умови $Da_{ОВ} = \frac{2}{3} Da_{Т.КД}$.

За необхідності виконується кількісна оцінка ступеня негерметичності перевіреної ділянки (зони) $Q_{ОВ}$.

Контроль герметичності вакуумними присосами великих за площею поверхонь здійснюється шляхом послідовної їх перестановки з певною зоною перекриття, величина якої залежить від розмірів присоса й конструктивних особливостей об'єкта випробування.

Величина зони перекриття для різних типів присосів і способи перестановки показані на рис. 1.17.

На практиці не роблять скидання тиску й наддування об'єкта випробування під час кожної чергової перестановки присоса. Для оцінки залишкового фону пробного газу й періодичної оцінки порога чутливості схеми течешукування присос встановлюють або на імітатор контрольної поверхні або на герметичну ділянку об'єкта.

Можлива для застосування така методика визначення параметрів випробування: $\Delta\alpha_{КТ}$, S_Q , $\Delta\alpha_{ОВ}$, α_0 .

За задіяної у схемі течешукування контрольній течі 2, коли вентиль 3 відкритий (рис. 1.16), і за відкритого вентиля 10 фіксують показання течешукача за пробним газом α_S , що за своєю фізичною суттю дорівнює $\alpha_0 + \Delta\alpha_{КТ} + \Delta\alpha_{ОВ}$.

Закривають вентиль 3 (рис. 1.16) і фіксують усталене показання течешукача за пробним газом α'_S , що є по своїй фізичній суті дорівнює $\alpha_0 + \Delta\alpha_{ОВ}$.

Далі обчислюють значення $\Delta\alpha_{КТ}$:

$$Da_{КТ} = \alpha_S - \alpha'_S.$$

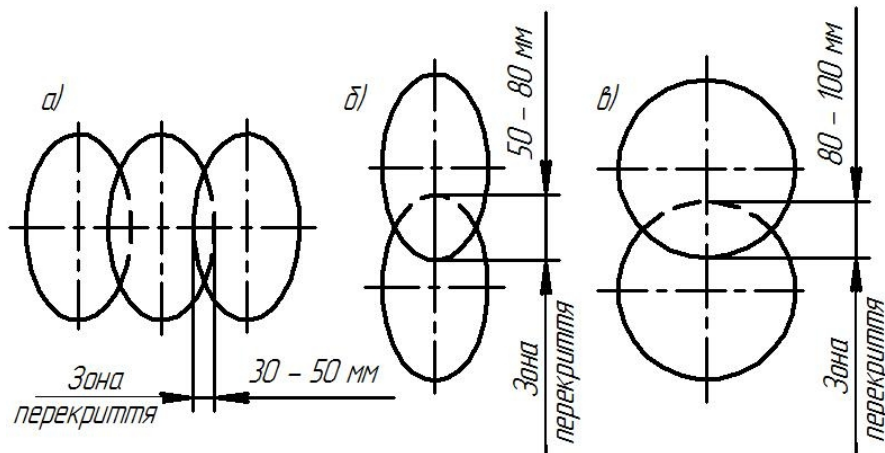


Рис. 1.17. Зона перекриття контрольованої поверхні в разі випробування способом присосів:

- а) зона перекриття в разі випробування поздовжніми присосами цільного матеріалу; б) зона перекриття в разі випробування поздовжніми присосами зварених швів; в) зона перекриття в разі випробування циліндричними присосами виступних частин об'єктів

Закривають вентиль 10 (рис. 1.16) і фіксують усталені показання течешування за фоном пробного газу α_0 .

Обчислюють чутливість схеми випробування S_Q і величину приросту показань течешукача $\Delta\alpha_{TKD}$ від допустимої за конструкторською документацією негерметичності.

Далі визначають приріст показань течешукача від течі на об'єкті випробувань ($\Delta\alpha_{OB}$), що по своїй фізичній суті дорівнює $a_{\xi} - a_0$.

Найкращою сферою застосування вакуумних присосів є контроль герметичності зварних швів, а також локалізація теч на об'єктах, що пройшли випробування в стаціонарних вакуумних камерах.

Для оцінки ступеня негерметичності кільцевих зварних швів і рознімних з'єднань трубопроводів способом вакуумування використовують рознімні вакуумні камери (РВК) (рис. 1.18).

У вихідному стані вентиля 3, 6 закриті, вентиль 10 відкритий.

Послідовність течешування із застосуванням РВК аналогічна процесу контролю герметичності вакуумними присосами.

Застосування технологічного прийому накопичення пробного газу у вакуумі дозволяє досягти порога чутливості течешукача $1,33 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

За відкритих вентилів 3, 10 необхідно відвакуумувати систему течешування до усталеного залишкового тиску й фону пробного газу в ній. Далі закривають вентиль 3 на час натікання ($t_H = 1 - 5 \text{ хв}$), по закінченні якого відкривають вентиль 3 і фіксують збільшення показання течешукача за пробним газом (гелієм) $\Delta\alpha_{KT}$ від контрольної течі. Обчислюють критерій чутливості (q) системи течешування:

$$q = \frac{Q_{KT}}{Da_{KT} \times C_{OB}},$$

де q – критерій чутливості, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$; Q_{KT} – величина потоку пробного газу від контрольної течі в умовах випробування, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$; $\Delta \alpha_{KT}$ – збільшення показання течошукача в разі приєднання контрольної течі до системи течошукування за час t_H ; C_{OB} – концентрація пробного газу в порожнині об'єкта випробування, %.

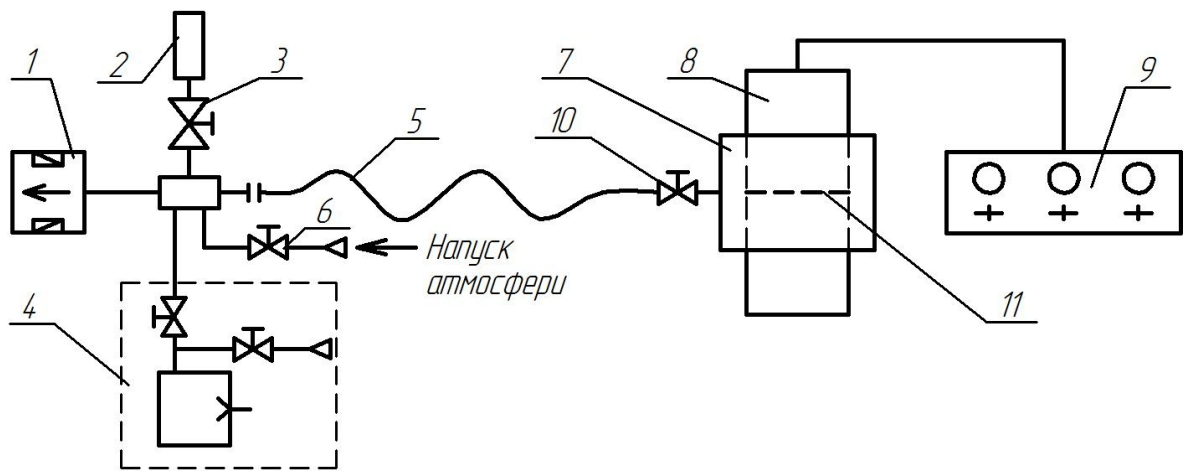


Рис. 1.18. Принципова схема випробування на герметичність способом вакуумування з використанням РВК:

1 – мас-спектрометричний течошукач; 2 – контрольна течя; 3, 6, 10 – вакуумні вентилі; 4 – вакуумний пост попередньої відкачки; 5 – сполучний шланг; 7 – РВК; 8 – об'єкт випробування; 9 – пневмопульт; 11 – кільцевий зварний шов

Величина критерію чутливості повинна бути:

$q \leq 6,7 \cdot 10^{-10} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / (\text{с} \cdot \text{В})$, якщо $C_{OB} = 100\%$;

$q \leq 6,7 \cdot 10^{-9} \text{ м}^3 \cdot \text{Па} / (\text{с} \cdot \text{В})$, якщо $C_{OB} = 10\%$.

Закривають вентиль 3 і вакуумують систему течошукування до усталеного залишкового тиску й фону пробного газу в ній. Закривають вентиль 10 на час t_H , після закінчення якого вентиль 10 відкривають і фіксують збільшення показання течошукача за пробним газом від об'єкта випробування ($\Delta \alpha_{OB}$). Перевірене з'єднання вважається герметичним, якщо виконується умова

$$Da_{KT} \frac{Q_{ДОП}}{Q_{KT}} \geq Da_{OB}.$$

Контроль герметичності способом вакуумування з подачею пробного газу із зовнішньої сторони об'єкта має три технологічні варіанти: обдування об'єкта пробним газом, камери з гелієм й камери високого тиску. Загальна особливість цих варіантів полягає в тому, що вакуум створюється в об'єкті випробування, а відмінність – у способі подачі пробного газу до об'єкта.

На рис. 1.19 наведена принципова схема течошукування способом вакуумування з подачею пробного газу до об'єкта із зовнішньої сторони.

Кількісну оцінку порога чутливості, ступеня негерметичності здійснюють за наведеними раніше формулами.

Спосіб щупа

Даний спосіб за представленою вище класифікацією належить до атмосферних і застосовується для випробувань на герметичність зварних швів і різних

з'єднань, а також для пошуку місць теч у зварних швах і основному матеріалі та локалізації зон негерметичності після випробувань виробів на сумарну негерметичність.

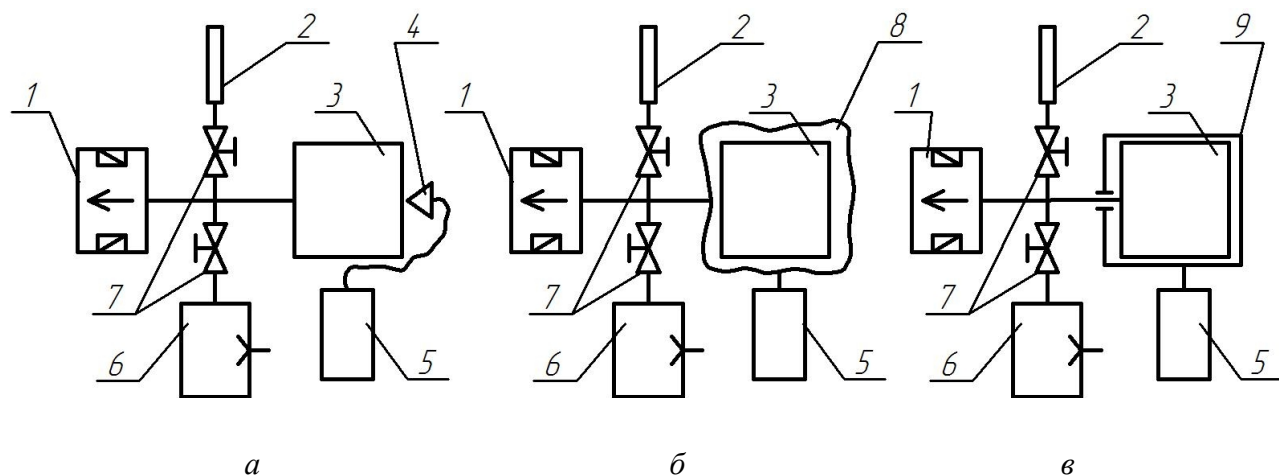


Рис. 1.19. Принципова схема течошукування способом вакуумування з подачею пробного газу до об'єкта із зовнішньої сторони:

- а) спосіб обдування; б) спосіб камери з гелієм; в) спосіб камери зовнішнього тиску;
 1 – течошукач; 2 – контрольна теча; 3 – об'єкт випробування; 4 – обдувач;
 5 – пневмопульт; 6 – вакуумний пост попередньої відкачки; 7 – вакуумні вентиля; 8 – гелієва камера (м'який чохол); 9 – камера зовнішнього тиску

Чутливість способу за 10 %-ї концентрації гелію в гелієво-повітряній суміші становить $5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Сутність способу щупа (рис. 1.20) полягає в обстеженні за допомогою спеціального щупа-натікача (далі щупа), з'єданого шлангом з течошукачем, об'єкта випробування, що перебуває під надлишковим тиском контрольного газу. Контрольний газ, за наявності негерметичності, через щуп 3 і шланг 4 попадає в течошукач 5, у результаті чого відбувається зміна показань останнього.

Реалізується даний спосіб двома варіантами:

- у динамічному режимі – переміщенням щупа з постійною встановленою швидкістю по поверхні, що перевіряється;
- у статичному режимі – шляхом послідовної перестановки щупа по поверхні, що перевіряється, і витримки на кожному установленні не менше 30 с.

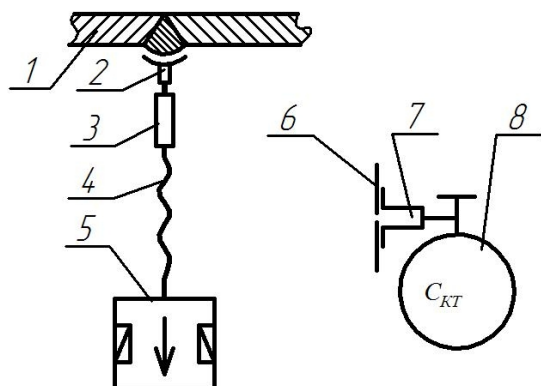


Рис. 1.20. Принципова схема випробувань на герметичність способом щупа:

- 1 – об'єкт випробування; 2 – насадка на щуп;
 3 – щуп; 4 – шланг; 5 – течошукач; 6 – лінійка;
 7 – контрольна теча; 8 – джерело повітряно-гелієвої суміші з концентрацією гелію C_{KT}

Динамічний режим течешування способом щупа застосовується, як правило, для контролю герметичності зварних швів і основного матеріалу, статичний – для контролю герметичності рознімних з'єднань і локалізації місць теч. Оптимальна швидкість пересування щупа в динамічному варіанті – 1...2 см/с.

Висновок про готовність схеми течешування до контролю герметичності об'єкта випробування може бути зроблено тільки після визначення її порога чутливості. Визначення порога чутливості схеми течешування зводиться до фіксації фону гелію в атмосфері виробничого приміщення, у якому здійснюються випробування, визначення рівня флуктуації фонових сигналів (різниці між максимальними й мінімальними показаннями течешукача за 2–3 хв), а також до реєстрації показань від контрольної течі.

Розрахунок значення порога чутливості схеми течешування виконується за формулою

$$S_Q = \frac{Q_{KT}}{a_{KT} - a_0} a_{\min},$$

де S_Q – поріг чутливості схеми течешування; Q_{KT} – потік гелію від контрольної течі; a_{KT} – показання течешукача від контрольної течі; a_0 – показання течешукача від фону гелію в атмосфері виробничого приміщення; $a_{\min}$ – мінімальний достовірний відлік, що дорівнює подвоєному рівню флуктуації основного сигналу.

Для забезпечення надійності випробувань поріг чутливості повинен бути як мінімум у 2 рази вищий ступеня негерметичності об'єкта випробування, заданого в конструкторській документації.

Залежно від обраного режиму течешування на об'єкті випробувань (динамічного або статичного) необхідно визначати динамічний або статичний поріг чутливості відповідно.

У разі визначення динамічного порога чутливості, для реєстрації показань течешукача від контрольної течі (a_{KT}), щупи переміщують по поверхні імітатора об'єкта випробування або по шкалі контрольної течі з постійною заданою швидкістю. Динамічний поріг чутливості значною мірою залежить від швидкості переміщення щупа відносно контрольної течі, і якщо його значення не задовольняє вищевказану вимогу із забезпечення надійності випробувань, варто зменшити швидкість переміщення щупа. Після одержання значень, що задовольняють значення динамічного порога чутливості, швидкість переміщення щупа фіксують. На практиці швидкість переміщення щупа під час визначення динамічного порога чутливості не повинна бути більша 5 мм/с.

Під час визначення статичного порога чутливості значення a_{KT} реєструють за нерухомого положення щупа відносно контрольної течі або поверхні імітатора об'єкта випробування.

До контролю герметичності об'єкта випробування приступають після заповнення його контрольним газом до іспитового тиску й витримки протягом часу змішування (t_{3M}), необхідного для утворення рівномірної концентрації пробного газу (гелію) у контрольному газі у внутрішній порожнині об'єкта випробування.

Контроль герметичності необхідно починати з нижніх ділянок об'єкта ви-

пробування з переходом до верхніх. Зазор між щупом і контрольованою поверхнею не повинен перевищувати 2 мм. Швидкість переміщення щупа не повинна бути більша швидкості, зафіксованої під час визначення динамічного порога чутливості.

Перевірку герметичності зварних швів необхідно проводити щупом з насадкою (рис. 1.21). Форма насадки має відповідати формі профілю поверхні, що перевіряється.

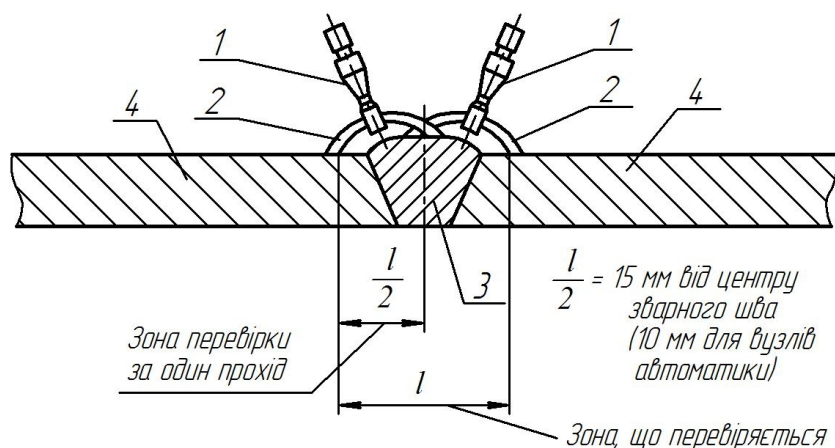


Рис. 1.21. Схема контролю герметичності зварних швів способом щупа:

1 – щуп; 2 – насадка;
3 – зварний шов; 4 – зварні кромки об'єкта випробування

Якщо ширина насадки менша за ширину поверхні, що перевіряється (або профіль зварного шва не дозволяє застосовувати щуп з насадкою), то перевірку герметичності необхідно проводити в кілька проходів (рис. 1.22).

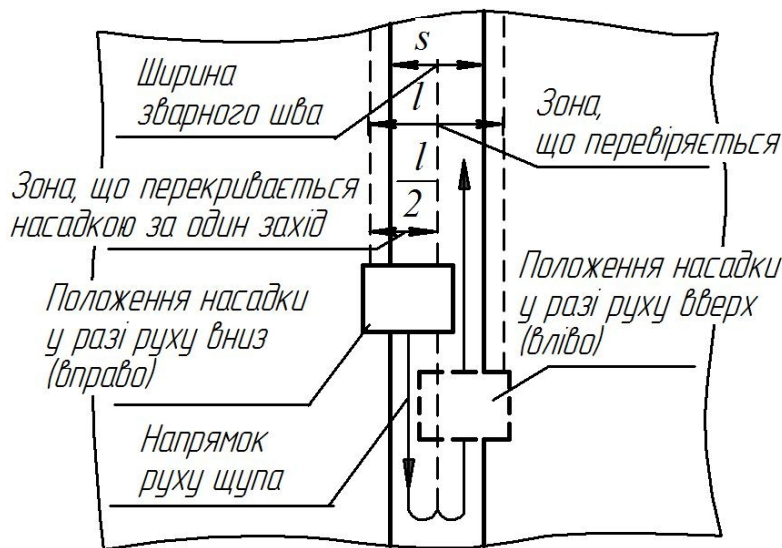


Рис. 1.22. Схема руху щупа по зварному шві

Перевірку герметичності фланцевих з'єднань проводять щупом з медичною голкою (рис. 1.23, а). Якщо зазор між фланцями відсутній або не дозволяє ввести голку, то контроль герметичності таких з'єднань виконують із застосуванням щупа з насадкою (рис. 1.23, б).

Установку насадки на верхню поверхню фланця необхідно здійснювати таким чином, щоб вхідний отвір щупа розташовувався напроти стику фланців або зазору між ними. Перестановку насадки по зовнішній поверхні фланців виконують із перекриттям зон суміжних установок.

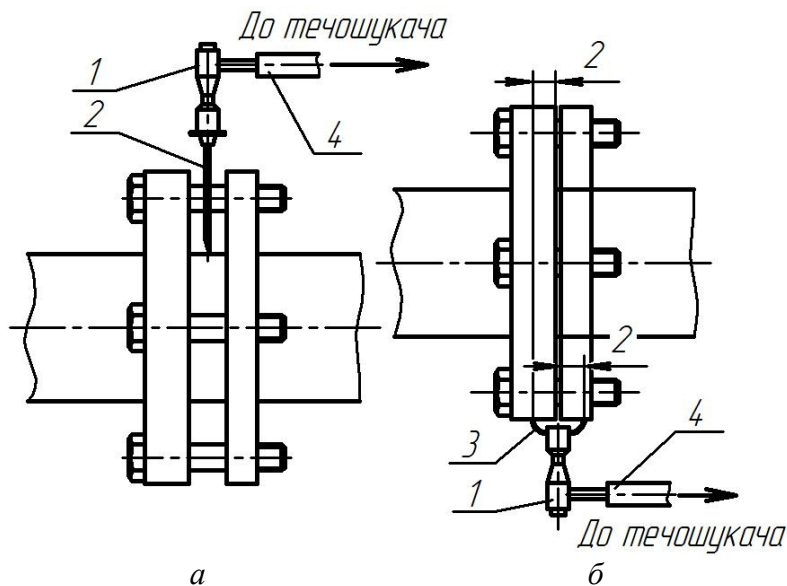


Рис. 1.23. Схема перевірки на герметичність фланцевого з'єднання способом щупа:

- а) із медичною голкою, що вводиться в зазор між фланцями;
 - б) із накладкою, у випадку відсутності або малості зазору між фланцями;
- 1 – щуп; 2 – медична голка;
3 – накладка; 4 – шланг

Перевірку герметичності різних з'єднань із накладними гайками необхідно здійснювати шляхом перестановки щупа з насадкою по зонах, зазначених на рис. 1.24. Якщо на гранях накладної гайки є технологічні отвори (два отвори), то один з отворів повинен бути заклеснений.

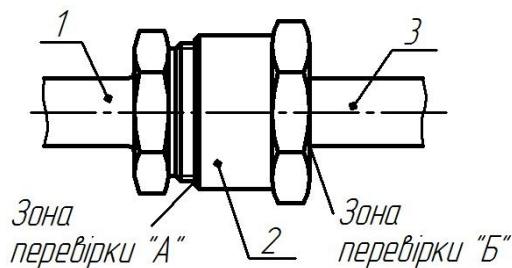


Рис. 1.24. Схема перевірки на герметичність з'єднань із накладними гайками способом щупа:

- 1 – трубопровід 1; 2 – накладна гайка;
3 – трубопровід 2

У процесі переміщення (перестановки) щупа по контрольованій на герметичність поверхні необхідно постійно (безупинно) контролювати показання течошукача (параметр $a_{ОВ}$). Якщо в процесі контролю значення параметра $a_{ОВ}$ виросло й становить більше ніж $2/3 a_{КТ}$, необхідно встановити причину цього явища. Причинами можуть бути: підвищення фону пробного газу (гелію) у виробничому приміщенні, де проводиться випробування; зміна параметрів настройки течошукача, що спричинила підвищення його чутливості; наявність течі на об'єкті випробування.

Якщо причиною підвищення значення параметра $a_{ОВ}$ є теча, її величину розраховують за формулою

$$Q_{ОВ} = \frac{Q'_{КТ}}{a_{КТ} - a_0} (a_{ОВ} - a_0) \frac{C_{КТ}}{C_{ОВ}},$$

де $Q_{ОВ}$ – величина потоку контрольного газу крізь течу, $\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}$; $Q'_{КТ}$ – величина потоку контрольного газу крізь контрольну течу (за паспортом), $\text{м}^3 \cdot \text{Па/с}$; $a_{КТ}$ – показання течошукача від контрольної течі; $a_{ОВ}$ – показання течошукача від течі на об'єкті випробування; a_0 – показання течошукача від фону гелію у виробничому приміщенні, де проводяться випробування.

Спосіб накопичення за атмосферного тиску

Якщо об'єкт не можна вакуумувати безпосередньо, не можна розмістити його у вакуумній камері або вакуумної камери немає, контроль герметичності з достатньою чутливістю може здійснюватися методом накопичення індикаторного газу за атмосферного тиску.

Даний спосіб за класифікацією належить до атмосферних і застосовується, як і спосіб щупа, для контролю герметичності зварних швів, різних з'єднань і малогабаритних виробів, а також для локалізації зон негерметичності після випробувань виробів на сумарну негерметичність. Сутність способу накопичення за атмосферного тиску полягає в наступному (рис. 1.25).

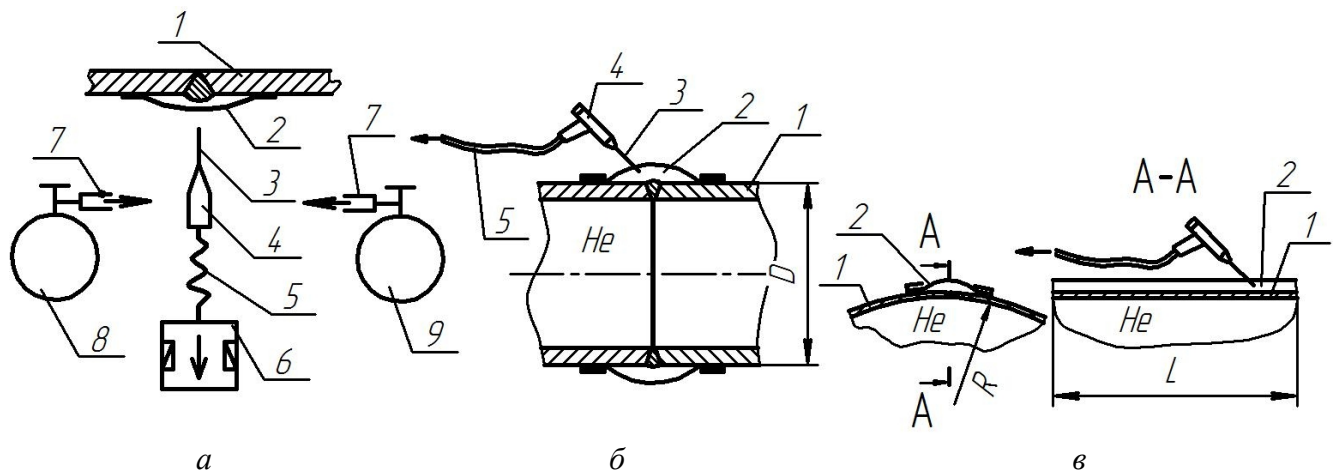


Рис. 1.25. Схема випробувань на герметичність способом накопичення за атмосферного тиску:

а – принципова схема контролю способом накопичення за атмосферного тиску; б – схема контролю кільцевих зварних швів і різних з'єднань; в – схема контролю поздовжніх зварних швів; 1 – об'єкт випробувань; 2 – об'єм накопичення; 3, 7 – насадка (голка); 4 – щуп; 5 – шланг; 6 – течошукач; 8 – джерело атмосферного повітря (концентрація гелію $5 \cdot 10^{-4}\%$); 9 – джерело повітряно-гелієвої або азотно-гелієвої суміші з контрольною концентрацією

Навколо об'єкта випробування створюється замкнутий об'єм накопичення, у якому заміряється концентрація (C_1) пробного газу (гелію). Об'єкт випробувань заповнюється контрольним газовим середовищем до випробного тиску. За наявності наскрізних мікродефектів в об'єкті контрольний газ попадає в замкнутий об'єм накопичення, викликаючи підвищення концентрації пробного газу в ньому. Після витримки об'єкта випробування під випробним тиском протягом заданого (розрахованого або встановленого дослідним шляхом) часу накопичення (t_H) заміряють повторно концентрацію пробного газу (C_2) в об'ємі накопичення й обчислюють зміну цієї концентрації $\Delta C = C_2 - C_1$.

Оцінку ступеня негерметичності проводять шляхом порівняння розрахованої величини зміни концентрації (ΔC) із установленим (припустимим) рівнем цієї зміни, за якого об'єкт випробування вважається герметичним.

Критерієм готовності схеми течошукання до проведення контролю герметичності є поріг чутливості.

Визначення порога чутливості q схеми течешування зводиться до реєстрації усталеного показання течешукача на атмосферний гелій (a_0) і усталеного показання течешукача на гелій у контрольній концентрації (a_{CM}). Поріг чутливості розраховується за формулою

$$q = a_{CM} - a_0.$$

Система течешування вважається готовою до контролю герметичності, якщо

$$q \geq 5 a_{FT},$$

де a_{FT} – рівень флуктуації течешукача.

Для виміру параметрів a_0 і a_{CM} щуп з насадкою (голкою) по черзі вводять у струмінь атмосферного (чистого) повітря й у струмінь повітряно-гелієвої (азотно-гелієвої) суміші з контрольною концентрацією на час витримки t_B , що залежить від інерційності схеми течешукача.

Слід зазначити, що процентний вміст гелію в контрольній концентрації C_{CM} становить від $7 \cdot 10^{-4} \%$ до $2,5 \cdot 10^{-2} \%$ і вибирається під час відпрацьовування технологічних режимів випробувань із урахуванням конструкторсько-технологічних особливостей об'єктів випробувань і встановлених для них норм негерметичності в конструкторській документації.

Підготовчими технологічними операціями до випробувань способом накопичення за атмосферного тиску є операції створення об'ємів накопичення над контрольованими на герметичність з'єднаннями й замірювання концентрації гелію (C_I) у них. Необхідно мати на увазі, що вихідна концентрація гелію в об'ємах накопичення (C_I), як правило, відповідає концентрації гелію в атмосфері виробничого приміщення (C_{BII}), де проводяться випробування. Від рівня загазованості виробничого приміщення гелієм залежить в остаточному підсумку достовірність оцінки герметичності об'єкта випробування. Тому в технологічних процесах випробувань повинен бути визначений максимально допустимий рівень вмісту гелію в атмосфері виробничого приміщення, а також допустима величина зміни його вмісту в процесі випробувань.

У процесі випробування для виміру концентрації гелію в об'ємі накопичення необхідно ввести в нього насадку (голку-капіляр) щупа на час витримки (t_B), установлений під час визначення порога чутливості схеми течешування, і зареєструвати усталене показання течешукача (a_{OB}).

Після вилучення голки щупа з об'єму накопичення місце уведення повинне бути загерметизоване (заклеєне). Спосіб герметизації визначається робочим процесом випробувань.

Величина концентрації гелію в об'ємі накопичення (C_I) розраховується за формулою

$$C_I = K \frac{a_{OB} - a_0}{q} + 5 \cdot 10^{-4},$$

де C_I – концентрація гелію в об'ємі накопичення, %; K – різниця концентрацій гелію контрольної концентрації та в атмосфері чистого повітря (атмосферний гелій), %; a_{OB} – усталене показання течешукача за гелієм з об'єму накопичення; a_0 –

усталене показання течешукача за атмосферним гелієм.

У процесі підготовки й проведення випробувань способом накопичення за атмосферного тиску необхідно періодично робити контроль стабільності порога чутливості схеми течешукування (q) і концентрації гелію у виробничому приміщенні ($C_{ВП}$).

Після виміру концентрації гелію в об'ємах накопичення об'єкт випробування заповнюється контрольним газом до випробного тиску й витримується протягом часу сумішоутворення (t_{3M}), необхідного для утворення рівномірної концентрації гелію в контрольному газі у внутрішній порожнині об'єкта випробування. Час сумішоутворення (t_{3M}) залежить від конструктивних особливостей об'єкта випробування, а також від технологічних режимів заповнення його контрольним газом до випробного тиску. Цей час визначається під час відпрацювання технологічних процесів випробувань для кожного об'єкта випробування.

По закінченні часу сумішоутворення (t_{3M}) об'єкт випробування витримується під випробним тиском протягом часу накопичення (t_H), після чого виконується повторний замір концентрації гелію в об'ємах накопичення (C_2). Час накопичення (t_H) залежить від об'єму накопичення й способу його створення, від допустимого ступеня негерметичності об'єкта випробування, а також від зміни обраної величини концентрації гелію в об'ємі накопичення від течії об'єкта випробування. Час накопичення (t_H) визначається розрахунком або експериментально.

Величину концентрації гелію в об'ємі накопичення (C_2) після повторного заміру розраховують аналогічно концентрації C_1 і далі обчислюють різницю концентрацій гелію ΔC для кожного об'єму накопичення:

$$\Delta C = C_2 - C_1.$$

Об'єкт випробувань (з'єднання, зварний шов, ділянка поверхні й т.ін.) вважається герметичним, якщо виконується нерівність

$$\Delta C \leq 0,6 \cdot K.$$

У разі необхідності ступінь негерметичності розраховується за формулою

$$Q_{ОВ} = DC \frac{V_H \cdot P}{t'_H \cdot C'_{ОВ}},$$

де $Q_{ОВ}$ – ступінь негерметичності об'єкта випробування, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; ΔC – зміна концентрації гелію в об'ємі накопичення за час t_H , %; V_H – величина об'єму накопичення, м^3 ; P – величина атмосферного тиску, Па; t'_H – фактичний час накопичення, с; $C'_{ОВ}$ – фактична концентрація гелію в об'єкті випробування, %.

1.9.2. Галогенний метод контролю герметичності

Метод заснований на використанні ефекту збільшення термоіонної емісії з поверхні розжареної платини в присутності галогеномістких речовин (хладони, чотирихлористий вуглець і т.д.). Явище спостерігається як при атмосферному тиску, так і у вакуумі, але в будь-якому разі необхідна присутність деякої кількості кисню або повітря.

У практиці проведення випробувань цим методом як пробні гази викорис-

товуються галогеновмісні речовини (газоподібні фреони 12 і 22, пари хладону-113, елегаз (шестифториста сірка) й інші речовини.

Випробування галогенним методом зводяться до заповнення об'єкта випробування контрольним газом (сумішшю повітря із пробним газом) і реєстрації пробного газу, що проникає крізь течу, галогенним течешукачем.

Для реєстрації пробного газу під час випробувань на герметичність галогенним методом використовують пересувні й стаціонарні промислові галогенні течешукачі марок ГТИ-6, БГТИ-7/1, ТИ2-8/1 й ін., що серійно випускаються.

Як правило, випробування чистим фреоном проводять у разі невеликих об'ємів об'єкта випробування. Попередньо за допомогою вакуумних насосів з об'єкта випробування відкачують повітря, створюючи невелике розрідження, потім його заповнюють фреоном, тиск якого обмежується пружністю парів фреону за температури випробувань. Наприклад, за температури 293 К (20°C) тиск парів фреону становить 0,573·МПа. Після заповнення об'єкта випробування фреоном здійснюють обстеження за допомогою щупа галогенного течешукача.

Під час випробувань сумішшю фреону з повітрям в об'єкт випробувань під тиском впускають спочатку деяку кількість газоподібного фреону, а потім подають стиснене повітря для створення необхідного тиску суміші фреону й повітря. Цим забезпечується необхідна чутливість випробувань за малої концентрації фреону як пробної речовини.

Після проведення випробувань суміш видаляють із об'єкта випробувань шляхом використання системи регенерації.

Чутливість випробувань галогенним течешукачем визначають за формулою

$$Q = \frac{1 \times 10^{-7}}{C(P_c^2 / P_a^2 - 1)} \frac{h_c}{h_e},$$

де Q – чутливість випробувань; C – концентрація фреону в суміші, P_c — тиск суміші газів; P_a — атмосферний тиск; η_c — в'язкість суміші газів, η_e — в'язкість повітря.

Змінюючи тиск суміші або концентрацію фреону, можна в широких межах змінювати чутливість випробувань.

Галогенний метод може бути реалізований тими ж способами й варіантами, що й мас-спектрометричний, і дозволяє проводити визначення сумарної негерметичності об'єкта випробувань і пошук локальних теч.

Вакуумний спосіб контролю герметичності реалізується за порівняно низького вакууму від 10^{-4} до 100 Па.

Галогенний метод поступається мас-спектрометричному за чутливістю, йому властиві деякі недоліки:

- у разі реєстрації великих або тривалих потоків пробного газу відбувається втрата чутливості галогенного течешукача через «отруєння» пробним газом його чутливого елемента, а це призводить до збільшення фонових показань, що обмежує чутливість випробувань і достовірність їх результатів;

- гранична величина випробного тиску обмежена тиском насичених парів фреонів і хладонів за температури випробувань (наприклад, за температури 25 °C

тиск насичених парів фреону-12 приблизно дорівнює 0,6 МПа, фреону-22 – 1,1 МПа).

Через зазначені недоліки галогенний метод у виробництві ракетно-космічної техніки має обмежене застосування й придатний у тих випадках, коли необхідно виключити застосування пробного газу гелію через конструктивні особливості об'єкта випробувань або можливість спричинення загазованості об'єкта пробним газом на наступні випробування.

1.10. Хімічні методи контролю герметичності

У разі використання хімічного методу на поверхні контрольованого на герметичність виробу зовні наносять індикаторний склад. Сам виріб заповнюють рідким або газоподібним середовищем, до складу якого входить активна пробна речовина – один з компонентів індикаторної реакції.

Проникаючи крізь течі, пробна речовина вступає в хімічну реакцію з компонентами індикаторного складу. У результаті реакції в місцях теч виникають кольорові плями на індикаторному покритті. Розмір і швидкість росту плям визначається величиною течі.

Вид застосовуваної індикаторної реакції визначає вибір пробної речовини, яким може бути аміак, вуглекислий газ, біхромат калію й ін.

У табл. 1.7 наведені використовувані індикаторний склад, контрольне (пробне) середовище для різних хімічних методів випробувань на герметичність.

Індикаторний склад являє собою пастоподібну однорідну масу, що добре зчіплюється з поверхнею. Замість індикаторної пасти також застосовують тканинні або паперові індикаторні стрічки, виготовлені на основі бавовняної тканини або фільтрувального паперу, попередньо просочені розчином індикаторного складу до рівномірного забарвлення. Після просочення стрічки віджимають і сушать. Під час контролю індикаторні стрічки накладають і закріплюють на контрольованій ділянці поверхні до подачі в об'єкт випробування контрольного (пробного, іспитового або робочого) середовища.

Місця теч реєструють візуально за появою кольорових плям на індикаторній стрічці. Контрольовані ділянки вважаються герметичними в межах чутливості обраного способу, якщо під час випробувань, після встановленої витримки, витіки не виявлені.

Як приклад розглянемо процес контролю герметичності, у якому контрольним середовищем є рідина «Лена-40» (ТУ 6-01-7-172-85), а засобом індикації – індикаторні стрічки на основі індикатора бромкрезолового зеленого.

Спосіб приготування індикаторних стрічок. В одному літрі ацетону розчиняють 4 г індикатора бромкрезолового зеленого. Колір отриманого розчину – жовтий. Розчин може зберігатися в щільно закритому скляному посуді без втрати вихідних властивостей не менше півроку.

Таблиця 1.7

**Індикаторний склад, контрольне середовище хімічних методів
випробувань виробів на герметичність**

Контрольна речовина	Контрольне середовище	Індикаторна речовина	Компоненти індикаторного складу	Чутливість методу, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$
Аміак	Повітряно-аміачна суміш (1% NH_3)	Фенолфталеїн	Стрічка на основі паперу або бавовняної тканини	$1 \cdot 10^{-7}$
		Бромфеноловий синій	Стрічка на основі паперу або бавовняної тканини	$1 \cdot 10^{-8}$
		Конго червоний	Стрічка на основі паперу або бавовняної тканини	$1 \cdot 10^{-8}$
		Антрахіноновий яскраво-синій	Стрічка на основі паперу або бавовняної тканини	$1 \cdot 10^{-7}$
		Бромкрезоловий червоний	Агар етиловий, гліцерин, вода (рН 6,0 – 6,8)	$1 \cdot 10^{-7}$
	Повітряно-аміачна суміш (2 – 5 % NH_3)	Бромотимоловий синій	Хлорид кальцію, гліцерин, їдкий натр, етиловий спирт, вода, бавовняна стрічка	$5 \cdot 10^{-8} - 1 \cdot 10^{-7}$
			Соляна кислота, пориста кварцова кераміка	$5 \cdot 10^{-4} - 2,5 \cdot 10^{-3}$
Вуглекислий газ	Вуглекислий газ	Бромотимоловий синій	Бавовняна тканина	$1 \cdot 10^{-7}$
		Бромотимоловий синій, феноловий червоний, метиловий червоний		$1 \cdot 10^{-7}$
Біхромат калію	Водний розчин (1 % -й) біхромату калію	Дифенілкарбазид	Трилон Б, сульфат марганцю	$1 \cdot 10^{-7}$
	Водний розчин (0,1 – 1,0 % -й) біхромату калію	Бензидин	Етилцелюлоза, поверхнево-активні речовини, ацетон	$1 \cdot 10^{-8}$

Батистові стрічки необхідної довжини й ширини занурюють в ацетоновий розчин бромкрезолового зеленого й витримують у ньому протягом 5 хв. Далі стрічки витягають із розчину й сушать за кімнатної температури протягом 20 – 30 хв. Колір сухих індикаторних стрічок – жовтий.

Сухі індикаторні стрічки зберігають у поліетиленових пакетах (запаяних або заклеєних липкою стрічкою). У такому впакуванні індикаторні стрічки можуть зберігатися протягом 6 місяців.

Контроль герметичності. Поверхня, що підлягає контролю герметичності, повинна бути очищена від пилу, бруду й вологи. Індикаторні стрічки накладають

на ділянку поверхні, що перевіряється, закривають поліетиленовою плівкою з липким шаром і закріплюють їх.

Випробовуваний виріб заповнюють рідиною «Лена-40», підвищують тиск до значень, що відповідають вимогам конструкторської документації. Витримують виріб під випробним тиском протягом не менше 4 год і здійснюють візуальний огляд індикаторної стрічки.

Темно-сині плями на стрічці свідчать про наявність місця течі. Чутливість даного способу становить $7,0 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$.

Хімічні методи поки не здобули значного поширення у виробничій практиці виготовлення ракетно-космічної техніки.

Питання і завдання до розділу 1

1. Укажіть найпоширеніші причини виникнення негерметичності виробів з металевих матеріалів і параметр, що використовується як узагальнена характеристика негерметичності наскрізного каналу.

2. Що називають нормою негерметичності, і які норми герметичності існують за визначенням?

3. Які види речовин використовуються під час виробничого контролю герметичності?

4. Що називають течошукуванням і як називають прилад для виявлення теч?

5. У чому полягає система технологічних заходів щодо забезпечення герметичності в ракетно-космічній техніці?

6. Укажіть основні методи підготовки поверхонь і контролю їх чистоти.

7. Укажіть способи механічного очищення поверхонь виробів.

8. У яких випадках застосовують хімічні способи очищення поверхонь виробів?

9. Чим небезпечна наявність рідини в мікронещільностях?

10. Поясніть необхідність сушіння поверхонь виробів перед випробуванням на герметичність.

11. Які методи сушіння поверхонь застосовують у виробництві ракетно-космічної техніки?

12. Які чинники впливають на вибір температури і часу сушіння виробів з алюмінієвих сплавів?

13. У чому сутність термоградієнтного сушіння виробів?

14. За якими критеріями класифікують методи контролю герметичності?

15. Які способи манометричного контролю герметичності застосовуються у виробництві ракетно-космічної техніки?

16. Наведіть способи підвищення точності вимірювання негерметичності за спадом тиску у виробі.

17. У чому сутність вакуумно-деформаційного методу випробування на герметичність?
18. Які методи належать до групи гідрогазодинамічних методів?
19. Якими способами реалізують пухиркові методи контролю герметичності?
20. Поясніть принцип методів пінного індикатора та дисперсної маси і сферу їх застосування для контролю герметичності виробів ракетно-космічної техніки.
21. Які з газоаналітичних методів контролю герметичності найпоширеніші у виробництві ракетно-космічної техніки?
22. Якими способами реалізують мас-спектрометричні методи контролю герметичності?
23. Які способи реалізації мас-спектрометричних методів контролю герметичності відносять до атмосферних, а які – до вакуумних і чому?
24. Поясніть принцип галогенних методів контролю герметичності.
25. Наведіть способи реалізації хімічних методів контролю герметичності у виробництві ракетно-космічної техніки.

Розділ 2

ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИПРОБУВАНЬ НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ

2.1. Технічні завдання, виконувані під час проектування технологічного процесу випробування на герметичність

Конструктор під час проектування нових виробів і їх частин закладає в конструкцію певні технологічні рішення (види обробки, застосовуваних з'єднань), провадить членування конструкції на агрегати, вузли, деталі, визначає види контролю-випробувальних робіт, необхідні для одержання виробу високої якості. Тобто в процесі конструювання формується технологічний вигляд виробу – об'єкта виробництва, а спроектована конструкція обумовлює конструкторсько-технологічне рішення окремих її частин: днищ, корпусів, трубопроводів і інших вузлів, деталей тощо.

Конструкторсько-технологічне рішення визначає не тільки параметри якості конструкції (масу, надійність, жорсткість, міцність, герметичність), а й техніко-економічні показники виробництва: трудомісткість, собівартість виготовлення, витрати і цикл технологічної підготовки виробництва. Звідси випливає, що в процесі проектування потрібно вибирати таке конструкторсько-технологічне рішення кожної розглянутої частини виробу, яке, з одного боку, задовольняло б вимоги, поставлені до розглянутої частини конструкції як до елемента великої технічної системи в цілому, і, з іншого боку, відповідало б сучасному рівню розвитку технології виробництва.

Це завдання виконують за допомогою системного й комплексного аналізу варіантів конструкторсько-технологічних рішень. Для цього оцінюють техніко-економічні показники процесу виготовлення конструкції.

Зміни в конструкції, що з'являються в період підготовки виробництва й серійного виготовлення конструкції та спрямовані на поліпшення певних її параметрів, вимагають додаткових витрат на зміну конструкторської й технологічної документації, переробку оснащення, доробку обладнання, можливі втрати матеріальної частини й т.д. Тому чим пізніше (за етапами життєвого циклу) здійснюються конструкторські зміни, тим дорожче вони обходяться.

Таким чином, для підвищення якості проектування й скорочення циклу й витрат на технологічну підготовку виробництва необхідно одночасно створювати конструкторську й технологічну документацію. Із цього випливає, що найважливіший етап проектування технологічного процесу випробувань – аналіз конструкторсько-технологічного рішення об'єкта виробництва, в основу якого повинен бути покладений спільний аналіз вимог до випробувань, які поставлені у конструкторській та науково-технічній документації й базовому технологічному процесі випробувань.

У результаті цього аналізу повинні бути сформульовані:

– вимоги, обумовлені особливостями конструкції об'єктів випробувань, виходячи з конструкторсько-технологічного рішення;

- технологічні вимоги до випробувань;
- технічні вимоги до методів контролю;
- вимоги безпеки випробувальних робіт;
- об'єми й технічні характеристики засобів технологічного оснащення процесу випробувань.

Структурна схема випробувань об'єкта виробництва формується відповідно до прийнятої схеми конструкторсько-технологічного членування.

Місце операцій випробувань у технологічному процесі складання-зварювання повинне мати технічну й економічну доцільність. Повинні бути розв'язані задачі з мінімізації втрат матеріальної частини й витрат на ремонтно-відновлювальні роботи з усунення дефектів, виявлених під час проведення випробувань.

Вимоги до випробувань (включаючи схеми випробувань), з огляду на конструктивні особливості об'єкта випробувань передбачають виконання таких завдань:

1. Практичне забезпечення міцності й герметичності технологічних з'єднань «об'єкт випробувань – технологічне пристосування».

2. Збереження об'єкта випробувань від руйнування в процесі підготовки, проведення й закінчення випробувань (режими подачі, скидання тиску, допустимі перепади тисків у суміжних порожнинах, режими випробувань у вакуумній камері, напуск атмосфери у вакуумну камеру й т.д.).

3. Оптимізація кількості навантажень об'єкта випробувань випробувальним тиском з допуском за конструкторською документацією.

4. Пошук оптимальних методів з локалізації теч за сумарної оцінки герметичності об'єкта випробувань і способів їх реалізації.

5. Визначення допустимості і часу контактів об'єкта випробувань із технологічними середовищами й речовинами (контрольними, індикаторними й пробними речовинами, газами, рідинами, розчинами й т.ін.).

6. Доробка або проектування нових технологічних засобів проведення випробувань.

7. Вибір методів і режимів сушіння об'єкта після гідровипробувань і перед випробуваннями на герметичність.

Вимоги до випробувань передбачають виконання таких технологічних завдань.

1. Визначення умов і часу зберігання об'єкта випробувань від зварювання, сушіння до випробувань на герметичність.

2. Визначення складу контрольного й індикаторного середовищ для забезпечення необхідної чутливості методу контролю герметичності.

3. Вибір способів заповнення об'єкта випробувань контрольным середовищем у разі випробувань на герметичність, що забезпечують допустиму нерівномірність концентрації пробної речовини в контрольному середовищі.

4. Забезпечення допустимих значень залишкового вмісту технологічних середовищ і речовин у порожнинах і на поверхні об'єкта випробувань.

5. Забезпечення чистоти внутрішніх порожнин і зовнішніх поверхонь

об'єктів випробувань під час підготовки, проведення й закінчення випробувань.

6. Відпрацьовування технологічних режимів випробувань – часу на змішування, накопичення, вирівнювання температури в об'єкті випробувань (після подачі тиску), визначення помилкових витоків і т.д.

7. Повторні випробування на міцність і герметичність після усунення негерметичності.

8. Аналіз конструкції об'єкта випробувань із позиції можливої появи помилкових теч (за рахунок загазованості пробною речовиною на попередніх операціях).

9. Вибір методів видалення пробної речовини з порожнин об'єкта випробувань для забезпечення проведення наступних випробувань.

10. Забезпечення допустимої концентрації пробної речовини в атмосфері виробничого приміщення для проведення контролю герметичності.

Вимоги конструкторської й нормативної документації до контролю герметичності передбачають виконання таких завдань.

1. Техніко-економічне обґрунтування методів випробувань і контролю.

2. Вибір засобів і способів контролю для забезпечення вимірювань і достовірності результатів випробувань.

Технічні завдання із забезпечення техніки безпеки такі.

1. Вироблення технічних пропозицій щодо виключення можливих причин позаштатних ситуацій у процесі підготовки, проведення й закінчення випробувань.

2. Захист виробничого персоналу від впливу шкідливих факторів у процесі випробувань.

Всі сформульовані вимоги повинні бути реалізовані у процесі розробки схем випробувань, засобів технологічного оснащення й вибору методів і технологічних режимів підготовки, проведення й закінчення процесу випробувань.

2.2. Розробка технологічного процесу випробувань на герметичність

Питання розробки технологічних процесів випробувань на герметичність вирішуються на підставі всебічного аналізу конструктивно-технічних характеристик об'єкта випробування (аналізу підлягають графічні й текстові документи, креслення, технічні умови, програми-методики й т. ін.), на основі нормативно-технічної документації, яка діє в галузі, а також з урахуванням техніко-економічних можливостей виробництва й напрямків його розвитку.

Конструктивні й технічні характеристики об'єкта випробування значною мірою визначають основне коло технічних завдань і ступінь складності їх практичного виконання.

Тому аналізу конструктивних особливостей об'єкта повинно бути приділено особливу увагу.

До конструктивних характеристик об'єкта випробування належать:

- застосовувані конструкційні матеріали;
- типи з'єднань;

- конструктивна міцність;
 - габарити, маса, об'єми порожнин;
 - характер, величини й напрямки силових навантажень під час випробувань
- і т. д.

До технічних характеристик об'єкта належать:

- норми герметичності;
- ступінь складності й доступності для випробувань течешукачами;
- ступінь складності й доступності для зовнішнього огляду контрольованих поверхонь;
- умови й можливості вакуумування;
- сумісність із контрольними й індикаторними речовинами (середовищами);
- енергоємність і т. д.

До техніко-економічних можливостей виробництва належать:

- наявність відпрацьованої технології й засобів випробувань;
- типи, параметри й кількість наявного випробувального обладнання, включаючи й засоби забезпечення безпеки й промислової санітарії;
- енергоємність випробувальних робіт;
- трудомісткість випробувальних робіт і тривалість циклу;
- вартість допоміжних матеріалів;
- намічена програма випуску.

Розробка технологічного процесу випробувань на герметичність зводиться до такого (рис. 2.1):

- 1) установлення технічних вимог до процесу випробувань стосовно об'єкта випробувань;
- 2) вибір методів контролю міцності, герметичності;
- 3) розробка складу технологічних операцій випробувань;
- 4) розробка технологічних схем випробувань;
- 5) призначення параметрів і режимів технологічних операцій;
- 6) вибір засобів технологічного оснащення;
- 7) розробка вимог безпеки випробувальних робіт;
- 8) розрахунок кількості допоміжних матеріалів;
- 9) нормування технологічних операцій;
- 10) оформлення комплекту технологічної документації.

Технологічний процес випробувань на герметичність у своїй основі являє собою сукупність операцій, здійснюваних на одному робочому місці з моменту установки об'єкта випробування у випробувальний стенд і до знімання його зі стенда. У технологічний процес входять підготовчі, випробувальні, контрольні й заключні операції. Структурна схема технологічного процесу випробувань подана на рис. 2.2.

У кожному разі технологічний процес випробувань будується таким чином, щоб виконати наведені нижче загальні вимоги.

1. Умови навантаження виробів необхідно максимально наблизити до експлуатаційних, тобто випробувальний тиск повинен бути рівним робочому. У деяких випадках, якщо чутливість методу контролю герметичності висока, то ви-

пробування проводять за зниженого тиску. Якщо чутливість до $10^{-7} \text{ м}^3 \cdot \text{Па/с}$, випробувальний тиск може бути розрахований за формулою

$$P_{\text{ВИПР.}} = \sqrt{(P_{\text{РОБ.}}^2 - P_0^2) \frac{Q_{\text{ВИПР.}}}{Q_P} + P_0^2},$$

де $P_{\text{РОБ.}}$ – робочий тиск; P_0 – тиск навколишнього середовища; $Q_{\text{ВИПР.}}$ – чутливість методу випробувань, Q_P – необхідна за технічними умовами чутливість (необхідна норма герметичності об’єкта випробувань).

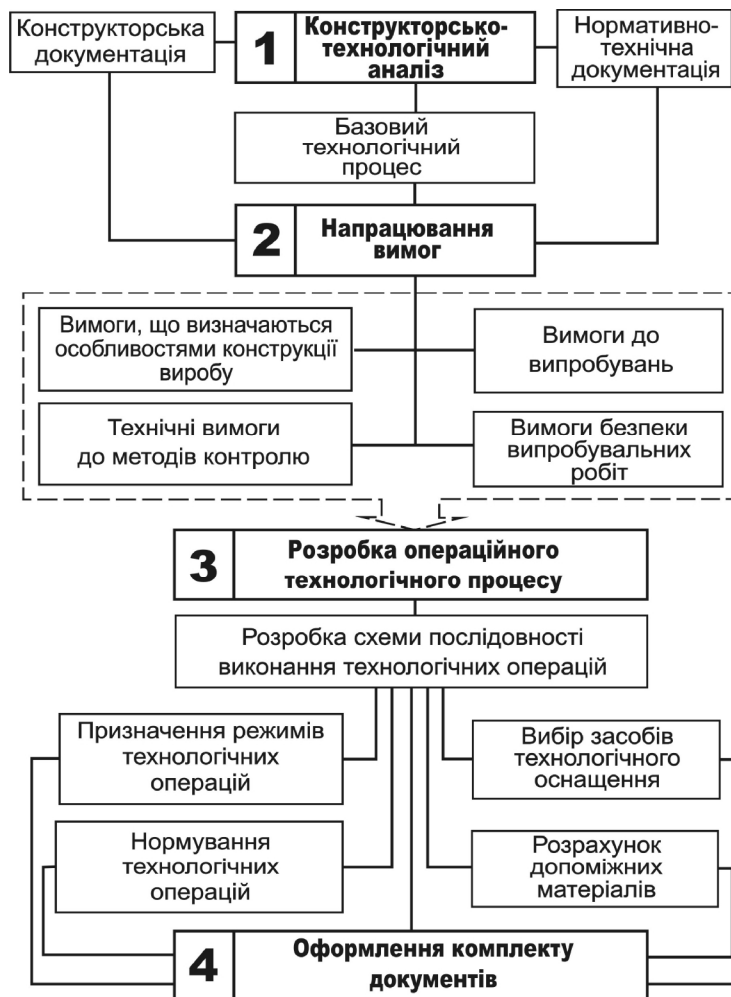


Рис. 2.1. Послідовність розробки технологічного процесу випробувань виробу

Для випробувань у вакуумній камері або за високого робочого тиску, тобто якщо $P_{\text{РОБ.}} \gg P_0$, розрахунок роблять за спрощеною формулою

$$P_{\text{ВИПР.}} = P_{\text{РОБ.}} \sqrt{\frac{Q_{\text{ВИПР.}}}{Q_P}}.$$

Однак випробування за зниженого тиску так само, як і за підвищеного, не завжди дозволяють надійно виявляти течі, тому що напружений стан об’єкта випробування не відповідає робочому і течі можуть бути закриті за рахунок деформації матеріалу.

2. Режими випробувань у технологічному процесі повинні забезпечувати умови надійної індикації теч обраним методом. Наприклад, необхідно передбачити витримку під випробувальним тиском, достатню для проникнення контрольного середовища через наскрізні мікродофекти й накопичення його на виході з дофектів з метою надійної індикації.



Рис. 2.2. Структурна схема технологічного процесу випробувань

3. Технологічний процес повинен включати заходи, що гарантують безпеку персоналу. Суть полягає в тому, щоб під час навантаження об'єкта випробувальним тиском робітники й обслуговуючий персонал перебували в безпечній зоні. Ця вимога виконується, по-перше, розміщенням об'єкта випробувань у бронезахисній споруді, по-друге, шляхом дистанційного спостереження за об'єктом. Дистанційність досягається у тому числі застосуванням хімічних і фізико-хімічних методів випробувань, що мають «пам'ять» засобів індикації. У цьому випадку нанесення засобів індикації на виріб, огляд з метою виявлення теч і видалення засобів індикації здійснюють без тиску або з попереднім (незначним) тиском в об'єкті випробування. Подають випробувальний тиск і витримують при ньому тільки після того, як робітники і обслуговуючий персонал залишають бронезахисну споруду.

4. Технологічний процес випробування повинен забезпечувати збереження виробу. А отже, необхідно виключити потрапляння в порожнину виробу сторонніх предметів і бруду, вжити заходів, що запобігають створенню неприпустимих перепадів тисків між порожнинами виробу, якщо в ньому кілька порожнин (наприклад, єдиний паливний відсік із проміжним днищем). Обов'язково необхідно враховувати корозійний вплив контрольних і індикаторних середовищ на конструкційні матеріали об'єкта випробування. Тому технологічним процесом повинен передбачатися мінімальний час контакту матеріалу виробу з технологічними середовищами, а також знаходження виробу у вологому стані після гідровипробувань і миття.

2.2.1. Технічні вимоги до процесу випробувань стосовно об'єкта випробувань

Технічні вимоги до розроблювального процесу випробувань формують за результатами технологічного аналізу конструкторської, нормативно-технічної й технологічної документації.

Вони повинні відображати таке.

1. Вид контролю – сумарний, локальний або той й інший одночасно для випробувань на герметичність.

2. Способи й режими підготовки об'єкта виробництва до випробувань на герметичність (підготовка поверхонь і сушіння).

3. Вибираючи метод й режими сушіння, необхідно виходити з виду контролю й технологічних норм герметичності, а також можливостей конструкції об'єкта сприймати технологічні впливи (температура, тиск) у процесі підготовки, проведення й закінчення сушіння.

4. Вимоги до контрольних середовищ. Повинен бути зазначений агрегатний стан контрольної речовини (газ, пара, рідина), вимоги щодо вологості (для газів), ступінь фільтрації перед подачею в об'єкт випробувань і т. ін.

5. Конструктивні, технічні й технологічні фактори, які окремо або в сукупності можуть впливати на об'єкт випробування щодо його збереження в процесі підготовки, проведення й закінчення випробувань.

6. Виробничі умови проведення випробувань. Виробничі умови проведення випробувань на герметичність характеризуються кліматичними параметрами атмосфери виробничих (випробувальних) приміщень, рівнем загазованості її (або робочих зон робочих місць) пробними газами, шкідливими речовинами, а також санітарним станом випробувальних приміщень, робочих місць і їх освітленістю.

Кліматичні параметри (температура, вологість, атмосферний тиск) атмосфери виробничих (випробувальних) приміщень регламентується конструкторською, нормативно-технічною документацією, а також експлуатаційною документацією на випробувальне обладнання й засоби вимірювань.

Під час встановлення кліматичних параметрів необхідно пам'ятати про те, що достовірність результатів випробувань на герметичність деякими методами (наприклад, за спадом тиску) перебуває в тісному взаємозв'язку зі стабільністю зовнішнього середовища, зокрема зі сталістю температури й атмосферного тиску. Від вологості, температури та їх добового коливання залежить час зберігання об'єкта виробництва після сушіння або зварювання до проведення випробувань на герметичність.

Рівень загазованості атмосфери робочих місць пробними газами регламентується вимогами забезпечення чутливості схем газоаналітичних методів. Загазованість атмосфери випробувальних приміщень, робочої зони робочих місць і випробувального обладнання шкідливими речовинами обмежується граничнодопустимими концентраціями, установленними ТУ на ту або іншу речовину, а також санітарно-гігієнічними вимогами до повітря робочих зон державних і галузевих стандартів і інструкцій підприємств.

Рівень освітленості робочих місць призначається з умов забезпечення якіс-

ного зовнішнього контролю (огляду) під час виконання різних видів робіт. Розрізняють загальне й місцеве освітлення. Проблема освітлення вирішується під час проектування робочих місць і обладнання.

2.2.2. Вибір варіантів технологічних процесів випробувань

Вибираючи варіанти технологічних процесів випробувань на герметичність, необхідно керуватися наступними загальними рекомендаціями:

- обраний варіант повинен забезпечувати чутливість випробувань, яка гарантує виявлення теч, що відповідають заданим у конструкторській документації нормам герметичності;

- вибір доцільно проводити одночасно для всіх складальних одиниць, проводячи погоджування варіантів, застосовуваних для випробувань складальних одиниць на різних стадіях випробувань;

- необхідно застосовувати варіанти навантаження тиском, що відповідають робочим навантаженням (установлюється конструкторською документацією). Здійснювати випробування зворотним перепадом тиску не рекомендується;

- під час вибору варіантів випробувань на послідовних стадіях складання необхідно враховувати, що загазованість пробним газом на початкових етапах випробувань може утруднити досягнення необхідної чутливості на наступних етапах. У таких випадках на різних етапах варто застосовувати варіанти з різними пробними речовинами, що спричинить погіршення техніко-економічних показників виробництва, або передбачати заходи щодо видалення пробної речовини з об'єкта випробувань після закінчення контролю герметичності.

Критерієм вибору економічно доцільного варіанта технологічного процесу з декількох, що мають однакові можливості, можуть слугувати мінімуми приведених витрат або тривалість циклу.

2.2.3. Вибір методів контролю герметичності

Основним компонентом технологічного процесу випробувань на герметичність є метод контролю. Від правильності вибору методів контролю герметичності й способів їх реалізації в технологічному процесі залежить як якість об'єкта випробувань, так і економічні характеристики виробництва. Метод також повинен забезпечувати проведення випробувань в умовах, що відповідають вимогам нормативно-технічної документації з техніки безпеки й промислової санітарії.

Вибір методу контролю герметичності здійснює конструктор-розроблювач виробу й погоджує його з технологом, відповідальним за забезпечення виробничих випробувань. При цьому в конструкторській документації повинні бути наведені технічні вимоги з контролю герметичності:

- 1) вид контролю (сумарний, локальний), технологічна норма герметичності;
- 2) тиск контрольного середовища;
- 3) контрольне середовище;
- 4) методи й режими підготовки поверхонь перед випробуваннями.

Однак на практиці розроблювач виробу часто в конструкторській документації обмежується тільки регламентацією виду контролю, технологічною нормою гер-

метичності, величиною тиску контрольного середовища. У цьому випадку розроблювачеві технологічного процесу доводиться самостійно визначати метод контролю герметичності, а також метод і режим підготовки поверхонь перед випробуванням.

Під час вибору методу контролю герметичності необхідно іти від загального до часткового.

Спочатку необхідно з усієї розмаїтості методів відібрати ті, які за своїм призначенням забезпечують вид контролю, установлений у конструкторській документації.

Потім треба з відібраних методів виділити ті, які за чутливістю задовольняють вимоги з оцінки герметичності.

Наступним кроком у виборі методу є встановлення обмежень застосування того або іншого методу. Для цього проводиться спільний аналіз конструктивних, технічних характеристик об'єкта випробування й нормативно-технічної документації щодо методів контролю і їх застосування.

Завершальним етапом вибору методу контролю є порівняльний аналіз економічних витрат на впровадження обраних методів, стосовно об'єкта випробування, у діючому виробництві.

2.2.4. Вимоги до чистоти зовнішніх поверхонь і внутрішніх порожнин

Випробування на герметичність прямо пов'язані з технологічним впливом засобів випробувань на зовнішні поверхні й внутрішні порожнини об'єктів випробувань. Ці впливи по своїй суті, як правило, негативно відбиваються на чистоті, як зовнішніх поверхонь, так і порожнин.

Найважливішим завданням під час розробки технологічного процесу випробувань є розробка технологічних і організаційних заходів щодо виключення або мінімізації негативних наслідків цих впливів. А відтак особлива увага повинна бути приділена заходам, пов'язаним із забезпеченням чистоти порожнин.

У виробництві РКТ діє нормативно-технічна документація, у якій сформульовані вимоги до всіх складників технологічного процесу випробувань (об'єкта випробування, випробувального обладнання й оснащення, виробничих приміщень і робочих місць і т. ін.), а також до організації й порядку проведення робіт.

Суть цих вимог зводиться до такого.

1. Всі складальні одиниці й вироби, що надходять на випробування, по закінченні цих випробувань повинні піддаватися зовнішньому огляду стосовно чистоти, відсутності механічних ушкоджень і закриття порожнин.

2. Випробувальні середовища (рідини, гази, газові суміші й т. ін.) під час випробувань повинні відповідати вимогам конструкторської документації.

3. Знімні й стаціонарні комунікації (шланги, трубопроводи, арматура й т. ін.) схем випробування, що подають випробувальне середовище в об'єкт випробування, а також схем виміру тиску перед початком роботи повинні бути продуті стисненим повітрям. Після закінчення випробування комунікації повинні бути закриті заглушками.

4. На магістралях, що подають випробувальні середовища, безпосередньо

перед об'єктом повинні бути встановлені фільтри. Ступінь фільтрації випробувальних середовищ задається конструкторською документацією.

5. Все випробувальне оснащення (включаючи ущільнювальні елементи) до й після випробувань підлягають зовнішньому огляду стосовно чистоти, відсутності механічних ушкоджень (покривів) і комплектності.

6. Все оснащення, що надходить у виробничі підрозділи, ущільнювальні елементи підлягають кількісному обліку.

7. На робочих місцях і в зонах випробувального обладнання (бронекабінах, боксах, броневаннах й т.ін.) повинна підтримуватися чистота шляхом періодичного очищення й т.д.

2.2.5. Склад технологічних операцій і послідовність їх виконання

Технологічні операції характеризують три етапи процесу підготовки, проведення й закінчення випробування.

Кількісний і якісний склад операцій обумовлений виробленими технологічними вимогами до процесу випробувань, конструктивними особливостями об'єкта випробування (наприклад, контроле- і ремонтпридатність), обраного методу контролю, застосовуваного випробувального обладнання.

Перший етап може включати транспортувальні й вантажопідйомні операції, операції підготовки об'єкта до випробувань (підготовка поверхонь, сушіння, зовнішній огляд), операції складання схеми випробувань, підготовки випробувального обладнання до проведення випробувань і т. ін.

Операції другого етапу визначають послідовність і динаміку навантаження об'єкта до випробувальних тисків, контроль його відповідності вимогам конструкторської документації, а також скидання тиску, видалення середовища навантаження з об'єкта по завершенні контролю тощо.

Закінчення випробування пов'язують із операціями демонтажу схем випробувань, приведення обладнання у вихідне положення, огляду об'єкта на чистоту й відсутність механічних та інших ушкоджень, закриття порожнин, оформлення документів і т. ін.

2.2.6. Розробка технологічної схеми випробування

Схема випробування – це графічне зображення технологічних зв'язків об'єкта випробування з випробувальним обладнанням і робочого місця для проведення випробування відповідно до вимог конструкторської документації.

Склад схеми випробувань, як правило, визначається конструктивними особливостями об'єкта випробування, методом контролю й способом його реалізації та застосовуваним випробувальним обладнанням.

В узагальненому варіанті схема випробування повинна включати:

1) ескіз або умовну позначку об'єкта випробування із вказівкою порожнин, що навантажуються тиском контрольної речовини й відтискаються, місця (штуцери, фланці, рознімання й т. ін.) підстикування випробувального оснащення, схеми установаження заглушок, перехідників, пристроїв із вказівкою місць ущільнень;

умовні позначки випробувальних стендів, пультів, бронезахисних пристроїв і т. ін. робочого місця;

2) пневмогідравлічні системи подачі, скидання й вимірювання тиску із вказівкою місць установлення фільтрів, засобів захисту від перевищення тиску; електричні зв'язки об'єкта випробування з обладнанням, засобу вимірювання параметрів випробувань;

3) місця стравлювання повітряних подушок з об'єкта в разі заповнення його рідиною, а також напуску атмосфери під час зливу з нього рідини й т.ін.

Розробляючи схему слід виходити з необхідності виконання установлених конструкторською документацією режимів випробувань, забезпечення безпеки робіт і збереження об'єкта випробувань. Однією з умов забезпечення безпеки випробувальних робіт і збереження об'єкта є міцність і герметичність технологічних з'єднань (об'єкт випробування – технологічний пристрій).

Спроектоване й виготовлене технологічне оснащення повинне мати необхідний запас міцності, виключати можливість ушкодження об'єкта випробування, забезпечувати герметизацію об'єкта й не перешкоджати проведенню випробувань.

2.2.7. Призначення параметрів і режимів технологічних операцій

Параметри й режими процесу випробувань на герметичність можуть регламентуватися конструкторською, нормативно-технічною документацією або встановлюватися розроблювачем технологічного процесу, виходячи з технічної сутності методу контролю й способу його реалізації, конструктивних особливостей об'єкта випробування, складу контрольної й індикаторної речовин, технічних характеристик випробувального обладнання, схеми випробування, виробничо-економічної доцільності й т.д.

Параметри й режими випробувань характеризуються значеннями й точністю їх вимірювань.

У свою чергу, точність вимірювання визначається похибкою обраного засобу вимірювання, контрольованого параметра, режимів.

Під час призначення режимів необхідно, як і під час розробки схеми випробування, виходити з необхідності забезпечення безпеки випробувальних робіт і збереження об'єкта випробування.

2.2.8. Збереження об'єкта випробувань

Найважливішим завданням виробничого процесу виготовлення РКТ є забезпечення збереження об'єкта виробництва на всіх етапах його виготовлення.

Зберегти об'єкт випробувань – це означає виключити його ушкодження (забоїни, вм'ятини, критичні залишкові деформації, несанкціоноване руйнування), забруднення його поверхні, порожнин технологічними або робочими рідинами, випробувальним обладнанням у процесі підготовки, проведення або закінчення випробувань.

Як показує виробнича практика, причини ушкоджень і забруднень об'єкта випробувань можуть бути різні, наприклад: втрата міцності й герметичності технологічних з'єднань, несправність випробувального обладнання, вантажопідйом-

них засобів, помилка виконавця й т. ін. Тому виконання завдання збереження об'єкта випробувань є комплексне і включає конструкторські, технологічні й організаційно-виробничі заходи.

Конструкторський складник цих заходів полягає у встановленні конструкторською документацією необхідних технічних вимог до проведення випробувань із урахуванням конструктивних особливостей, наприклад: режимів навантаження порожнин виробу тиском, допустимих перепадів тиску у суміжних порожнинах, послідовності перевірки різних систем, вимог до забезпечення конструктивних розмірів після проведення випробувань і т.д.

Відповідальним етапом виконання зазначеного завдання є етап розробки технологічних процесів, якому повинен передувати технологічний аналіз вимог конструкторської документації до випробувань і конструктивних особливостей об'єкта випробувань стосовно обраних способів і режимів реалізації всього комплексу технологічних операцій (переходів) підготовки, проведення й закінчення випробувань. У процесі цього аналізу повинне бути прогнозоване можливе виникнення ситуацій, що призведуть до ушкодження об'єкта випробування, і вироблені технологічні заходи щодо їх недопущення.

Технологічні заходи, як правило, включають проектування (добробку) випробувального, допоміжного обладнання, оснащення, пристосувань, інструмента, які за своїми конструктивними особливостями і характеристиками повинні забезпечувати виконання поставленого завдання.

Організаційно-виробничі заходи щодо забезпечення збереження об'єктів випробувань зводяться до такого:

- 1) виконання вимог конструкторської, технологічної й нормативно-технічної документації на об'єкт випробування;
- 2) підтримання в технічно справному стані засобів технологічного оснащення через дотримання строків періодичної перевірки й обсягів планово-попереджувального ремонту (ППР);
- 3) навчання й періодична переатестація виробничого персоналу, зайнятого підготовкою, проведенням і закінченням випробувань.

2.2.9. Заповнення виробів контрольними газами під час випробування на герметичність

У виробничій практиці випробувань ракетно-космічної техніки газоаналітичними методами застосовують ряд способів заповнення випробовуваних виробів контрольним газовим середовищем, яке отримують у результаті сумішоутворення пробного й баластного газів, наприклад гелію й повітря, поза об'єктом випробування або всередині нього.

До найпоширеніших способів заповнення об'єктів випробувань контрольним газом належать:

- заповнення контрольним газом, приготуванням у спеціальних газозмішувальних пристроях;
- почергове заповнення, коли в об'єкт випробування подається спочатку пробний, а потім баластний газ або, навпаки, баластний, а потім пробний газ.

Заповнення виробів контрольним газом із застосуванням газозмішувальних пристроїв.

Процес заповнення об'єкта випробування контрольним газом, приготовленим у газозмішувальному пристрої, може бути реалізований за двома варіантами: з попереднім вакуумуванням порожнини об'єкта випробування й без вакуумування об'єкта випробування.

Попереднє вакуумування об'єкта випробувань забезпечує надійне заповнення довільно розташованих зон перевірки з будь-якою заданою концентрацією пробного газу. Однак застосування цього варіанта можливе тільки для тих виробів, які за своїми конструктивними особливостями допускають вакуумування внутрішніх порожнин.

За принципом дії розрізняють статичні й динамічні газозмішувальні пристрої.

Статичний газозмішувальний пристрій являє собою технологічну посудину, у яку роздільно подається пробний і баластний газ, після чого й відбувається сумішоутворення. Тиск пробного газу в посудині визначається за формулою

$$P_{ПГ(ТЕ)} = \frac{(P_{КГ(ТЕ)} + 98)C}{100},$$

де $P_{ПГ(ТЕ)}$ – парціальний тиск пробного газу в технологічній посудині, кПа; $P_{КГ(ТЕ)}$ – надлишковий тиск контрольного газу в технологічній посудині; C – задана концентрація пробного газу.

Принципова структурна пневматична схема заповнення випробовуваного виробу із застосуванням статичного газозмішувального пристрою наведена на рис. 2.3. У разі заповнення технологічної посудини контрольним газом необхідне виконання нерівності

$$P_{КГ(ТЕ)} > P_{КГ(ВИР)},$$

де $P_{КГ(ВИР)}$ – тиск контрольного газу у випробовуваному виробі.

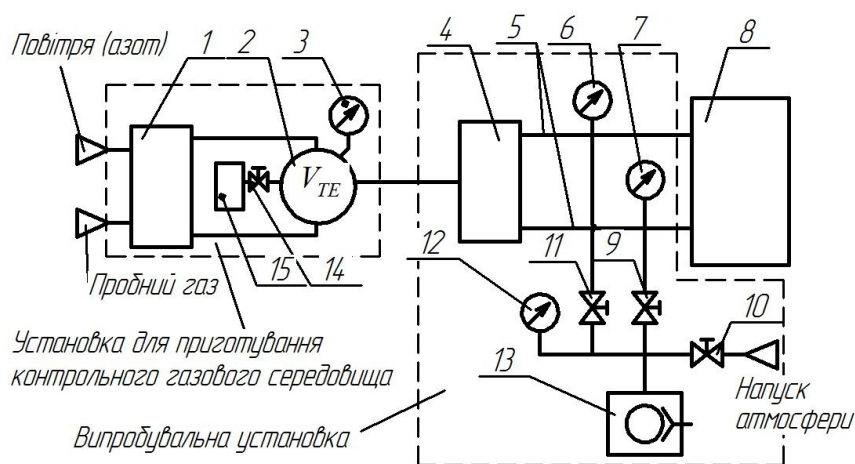


Рис. 2.3. Принципова структурна пневматична схема заповнення контрольними газами виробу:

- 1, 4 – пневмопульт; 2 – технологічна посудина; 3, 6, 7 – манометр (мановакуумметр); 5 – магістралі подачі контрольного газу у випробовуваний виріб; 8 – випробовуваний виріб; 9, 10, 11, 14 – вентиль; 12 – вакуумметр; 13 – вакуумний насос; 15 – газоаналізатор

Час витримки для утворення рівномірної концентрації пробного газу в технологічній посудині визначається шляхом вимірювання концентрації пробного газу газоаналізатором 15 (рис. 2.3).

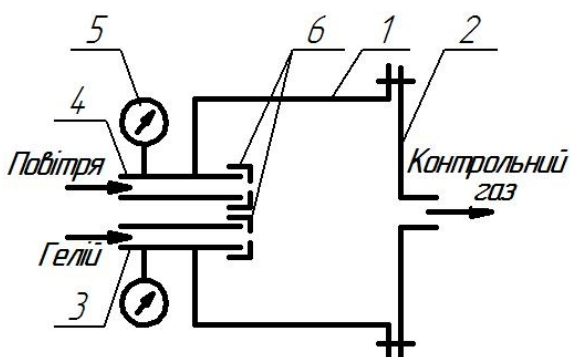


Рис. 2.4. Принципова схема динамічного газозмішувального пристрою:

1 – камера; 2 – кришка; 3,4 – трубопроводи для підводу повітря й гелію; 5 – манометр; 6 – змінні діафрагми

Перед подачею контрольного газу з технологічної посудини 2 у виріб 8 з його порожнини й порожнин магістралей 5 вакуумним насосом 13 повинне бути відкачане повітря до тиску 0,665 – 1,33 кПа.

Принципова схема одного з варіантів динамічного газозмішувального пристрою, у камері якого в процесі заповнення створюється гелієво-повітряна суміш із необхідною концентрацією гелію, наведена на рис. 2.4.

Принцип дії динамічних змішувальних пристроїв заснований на підсумовуванні сумішоутворювальних потоків через витратні елементи із заданим співвідношенням пропускних здатностей.

Процентний вміст гелію в контрольній речовині регулюється підбором відповідних діафрагм 6 на гелієвій 3 і повітряній 4 лініях (за постійного заданого тиску гелію й повітря на вході в змішувач) або за незмінних діафрагм підбором тиску гелію й повітря на вході в змішувач.

Режими роботи динамічних газозмішувальних пристроїв повинні підбиратися з урахуванням конструктивних особливостей об'єктів випробувань, технологічної схеми випробувань, величини випробувальних тисків і з контролем концентрації пробного газу на виході із системи й в об'єкті випробувань.

Заповнення виробів контрольним газом без застосування газозмішувальних пристроїв.

Заповнення випробуваних виробів без застосування газозмішувальних пристроїв зводиться до почергової подачі пробного й баластного газів в об'єкт випробувань. Вибору режимів заповнення об'єкта випробування контрольним газом повинен передувати аналіз конструктивних особливостей об'єкта випробувань, вимог конструкторської документації до випробувань, а також технологічної схеми випробувань із урахуванням забезпечення рівномірної концентрації пробного газу в об'єкті випробувань.

Роздільне заповнення виробу пробним і баластним газами необхідно робити з дотриманням таких рекомендацій:

– у разі заповнення через штуцер, розташований у верхній точці виробу, спочатку подавати газ із меншою молекулярною масою;

– у разі заповнення через нижній штуцер першим подавати газ із більшою молекулярною масою.

Тиск пробного газу в об'єкті випробування визначається за формулою

$$P_{ПГ} = \frac{(P_{КГ} + 98)C}{100},$$

де $P_{КГ}$ – надлишковий (випробувальний) тиск контрольного газу в об'єкті випробування, кПа; $P_{ПГ}$ – надлишковий тиск пробного газу в об'єкті випробування, кПа; C – концентрація пробного газу в контрольному газі, %.

У разі роздільного заповнення протяжних трубопроводів, у яких відношення довжини до діаметра набагато більше 10 ($L/D \gg 10:1$) слушне припущення про реалізацію моделі ідеального витиснення (поршневого потоку). У цьому випадку частина трубопроводу (по довжині) буде заповнена пробним газом, наприклад гелієм, а інша частина його – баластним, наприклад повітрям. І якщо вирівнювання концентрації за об'ємом відбувається за рахунок дифузії, то через її повільний перебіг необхідна тривала витримка. Наприклад, у тупиковому трубопроводі довжиною 5000 мм і діаметром 16 мм гелій за рахунок дифузії досягає віддаленої зони на третю добу.

З метою скорочення часу утворення рівномірної концентрації пробного газу в контрольному газі виріб рекомендується заповнювати ступенями (порціями) за схемою: пробний газ – баластний газ – пробний газ – баластний газ і т.д. Рекомендована кількість ступенів пробний газ – баластний газ залежно від випробувальних тисків вибирається згідно з табл. 2.1.

Таблиця 2.1

**Рекомендована кількість ступенів заповнення виробів
залежно від випробувальних тисків**

Випробувальний тиск, кПа	Кількість ступенів «пробний газ – баластний газ»
від 98 до 980	2
понад 980 до 4900	3
понад 4900 до 9800	4
понад 9800 до 39200	5

Якщо коефіцієнт K співвідношення об'єму об'єкта випробування за випробувального тиску до об'єму випробувальної технологічної схеми за атмосферного тиску, менше 20, то необхідно робити продувку схеми випробувань пробним або контрольным газом, і якщо K більше 20, не робити продувку:

$$K = \frac{(P_{КГ} + 98)V_{ОВ}}{V_{СХ} \cdot P_{АТМ}},$$

де $P_{КГ}$ – надлишковий (випробувальний) тиск контрольного газу в об'єкті випробування, кПа; $V_{ОВ}$ – внутрішній об'єм об'єкта випробувань, м³; $V_{СХ}$ – внутрішній об'єм схеми випробувань, м³; $P_{АТМ}$ – атмосферний тиск, кПа.

Визначення часу витримки об'єкта випробувань до утворення рівномірної концентрації пробного газу по всьому об'єму виконуються технологічно шляхом вимірювання концентрації пробного газу на вході в об'єкт випробувань і в найбільш

віддаленій від входу в об'єкт випробування точці.

Процес утворення рівномірної суміші вважається закінченим, якщо значення концентрації пробного газу у всіх точках вимірювання відрізняється одне від одного й від заданих у конструкторській документації або в технологічному процесі на випробування не більше ніж на 10 %.

У разі малих випробувальних тисків на тривалість процесу сумішоутворення контрольного газу в об'єкті випробування може впливати атмосферне повітря, що перебуває в ньому. Для виключення цього впливу застосовується технологічний прийом – заміщення атмосферного повітря всередині об'єкта випробування на пробний газ. Заміщення повітря в об'єкті випробувань здійснюється продувкою або почерговим наддуванням пробним газом з надлишковим тиском і скиданням його. Вибір способу заміщення здійснюється, виходячи з конструктивних особливостей об'єкта випробування й технологічного процесу випробувань.

У разі заміщення повітря на пробний газ почерговим наддуванням і скиданням тиску пробного газу кількість заповнень об'єкта випробування пробним газом повинна бути не меншою величини Π , що визначається за формулою

$$\Pi = \frac{2 - \lg(100 - C)}{\lg(P_{\text{НАДЛ.}} + 98) - 1,9912},$$

де Π – кількість заміщень, тобто кількість заповнень об'єкта випробувань пробним газом тиском $P_{\text{НАДЛ.}}$ для створення в ньому концентрації пробного газу C ; C – концентрація пробного газу, яку необхідно забезпечити в об'єкті випробування, %; $P_{\text{НАДЛ.}}$ – надлишковий тиск, яким можливо заповнити об'єкт випробування при заміщенні повітря на пробний газ, кПа.

Вибираючи спосіб заміщення виробу пробним газом, необхідно брати до уваги, що збільшення парціального тиску пробного газу у виробі пов'язане з додатковими витратами на дорогий газ, що особливо позначається в разі випробувань на герметичність великогабаритних паливних баків. Більш раціонально підвищувати парціальний тиск (а отже, і концентрацію) пробного газу в зонах, що перевіряються, шляхом керування процесом масопереносу, обмежуючи або підвищуючи його інтенсивність, за допомогою технологічних прийомів і пристосувань, і в тому числі шляхом варіювання конструктивними параметрами об'єкта випробування, фізичними параметрами масопереносу й технологічними параметрами процесу заповнення.

2.3. Засоби технологічного оснащення

Об'єм і склад технологічного оснащення визначаються цілями й завданнями випробувальних робіт, конструкторсько-технологічними особливостями об'єкта випробувань.

Засоби технологічного оснащення включають:

- технологічне обладнання (випробувальне, контрольне, допоміжне);
- технологічне оснащення (у тому числі інструмент і засоби контролю);

- засоби механізації технологічних операцій;
- допоміжні матеріали.

До складу технологічного обладнання входять: випробувальні установки (у тому числі вакуумні), захисні пристрої, установки для готування контрольних і індикаторних середовищ (у тому числі й установки для багаторазового використання контрольних середовищ), обладнання для вироблення стиснених газів високого тиску (повітря, азоту, гелію й т.д.) із системами транспортування газів до робочих місць випробувань, обладнання для транспортування й зберігання зріджених газів (азоту, кисню) і робочих рідин, течешукачі, датчикова апаратура й апаратура реєстрації параметрів випробувань; обладнання для підготовки поверхонь і сушіння об'єктів випробувань перед випробуваннями на герметичність; обладнання для відтворення зовнішніх (експлуатаційних) факторів (кліматичні камери, вібраційні й ударні стенди й т.д.)

Групу технологічного оснащення складають: випробувальне оснащення (заглушки, перехідники, пристрої, сполучні трубопроводи, шланги, фільтри, запобіжні пристрої, великогабаритні випробувальні пристрої, що входять до складу випробувальних установок, вакуумні присоси й рознімні вакуумні камери тощо), пристосування для позиціонування об'єкта випробувань на робочому місці або в робочому об'ємі випробувальної установки, засоби вимірювання тиску й витоків контрольного середовища, стандартизований і спеціальний інструмент і т.д.

Засобами механізації технологічних операцій вирішуються в основному питання зміни просторового положення об'єкта випробувань на робочому місці або в робочій порожнині випробувальної установки в процесі підготовки, проведення або закінчення випробувань.

Слід зазначити, що найбільші передумови для автоматизації існують у машинних операціях технології випробувань: пуск і зупинка обладнання, контроль і забезпечення режимів випробування, вимірювання, запис і обробка інформації.

До засобів технологічного оснащення належать і допоміжні матеріали: гелій, стиснене повітря, газоподібний і рідкий азот, органічні розчинники (бензин, ацетон, фреон, спирт і т. ін.), матеріали для створення об'ємів накопичення, матеріали для виготовлення ущільнювальних прокладок (фторопласти, еластomers тощо).

2.3.1. Вибір засобів технологічного оснащення

Вибір засобів технологічного оснащення нового процесу випробувань повинен бути заснований на аналізі цілей і завдань випробувань, конструкторсько-технологічних особливостей об'єкта випробувань, обраного методу випробувань і способу його реалізації з урахуванням можливості адаптації технологічних засобів діючого виробництва під нові завдання.

Випробувальні установки

Випробувальна установка – це комплекс технологічних систем, устаткування, вимірювальних засобів і колективних засобів захисту, що забезпечують безпечне проведення випробувань на герметичність.

За своїм функціональним призначенням й конструктивним виконанням ви-

пробувальні установки можна розділити на дві групи:

- 1) установки для випробувань на герметичність;
- 2) установки для спільних випробувань на міцність і герметичність.

У свою чергу, кожна група установок різниться за агрегатним станом середовища навантаження (газ, рідина) об'єкта випробувань до випробувального тиску.

Склад випробувальної установки залежить як від її функціонального призначення, так і закладеного в неї методу випробувань і способу його реалізації й може включати:

- пристрій, що утворює робочий об'єм для розміщення об'єкта під час випробувань;
- засоби для створення надлишкового тиску або вакууму;
- захисний пристрій;
- системи керування й контролю процесами випробувань;
- системи (пристрої), що виключають перевищення тисків в об'єкті випробувань, передбачених у конструкторській і технологічній документації;
- пристрій для контролю повноти заповнення об'єкта випробувань рідиною під час гідравлічних випробувань;
- системи скидання газів із внутрішніх порожнин об'єкта випробувань і захисного пристрою після випробувань за межі виробничого приміщення;
- системи нейтралізації випробувальних розчинів;
- системи для зберігання й регенерації контрольного середовища.

Під час випробувань об'єкт випробувань розміщується в захисному пристрої. Захисний пристрій – пристрій (спорудження), призначений для захисту працівників від впливу небезпечних факторів (ударної хвилі, статичного тиску, осколків, гідравлічного середовища) в разі аварійного або запланованого руйнування виробу.

Розрізняють три типи захисних пристроїв:

- 1) пристрої, що локалізують дію небезпечних факторів у заданому об'ємі;
- 2) пристрої, що локалізують дію небезпечних факторів у заданому напрямку;
- 3) пристрої (укриття), що захищають обслуговуючий персонал від дії небезпечних факторів під час руйнування об'єкта випробувань.

Типи захисних пристроїв вибирають залежно від виду випробувань (пневматичні, гідравлічні) і характеристик об'єкта випробувань (випробувального тиску й енергоемності).

Вакуумні випробувальні установки випробувань на герметичність

Найбільш складними, дорогими і трудомісткими в реалізації є вакуумні способи контролю герметичності, тому що вони базуються на використанні спеціального вакуумного устаткування вакуумних випробувальних установок.

Вакуумна установка – установка, що складається з вакуумної системи й пристроїв, що забезпечують її дію.

Виходячи зі свого призначення, установки контролю герметичності повинні забезпечити умови, сприятливі для реєстрації й вимірювання малих за величиною

потоків пробних газів. Ці умови полягають у такому:

- кількість залишкових газів, що становлять «фон» під час вимірювань, повинна бути мінімальною;
- парціальний тиск пробного газу у вакуумній системі у випадку появи течії, що перевищує припустиме значення, повинен бути достатнім для реєстрації вимірювальним приладом;
- час поширення пробного газу в системі вакуумної установки повинен бути мінімальним;
- мають бути виконані умови нормального функціонування датчика пробного газу, що реєструє його тиск;
- реакція датчика пробного газу повинна бути пропорційною тиску пробного газу у вакуумній системі випробувальної установки.

Перераховані умови задовольняються, якщо в системі течешукування під час вимірювань підтримується робочий вакуум.

Крім зазначених повинні виконуватися такі загальні умови:

- установка має бути зручною в експлуатації, безпечною в обслуговуванні;
- оскільки відкачка й знегажування об'єктів випробувань і самого вакуумного обладнання може продовжуватися тривалий час, надійність агрегатів, пристроїв і апаратури повинна бути підвищеною (навіть короткочасна перерва в роботі відкачувальних пристроїв під час випробування може призвести до негативних наслідків);
- якщо є потреба, установка має бути оснащена пристроями, що запобігають попаданню парів робочої рідини насосів на об'єкт випробувань;
- для особливо відповідальних випробувальних засобів необхідно передбачати пристрої автоматичного перекриття магістралей, що сполучають порожнину вакуумної камери (порожнини виробу) з відкачувальними пристроями в момент раптового вимкнення живлення або прориву газу у вакуумну систему;
- витрати часу на підготовку й проведення випробування повинні бути мінімальними.

За своїм призначенням й конструктивним виконанням вакуумні установки для контролю герметичності можна розділити на дві групи:

- установки загального вакуумування – вакуумні камери;
- установки місцевого вакуумування – відкачувальні пости.

В установках загального вакуумування здійснюється контроль сумарної негерметичності об'єктів шляхом навантаження внутрішнім тиском пробного газу (рис. 2.5, а).

Установки місцевого вакуумування застосовуються під час контролю елементів об'єкта, а також для випробувань на герметичність навантаженням зовнішнім тиском пробного газу (рис. 2.5, б).

За розмірами вакуумні камери установки загального вакуумування можна умовно поділити на такі групи:

- вакуумні камери середнього об'єму (об'єм порожнини вакуумної камери до 1 м^3);

- вакуумні камери середнього об'єму (від 1 м³ до 20 м³);
- вакуумні камери великого об'єму (більше 20 м³).

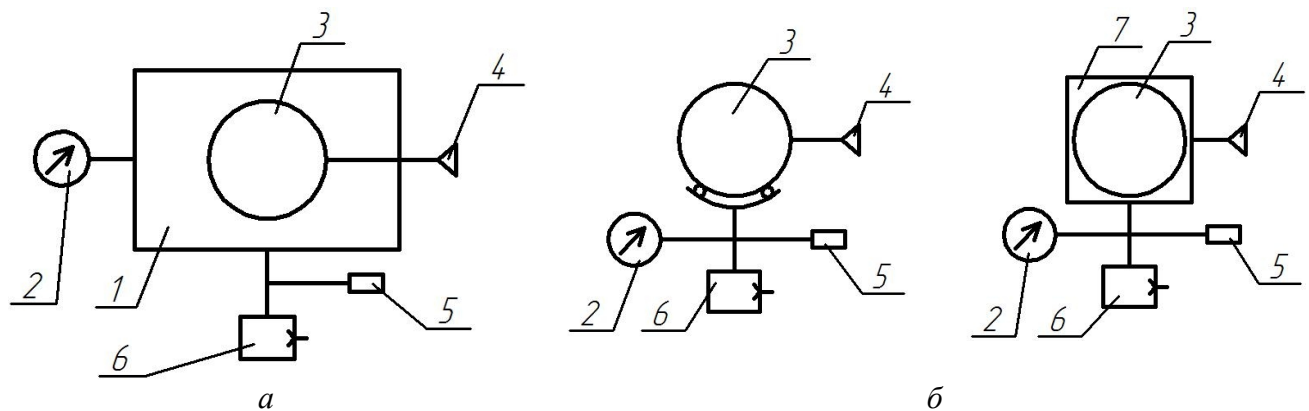


Рис. 2.5. Види установок вакуумування:

а – навантаження об'єктів внутрішнім тиском пробного газу;

б – навантаження об'єктів зовнішнім тиском пробного газу;

1 – вакуумна камера; 2 – датчик тиску; 3 – об'єкт випробувань; 4 – система подачі пробного газу; 5 – реєструвальний датчик; 6 – система відкачки;

7 – камера зовнішнього тиску

Залежно від можливостей одночасного випробування декількох об'єктів установки діляться на одномісні й багатомісні.

Кожна вакуумна випробувальна установка обов'язково містить вакуумну систему, електроустаткування, пневмопульт.

Вакуумні системи та їх елементи

Вакуумна система – сукупність пристроїв для створення вакууму, приладів для вакуумних вимірювань, а також посудин і єднальних їх приладів.

Призначення вакуумної системи – створення необхідних умов здійснення контрольних вимірів негерметичності.

Елемент вакуумної системи – прилад, складальна одиниця або деталь, призначені для виконання певних функцій у вакуумній системі. Наприклад: насос, трубопровід, пастка, вакуумний клапан, затвор, камера, манометричний перетворювач і т. ін.

У комплект вакуумної системи входять:

- вакуумна камера (установки загального вакуумування) або магістраль відкачки із пристроєм герметичного підключення до елементів виробу (установки місцевого вакуумування);

- електроустаткування;

- пневмопульт;

- відкачні пристрої з комунікаційними магістралями й арматурою;

- датчики й арматура вимірювання загального тиску у вакуумній системі;

- датчики й арматура реєстрації пробного газу;

- пастки;

- контрольні течі.

Камера, що відкачується, – посудина, у якій створюється вакуум, необхідний для різних технологічних процесів.

Електроустаткування забезпечує дію вакуумної системи.

Пневмопульт служить для навантаження випробуваних об'єктів тиском контрольованого середовища.

Відкачні пристрої – це пристрої для створення вакууму (вакуумні насоси). Вакуумний насос – насос, призначений для відкачки газу з метою одержання вакууму.

За функціональним призначенням у складі вакуумної системи розрізняють:

- насоси попереднього вакуумування – призначені для зниження тиску у відкачуваному об'ємі від атмосферного до значення, за якого може почати роботу інший вакуумний насос або система насосів. Як правило, служать для відкачки вакуумної камери (об'єкта) від атмосферного тиску до тиску 1,33 – 7,5 Па;

- насоси досягнення низького вакууму – призначені для зниження тиску у відкачуваному об'ємі, починаючи з атмосферного, і створюють тиск, що лежить в інтервалі, характерному для низького вакууму;

- насоси досягнення високого вакууму – високовакуумні насоси, що працюють за найнижчого тиску системи. Найнижчого тиску вакуумної системи можуть забезпечувати два або більше послідовно з'єднаних високовакуумних насосів, які здійснюють відкачку в межах від 1,33 – 7,5 Па до $1,33 \cdot 10^{-3}$ Па.

- насоси, що здійснюють відкачку системи в процесі вимірювання негерметичності;

- насоси допоміжні, що забезпечують працездатність насосів високого вакууму.

До допоміжних насосів належать:

- форвакуумні – призначені для підтримки тиску у вихідному перетині насоса більш високого вакууму, за якого останній може забезпечувати задані параметри відкачки;

- бустерні вакуумні насоси – насоси середнього вакууму, установлювані між форвакуумними й високовакуумними насосами з метою приведення у відповідність випускного тиску високовакуумного насоса із впускним тиском форвакуумного.

Опис конструкції й принцип дії насосів і елементів комунікаційної апаратури докладно поданий у літературі з вакуумної техніки.

Датчики й арматура вимірювання й контролю загального рівня тиску. Для вимірювання й контролю тиску розрідженого газу в порожнинах і магістралях вакуумних установок застосовують вакуумметри.

Вакуумметри складаються з манометричного перетворювача фізичного параметра тиску на електричний сигнал (датчика), блоків живлення датчика й вимірювання його вихідного сигналу.

За принципом дії вакуумметри, застосовувані у випробувальних установках, можна класифікувати в такий спосіб:

- деформаційні вакуумметри;

- теплоелектричні вакуумметри;
- іонізаційні вакуумметри.

Опис конструкції вакуумметрів і їх дію детально викладено в літературі з вакуумної техніки.

Апаратура реєстрації пробного газу. Залежно від реалізованого методу контролю герметичності для вимірювання вмісту пробного газу у вакуумних системах випробувальних установок застосовується різна реєстраційна апаратура.

У разі манометричного методу контролю герметичності як реєстратор пробного газу використовують датчики вимірювання загального тиску у вакуумній системі, найчастіше вакуумметри іонізаційного типу.

У разі газоаналітичних методів контролю герметичності для вимірювання застосовується спеціальна газоаналізуюча апаратура – течешукачі.

Пастки застосовуються для вловлювання парів рідин з метою поліпшення вакууму.

Пари масла, води, усіляких забруднень зв'язуються в пастці шляхом конденсації, абсорбції або хімічно. У вакуумних системах пастки встановлюються на магістралі відкачки між об'ємом, що вакуумується, і насосами.

За принципом дії пастки, застосовувані в конструкціях випробувальних установок, можна розділити на механічні, виморожувальні, сорбційні.

Опис конструкції й принципу дії пасток докладно поданий у літературі з вакуумної техніки.

Контрольні течії. Контрольні течії служать для калібрування вимірювальної системи випробувальної установки перед проведенням контрольних вимірювань. Контрольні течії – пристрої, що виділяють (відтворюють) в об'єм вакуумної системи постійний (заданий) потік пробного газу відомої величини. Під час калібрування системи встановлюється відповідність між потоком пробного газу в системі течешукування й реакцією приладу, що реєструє його вміст.

У виробничій практиці течешукування контрольні течії застосовуються для калібрування течешукачів, перевірки чутливості схем течешукування й індикаторного складу.

Основними характеристиками течії є:

- величина потоку контрольного (пробного) газу на виході з течії, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$;
- перепад тиску контрольного (пробного) газу на проникному елементі течії, Па;
- температурна поправка (зміна потоку газу з течії у разі зміни температури навколишнього середовища), % на 1°C .

Указані характеристики визначаються індивідуально для кожної течії під час їх калібрування. Результати калібрування заносяться в паспорт течії.

За конструктивним виконанням контрольні течії прийнято ділити на регульовані (механічні) і нерегульовані (капілярні й дифузійні). Незалежно від способу конструктивного виконання контрольних теч вони складаються із джерела контрольного (пробного) середовища й проникного елемента, з'єднаних між собою.

Теча механічна регульована (рис. 2.6).

Принцип дії механічної регульованої течії заснований на способах одержан-

ня необхідних значень величин потоку контрольного середовища шляхом регулювання зазору, утвореного парою «сідло-голка», або шляхом зміни перепаду тиску на регульованому зазорі.

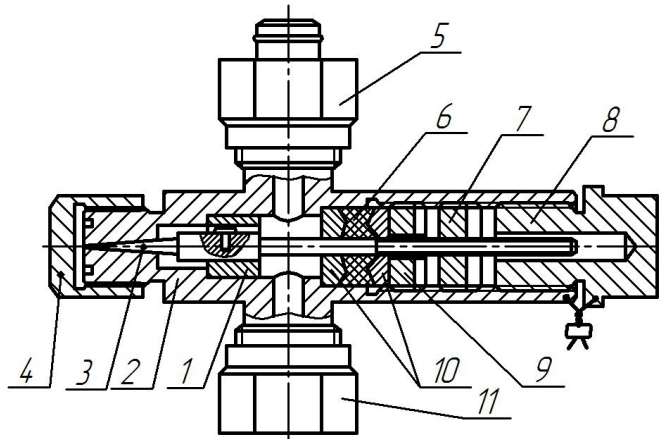


Рис. 2.6. Теча механічна регульована:

1 – втулка; 2 – корпус; 3 – голка;
4 – ковпачок; 5 – штуцер для підключення
джерела контрольного середовища;
6 – ущільнювальне кільце; 7, 9 – гайки;
8 – пробка; 10 – шайба; 11 – заглушка

Капілярні контрольні течі (рис. 2.7).

Принцип дії капілярної течі заснований на витіканні контрольного газу через отвір скляного або металевого капіляра. Основа конструкції – корпус, який слугує посудиною для контрольного газу.

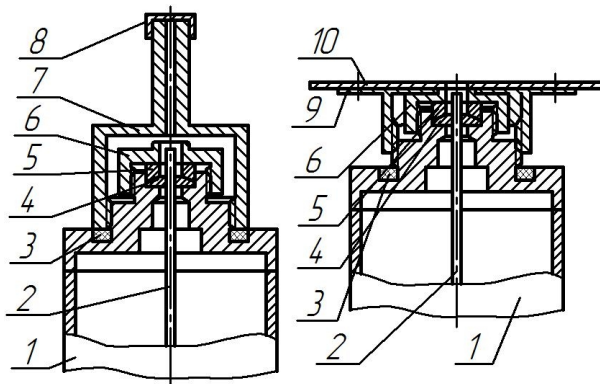


Рис. 2.7. Капілярна контрольна теча:

1 – корпус; 2 – капіляр; 3, 4 – прокладки;
5 – шайба; 6 – гайка; 7 – штуцер; 8 – заглушка;
9 – стакан; 10 – лінійка

Для контрольних теч із малими внутрішніми об'ємами й конструктивно оснащеними штуцерами для подачі в них контрольного (пробного) середовища як джерело цього середовища звичайно використовують металевий балон, заповнений контрольним (пробним) середовищем до необхідного тиску залежно від необхідної величини відтворюваного контрольною течєю потоку. Ємність балона вибирається, виходячи з необхідного часу експлуатації теч без перезарядження її контрольним (пробним) середовищем.

Механічна або капілярна контрольна теча з'єднується із джерелами контрольного середовища (балоном) за допомогою шлангів (трубопроводів і запірної арматури). У схему «балон-теча» включають редуктор і контрольний манометр (рис. 2.8)

Редуктором 4 устанавлюється тиск контрольного середовища в течі 7 для одержання заданого потоку через неї. Контроль тиску в течі – за манометром 5.

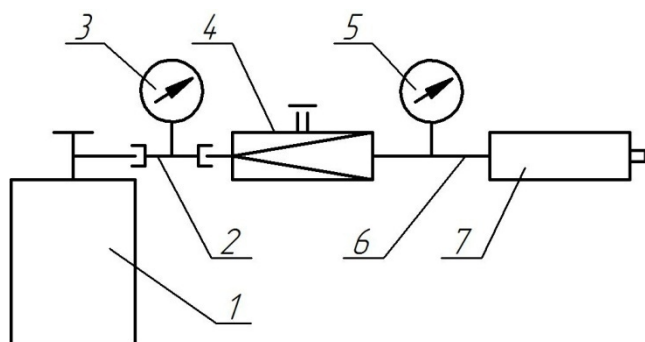


Рис. 2.8. Схема з'єднання контрольної течі із джерелами контрольного середовища:

- 1 – балон з контрольним середовищем;
2, 6 – з'єднувальні трубопроводи;
3, 5 – манометри; 4 – редуктор;
7 – контрольна течя

Дифузійна гелієва течя (рис. 2.9).

Дифузійні гелієві течі належать до нерегульованих. Принцип дії дифузійної гелієвої течі заснований на дифузії гелію крізь скляну мембрану.

Конструктивно дифузійна гелієва течя являє собою металевий балон, заповнений 100%-м гелієм, з патрубком, що служить для приєднання течі до випробовуваної системи. Об'єм балона відділений від порожнини патрубка тонкостінною мембранною зі скла, проникного для гелію.

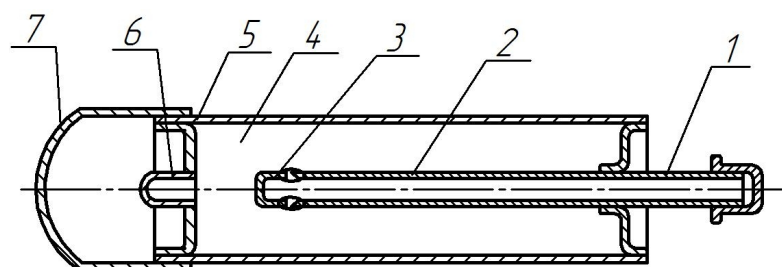


Рис. 2.9. Дифузійна гелієва течя:

- 1 – патрубок; 2 – перехідник;
3 – мембрана; 4 – об'єм, заповнений гелієм; 5 – корпус течі; 6 – капіляр напуску гелію, затиснений і запаяний; 7 – заглушка

Течі необхідно оберегати від забруднень і вологи, а капілярні (зі скляними капілярами) і дифузійні ще й від ударів.

Механічні і капілярні течі можуть працювати як на атмосферу, так і на вакуум; дифузійні – тільки на вакуум.

Течошукачі

В основу будь-якого методу течошукування, як правило, покладений спосіб реєстрації пробної речовини спеціальною аналізуючою апаратурою. До такої апаратури належать мас-спектрометричні, галогенні й інші течошукачі.

Найбільш загальною характеристикою течошукачів є їх здатність вибірково реагувати на фізико-хімічні властивості пробних речовин (в основному газів).

Основним параметром будь-якого течошукача є його чутливість, що визначається здатністю приладу реагувати на мінімальну концентрацію пробної речовини в атмосфері або вакуумі. Чим вища вибірна здатність течошукача, тим різкіша його реакція на пробну речовину, а отже, тим вища чутливість. Тому вибирають такі пробні речовини, які за фізико-хімічними властивостями істотно відрізняються від повітря.

У манометричному методі течошукування спеціалізовані течошукальні пристрої, що доповнюють звичайні манометри, вакуумметри, являють собою, як правило, схеми порівняння й компенсації.

2.3.2. Мас-спектрометричні течешукачі

Основні засоби техніки високочутливого течешукування – мас-спектрометричні течешукачі. Ці течешукачі є мас-спектрометричними газоаналізаторами, настроєними, як правило, на реєстрацію одного пробного газу в суміші газів.

Як пробний газ у мас-спектрометричному течешуванні використовуються інертні гази (гелій, аргон, ксенон та ін.), а також гази, що мають подібні з інертними фізико-хімічні властивості (водень, азот, кисень, вуглекислий газ).

Принципово як пробний газ можна використовувати будь-який газ, що за масовим спектром розпізнається чітко й однозначно у спектрі інших газів.

Гелієві мас-спектрометричні течешукачі

Через малий вміст в атмосфері ($5 \cdot 10^{-4} \%$) найбільшого поширення у сфері промислового виробництва здобув гелій, у зв'язку з чим світова практика в основному орієнтується на випуск серійних гелієвих мас-спектрометричних течешукачів.

Процеси виділення пробного газу (гелію) із суміші газів, що надходять у течешукач, відбуваються в мас-спектрометричному аналізаторі за високого вакууму (рис. 2.10).

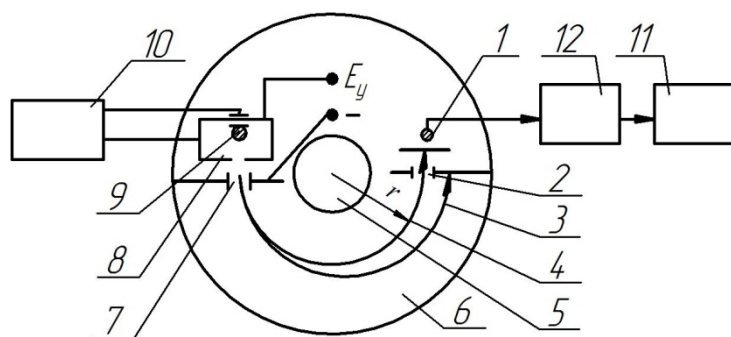


Рис. 2.10. Принципова схема мас-спектрометричної камери течешукача:

- 1 – колектор; 2 – вхідна щілина;
- 3 – траєкторія залишкових газів;
- 4 – траєкторія гелію; 5 – фланець;
- 6 – камера магнітного іонізатора;
- 7 – вихідна щілина; 8 – чашечка іонізації;
- 9 – катод; 10 – джерело живлення катода;
- 11 – блок вимірювання вхідного сигналу;
- 12 – електричний каскад

Молекули газів контрольної суміші, що проникають крізь фланець 5 у камеру магнітного іонізатора 6, іонізуються пучком електронів, що емітуються катодом 9, і вилітають із вихідної щілини 7 під дією прискорювальної напруги. Прискорювальна напруга й індукція магнітного поля в аналізаторі підібрані таким чином, щоб іони гелію, рухаючись по круговій траєкторії 4, потрапляли через вихідну щілину 2 на колектор 1, з'єднаний із системою вимірювання іонного струму 11. Іони залишкових газів, що мають більшу масу, рухаються по інших траєкторіях (наприклад, 3) і, потрапляючи на стінки аналізатора, розряджаються. Результати вимірювання іонного струму гелію перетворюються й видаються на панелі керування течешукача у вигляді відповідної інформації.

Для забезпечення необхідного робочого вакууму в мас-спектрометричному аналізаторі й транспортування суміші газів до нього, в течешукачі передбачена власна вакуумна система, однак максимальний газовий потік, що відкачується вакуумною системою течешукача, обмежений. Про це необхідно пам'ятати під час

Виробники течешукачів, з огляду на потреби різних галузей науки й промисловості, пропонують цілу гаму сучасних мас-спектрометричних течешукачів з поліпшеними технічними й експлуатаційними характеристиками. Однак течешукачі залишаються індикаторними приладами. Тому величина витоку пробного газу з об'єкту випробування визначається порівнянням показань течешукача за цим потоком і потоком відомої величини від контрольної течії.

– діапазон потоків, що реєструються течешукачем, або його чутливість за пробним газом, $\text{м}^3 \cdot \text{Па} / \text{с}$;

- швидкість відкачки на вході, м³/с;
- час виходу на робочий режим випробувань, хв;
- час реакції (за входом і зі щупом), с.

Рис. 2.11. Зовнішній вигляд сучасного течошукача ТИ1-50

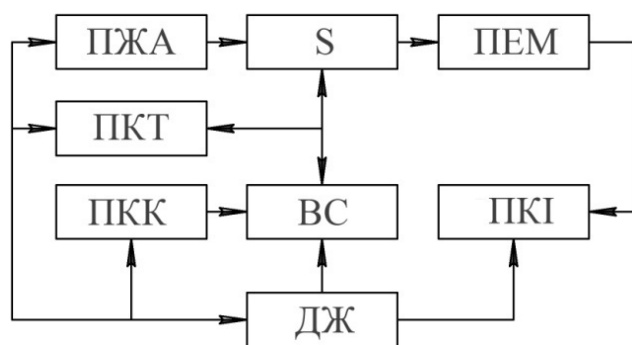


Рис. 2.12. Структурна схема течешукача:
 ПЖА – пристрій живлення аналізатора;
 S – мас-спектрометричний аналізатор; ПЕМ –
 підсилювач електрометричний;
 ПКК – пристрій керування клапанами;
 ВС – вакуумна система; ПКІ – пристрій керу-
 вання й індикації; ПКТ – підсилювачі каналів
 тиску; ДЖ – джерело живлення

Вакуумна система (ВС) течешукача забезпечує робочий вакуум у мас-спектрометричному аналізаторі, транспортування суміші газів в аналізатор, а також безпечні режими роботи течешукача за різних способів течешукування.

Пристрій живлення аналізатора (ПЖА) забезпечує формування напруг живлення аналізатора.

Мас-спектрометричний аналізатор (S) виявляє наявність пробного газу (гелію) в аналізованій суміші газів.

Підсилювач електрометричний (ПЕМ) здійснює посилення сигналу іонного струму колектора мас-спектрометричного аналізатора. Пристрій керування й індикації (ПКІ) забезпечує керування течею течею. Джерела живлення (ДЖ) забезпечують живленням всі елементи течею.

Пристрій керування клапанами (ПКК) формує й видає команди керування клапанами, турбомолекулярним і форвакуумним насосами. Підсилювачі клапанів тиску (ПКТ) забезпечують живлення датчиків тиску й перетворення сигналу датчика для подальшої обробки пристроєм керування й індикації.

На рис. 2.13 наведена принципова схема вакуумної системи течею. Елементи V6 та A2 входять до складу зовнішньої контрольної течі. Відкачка вакуумної системи течею здійснюється вакуумним насосом об'ємної дії N2 і високовакуумним турбомолекулярним насосом N1, що також виконує роль селективного газового фільтра.

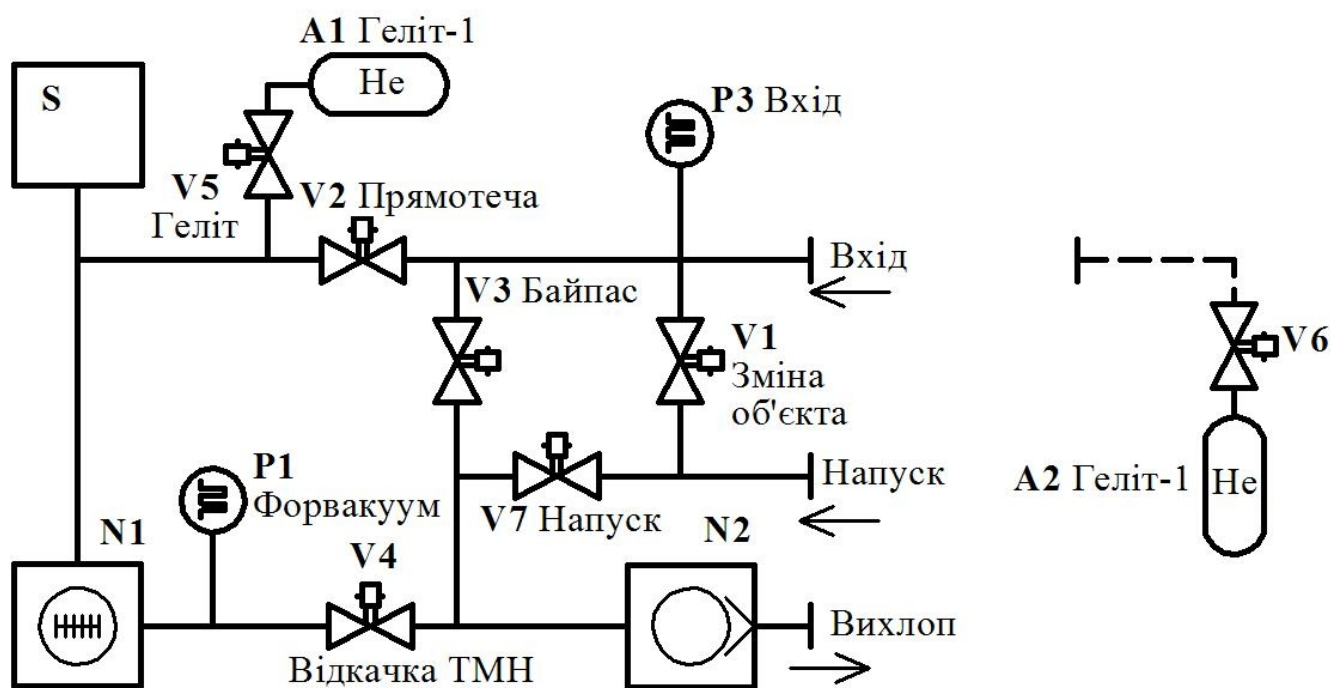


Рис. 2.13. Принципова схема вакуумної системи течею ТИ1-50:

S – аналізатор мас-спектрометричний; V7 – нормально відкритий електромагнітний клапан ДУ 1,6; V1, V5, V6 – нормально закриті електромагнітні клапани ДУ 1,6; V2, V3, V4 – нормально закриті електромагнітні клапани ДУ 25; N1 – насос турбомолекулярний; N2 – насос вакуумний; A1, A2 – теча гелієва «Геліт 1»; P1, P3 – перетворювачі манометричні ПМТ 3М-1

Ступінь стиснення турбомолекулярного насоса, використовуваного в течею, має сильну залежність від молекулярної маси газу, що забезпечує збагачення об'єму високовакуумної системи легкими газами (у нашому випадку гелієм), які містяться у вхідному газовому потоці. Далі гази легко розділяються в мас-спектрометрі.

Контроль тиску в лінії попереднього розрідження на вході в течешукач, а також у форвакуумній лінії здійснюється манометричними перетворювачами P3 і P1 відповідно.

Комутація вакуумної системи течешукача під час його вмикання, вимикання й роботи здійснюється за допомогою клапанів V1-V7.

Система керування забезпечує роботу течешукача у двох режимах: автоматичному та у режимі ручного керування.

Автоматичний режим керування течешукачем – основний режим роботи, у який система керування переходить відразу після увімкнення приладу.

Цей режим безпечний з погляду порушення працездатності приладу в результаті помилкових дій оператора, оскільки система керування постійно відслідковує стан всіх елементів течешукача й блокує небезпечні режими роботи.

Автоматичний режим керування передбачає виконання таких основних функціональних режимів:

- *стан запуску течешукача* – стан, коли здійснюється автоматичний запуск елементів вакуумної системи, що закінчується виходом течешукача в режим готовності;

- *стан готовності* – стан, з якого може бути розпочатий процес автоматичних вакуумних випробувань;

- *стан очікування* – стан, у який система керування автоматично переводить течешукач після виникнення помилки, некритичної для працездатності приладу, однак такої, що впливає на можливість його нормальної експлуатації. При цьому на дисплеї відображається повідомлення про помилку;

- *стан зупинки* – стан, у який система керування автоматично переводить течешукач після виникнення помилки, критичної для працездатності приладу;

- *зміна об'єкта* – стан, призначений для напуску атмосфери на вхід течешукача з метою зміни об'єкта випробувань;

- *автоматичне підстроювання/калібрування по вбудованій течі* – режим, призначений для автоматичного підстроювання мас-спектрометра течешукача, що забезпечує найбільше значення сигналу від вбудованої гелієвої течі;

- *автоматичне калібрування по зовнішній течі* – режим підвищення точності оцінки величини течі, спостережуваної в реальних об'єктах випробувань, особливо великого об'єму або таких, що мають додаткове газове навантаження;

- *вакуумні випробування з автоматичною комутацією вакуумної системи течешукача* – цей режим може реалізуватися у двох варіантах – універсальному й щупа.

Універсальний автоматичний режим вакуумних випробувань включає такі три фази (стани течешукача).

1. Попередня (байпасна) відкачка з об'єкта вакуумних випробувань – призначена для зниження тиску на вході течешукача.

2. Режим протитечії – здійснюється реєстрація значення сигналу потоку в протитечійній схемі вакуумних випробувань, він дозволяє працювати з більш високим тиском газу на вході в течешукач порівняно з режимом прямотечії. Режим

протитечії використовується під час визначення витоків з великою концентрацією гелію в місці витоку, для локалізації теч способом обдування або щупа.

3. Режим протитечії – найбільш чутливий режим, найчастіше використовується для визначення ступеня негерметичності об'єкта способом вакуумної камери, накопичення, вакуумних присосів, різних вакуумних камер, а також способом обдування. Прямотечійний режим більш чутливий порівняно з режимом протитечії, він дозволяє визначати наявність найменших концентрацій гелію в досліджуваному об'єкті.

Автоматичний режим випробувань за методом щупа подібний до універсального режиму, однак включає тільки дві фази: попередню відкачку й режим протитечії.

Ручний режим керування течешукачем служить для проведення ряду нестандартних операцій, а також ремонту й обслуговування течешукача, коли останній може бути переведений у ручний режим керування. У цьому режимі з метою виключення створення перешкод у роботі оператора всі активні дії автоматичної системи заблоковані і її функції обмежені виведенням попереджувальних повідомлень у випадках здійснення дій, що можуть призвести до порушення працездатності приладу.

2.3.3. Галогенні течешукачі

Як ми вже відзначали, в основі роботи галогенного течешукача лежить принцип зміни поверхневої електропровідності напівпровідникового резистивного шару датчика внаслідок адсорбції або десорбції на його поверхні пробного газу в разі підвищення або зниження концентрації останнього.

Чутливий елемент датчика (рис. 2.14), закріплений на основі 4, являє собою проточний платиновий діод прямого розжарювання з навитим на керамічну трубку анодом. Випарювані з порожнього керамічного елемента 3 атоми лужних металів іонізуються на розжареній поверхні платинового емітера 1.

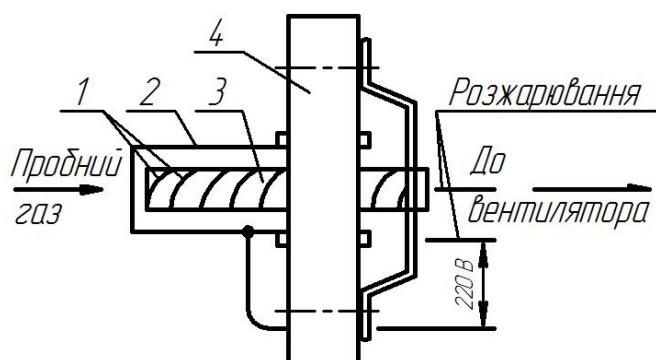


Рис. 2.14. Чутливий елемент галогенного течешукача (датчик):

1 – платиновий емітер; 2 – платиновий колектор; 3 – порожній керамічний елемент; 4 – основа

Іони з нього надходять на другий електрод — платиновий колектор 2, з'єднаний із входом підсилювача постійного струму. Іонний струм збільшується в присутності газів, що містять галогени. Прилад на виході підсилювача реєструє збільшення іонного струму в разі виявлення течі. Сигнал дублюється звуковим індикатором.

Чутливий елемент датчика, що нагрівається до 623 К (350⁰С), уміщений у сферичну оболонку у вигляді сітки з нержавіючої сталі. Датчик поміщений у корпус щупа-пробозабирача (рис. 2.15).

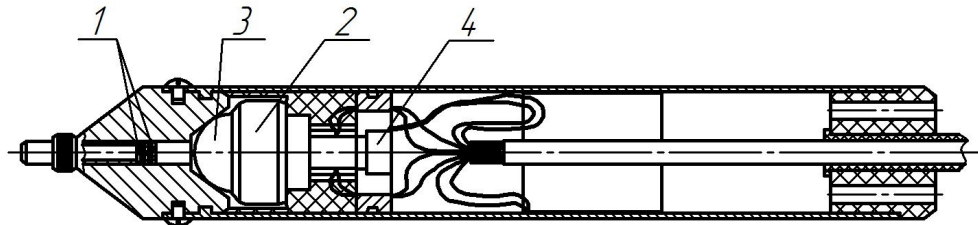


Рис. 2.15. Конструкція щупа-пробозабирача:
1 – фільтр, 2 – датчик (чутливий елемент); 3 – сферична сітка;
4 – мікровентилятор

Для датчика, що працює в умовах атмосферного повітря, завжди забезпечена необхідна кількість кисню на поверхні чутливого елемента. Для вакуумних перетворювачів необхідна безперервна подача деякої кількості кисню до поверхні чутливого елемента. Це завдання виконує кисневий інжектор, що входить у конструкцію вакуумного датчика і являє собою циліндр, заповнений порошком марганцевокислого калію. Під час роботи перетворювача під дією теплоти цей порошок розкладається з виділенням великої кількості кисню, що надходить через спеціальні отвори в циліндрі до поверхні чутливого елемента.

Сучасний галогенний течешукач (рис. 2.16) виконаний у вигляді переносного приладу, складається із щупа-пробозабирача виносного, блока реєстрації, блока акумуляторів і зарядного пристрою, і призначений для контролю герметичності об'єктів випробувань, заповнених газом, який містить галогени.



**Рис. 2.16. Течешукач галогенний
батарейний БГТИ-7/1**

2.3.4. Щупи-натікачі й обдувачі

Щупи-натікачі призначені для створення на вході в течешукач стабільного потоку контрольного газу, необхідного для якісної й кількісної оцінки локальної або сумарної негерметичності випробуваного виробу під час контролю герметичності способами щупа і накопичення за атмосферного тиску.

На рис. 2.17 – 2.19 наведені різні варіанти конструкцій регульованих щупів, призначених для контролю герметичності різних з'єднань.

Під час перевірки герметичності фланцевих з'єднань способом щупа, а також під час перевірки герметичності способом накопичення за атмосферного тиску на щуп одягається медична голка Люєра (рис. 2.19).

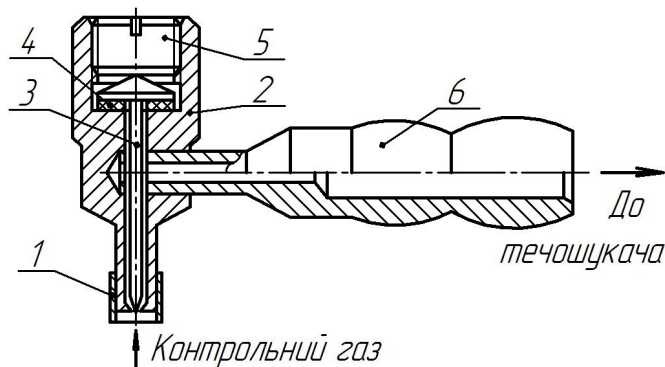


Рис. 2.17. Принципова конструкція регульованого щупа:

1 – насадка; 2 – корпус;
3 – голка; 4 – прокладка;
5 – гвинт; 6 – штуцер

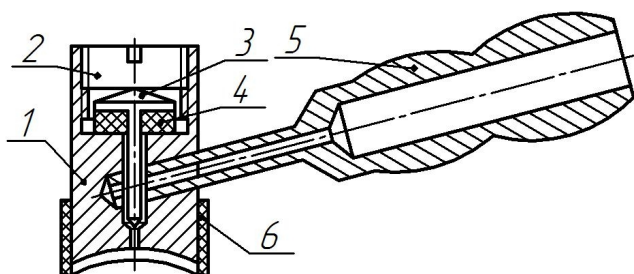


Рис. 2.18. Малогабаритний щуп для перевірки герметичності зварних швів:

1 – корпус; 2 – гвинт; 3 – голка;
4 – прокладка; 5 – штуцер;
6 – насадка за формою зварного шва

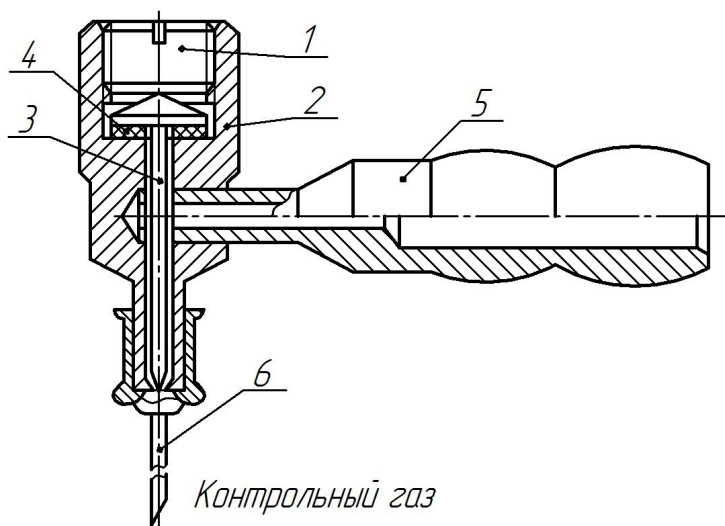


Рис. 2.19. Малогабаритний щуп з голкою Люєра:

1 – гайка; 2 – корпус; 3 – голка;
4 – прокладка; 5 – штуцер;
6 – голка Люєра

Обдувач (рис. 2.20) входить у комплект поставки мас-спектрометричних течешукачів і призначений для обдування пробним газом (гелієм) поверхонь об'єкта випробувань під час контролю герметичності способом обдування або в разі локалізації місць негерметичностей (теч).

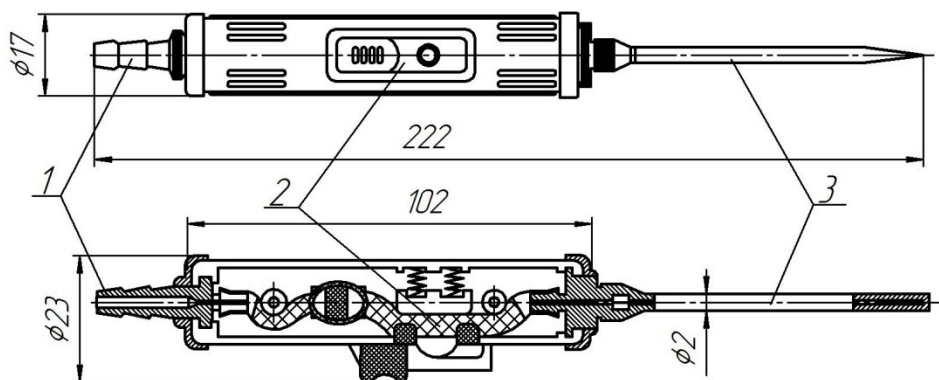


Рис. 2.20 – Загальний вигляд обдувача:

1 – штуцер; 2 – клапан;
3 – вихідне сопло

2.4. Техніка безпеки під час випробувань на герметичність

Випробування на герметичність — небезпечні роботи, що вимагають глибокого розуміння цієї небезпеки під час розробки й організації технологічного процесу та проектування засобів технологічного оснащення.

Подія виробничого процесу випробувань, що заслуговує на особливу увагу з позиції техніки безпеки – це руйнування об’єкта випробування під дією випробувального тиску.

У виробничій практиці випробувань розрізняють заплановане руйнування об’єкта випробування й аварійне руйнування.

У разі випробувань на герметичність можливе тільки аварійне руйнування, причини якого можуть бути як конструкторські (недостатня конструктивна міцність об’єкта випробування), так і виробничі (зниження міцності з виробничих причин, недоліки технологічного процесу випробувань, втрата працездатності випробувального оснащення й устаткування, порушення технологічного процесу випробувань виробничим персоналом і т.д.)

2.4.1. Небезпечні фактори під час випробувань на герметичність

Характерними небезпечними факторами, наявність яких можлива під час руйнування об’єкта випробування, є:

- ударна хвиля (у разі пневмовипробувань);
- струмінь рідини або газу;
- статичний тиск (у разі пневмовипробувань);
- розлив контрольної (технологічної) рідини в приміщенні;
- осколки об’єкта випробування й оснащення.

Поряд із зазначеними небезпечними факторами варто також брати до уваги супутні фактори, обумовлені особливостями застосовуваних засобів технологічного оснащення, методів контролю й властивостями застосовуваних технологічних середовищ (електробезпечність, токсичність, пожежонебезпечність, підвищена вібрація, термічний вплив, зниження концентрації кисню в атмосфері виробничої ділянки (робочого місця й т.д.).

2.4.2. Вимоги безпеки до випробувальних установок

Випробувальна установка – комплекс технологічних систем устаткування, вимірювальних засобів і колективних засобів захисту, що гарантують безпечне проведення випробувань на герметичність.

Розробку проектної документації конструкцій випробувальних установок, захисних пристроїв, інструкцій для експлуатації й безпечного обслуговування установок, вибір матеріалів, розрахунки на міцність і т.д. повинні здійснювати проектно-конструкторські підрозділи (організації) відповідно до вимог діючих державних і галузевих стандартів, правил, норм і інструкцій, будівельних норм і правил.

Склад випробувальної установки визначає розроблювач конструкторської документації на установку, виходячи з реалізованого технологічного процесу випробувань.

Конструкція випробувальної установки повинна бути надійною, міцною і безпечною в роботі, забезпечувати доступ персоналу до всіх її частин, обладнана захисними пристроями, що забезпечують безпеку виробничого персоналу у випадку розриву випробуваного виробу.

Як уже зазначалось, залежно від призначення, конструкторського виконання й умов проведення випробувань можуть застосовуватися різні типи захисних пристроїв: такі, що локалізують дію небезпечних факторів в заданому об'ємі або обмежують дію небезпечних факторів у заданому напрямку, а також пристрої для захисту обслуговуючого персоналу від дії небезпечних факторів – укриття. Вибір типу захисного пристрою здійснюється розроблювачем випробувальної установки залежно від характеристик об'єкта випробування ($P_{ОВ}$; $P_{ОВ} \times V_{ОВ}$), виду випробувань (випробування на герметичність, випробування одночасно на міцність і герметичність) і властивостей робочого (випробувального) середовища (пожежовибухобезпечні нетоксичні гази й газові суміші; пожежонебезпечні, вибухонебезпечні, токсичні гази й газові суміші; нетоксичні, пожежовибухобезпечні рідини; хладони; токсичні, пожежонебезпечні рідини).

Захисні пристрої відповідно до призначення повинні бути розраховані на дію небезпечних факторів, які можуть виникнути під час аварійного руйнування випробовуваного виробу. Залежно від технології випробувань вони мають таке обладнання: механізмами блокуванням дверей, що забезпечують у випадку їх відкриття автоматичне скидання випробувального тиску; оглядовими віконцями, виготовленими із бронескла, захищеними від прямого влучення осколків під час руйнування виробу; системою скидання газу в разі підвищенні тиску в об'ємі захисного пристрою у випадку руйнування виробу під час пневмовипробувань; піддоном або зливальним трапом, що забезпечує прийом рідини у разі руйнування виробу під час гідровипробувань.

Випробувальні установки, наново виготовлені або реконструйовані, перед пуском у роботу повинні бути випробувані й прийняті в експлуатацію у встановленому на виробництві порядку.

Важливою умовою забезпечення безпеки робіт є підтримка в технічно справному стані технологічного обладнання й оснащення. Це завдання вирішують че-

рез практичну реалізацію у виробництві системи планово-попереджувального ремонту, періодичного технічного огляду експлуатованого обладнання, оснащення, засобів вимірювання й контролю, інструмента.

Одним зі складників комплексного завдання забезпечення безпеки випробувань є рівень технічних знань виробничого персоналу, зайнятого експлуатацією й безпечним обслуговуванням випробувальних установок. Тому до робіт, пов'язаних з підготовкою й проведенням випробувань на герметичність, допускаються особи, не молодші 18 років, які пройшли медичний огляд, засвоїли матеріальну частину випробувальних установок, технологію випробувань, інструкції з техніки безпеки, що діють у виробництві, витримали іспит кваліфікаційної комісії підприємства та мають посвідчення на право проведення випробувальних робіт.

2.4.3. Техніка безпеки під час роботи з рідким азотом

Рідкий азот у технології випробувань на герметичність використовується для охолодження пасток вакуумного випробувального обладнання, течешукачів, створення температурного режиму об'єкта випробувань.

Температура кипіння рідкого азоту 77 К (– 196 °С). За нормальних умов вміст азоту в повітрі 78%, кисню – 21% (за об'ємом). Нижня безпечна межа вмісту кисню в атмосфері виробничого приміщення становить 19%.

Рідкий азот за звичайних умов швидко випаровується й може накопичуватися в атмосфері виробничого приміщення. Людина, яка потрапила в атмосферу з надлишковим вмістом азоту (з вмістом кисню нижче 16%), миттєво непритомніє й може загинути внаслідок витиснення азотом кисню з легенів. Потрапляння рідкого азоту на тіло працюючого може призвести до обмороження й опіків.

Під час робіт з рідким азотом у закритих приміщеннях, посудинах і приямках персонал повинен стежити за концентрацією кисню в повітрі, періодично проводячи аналіз повітря на процентний вміст кисню. Періодичність аналізу визначається об'ємом приміщень, кількістю використаного рідкого азоту, особливостями технологічного процесу.

Обмежені за об'ємом приміщення мають бути обладнані припливно-витяжною вентиляцією й засобами контролю вмісту кисню (%) в атмосфері приміщення.

У разі роботи з великою кількістю рідкого азоту в обмеженому за об'ємом приміщенні персонал повинен мати індивідуальні засоби захисту – шлангові протигази, індивідуальні дихальні апарати.

Зберігання й транспортування рідкого азоту слід здійснювати тільки в призначеному для цього обладнанні, наприклад посудинах криогенних типу АСД-16, СК-16, СДП-16.

Заливання рідкого азоту в пастки вакуумного випробувального обладнання і течешукачів, у технологічні посудини слід проводити із застосуванням індивідуальних засобів захисту: захисних окулярів, рукавиць і фартуха.

До робіт з рідким азотом допускаються особи, не молодші 18 років, навчені й атестовані з техніки безпеки. У виробничій практиці для осіб, які працюють із азотом, повинна проводитися щорічна переатестація.

2.4.4. Техніка безпеки під час роботи з органічними розчинниками

Роботи з підготовки (знежирення) поверхонь виробів перед випробуваннями на герметичність, як правило, пов'язані із застосуванням органічних розчинників

Небезпечні для здоров'я впливи парів розчинників на організм людини можуть бути попереджені дотриманням правил техніки безпеки, правильною організацією робочого місця, використанням спецодягу й захисних засобів, а також дотриманням правил особистої гігієни.

Роботи з підготовки поверхонь із застосуванням органічних розчинників повинні проводитися відповідно до спеціальних інструкцій або технологічних процесів, погоджених і затверджених у встановленому на підприємстві порядку.

Зберігання органічних пожежо- і вибухонебезпечних розчинників у приміщенні, де проводиться підготовка поверхонь, допускається в спеціально відведених місцях, у закритій герметичній тарі, у кількості, що не перевищує змінної потреби.

Всі роботи (операції), пов'язані із застосуванням або утворенням речовин, що мають гранично-допустимі концентрації (ГДК), необхідно проводити за умови працюючої припливно-витяжної вентиляції. Контроль вмісту шкідливих домішок в атмосфері приміщення повинен здійснюватись автоматичними газоаналізаторами.

Перегонка, нагрівання й інші роботи з вогнебезпечними речовинами й хімічними реактивами під час виготовлення індикаторних середовищ повинні проводитись у спеціально обладнаних ізольованих приміщеннях і хімлабораторіях. Зберігання легкозаймистих рідин і реактивів на робочих місцях не допускається.

У разі необхідності перебування людей у порожнині великогабаритних виробів, наприклад паливних баків або вакуумних камер, для знежирення їх внутрішніх поверхонь органічними розчинниками необхідно забезпечити такі запобіжні заходи:

- роботу виконувати із примусовою вентиляцією порожнини, яка забезпечує вміст парів не вище ГДК. За відсутності або неможливості примусової вентиляції порожнини виробу особи, які виконують знежирення, повинні бути в індивідуальних дихальних апаратах або шлангових протигазах з виведенням шланга за межі внутрішньої порожнини;

- роботи виконувати під контролем робітника, який перебуває поза порожниною і на якого покладений обов'язок у разі потреби надання допомоги працюючим усередині об'єкта знежирення;

- застосовувати пожежовибухобезпечні світильники, напругою, не більшою 12В;

- об'єкт знежирення повинен бути заземлений.

2.5. Технологічна документація

Необхідною умовою правильного ведення виробничого процесу випробувань на герметичність є наявність докладно розробленої технологічної документації.

Технологічна документація – це комплект документів, які в сукупності визначають технологічні процеси (операції) підготовки, проведення й закінчення випробувань.

Основними документами, що формують комплект технологічної документації, є:

- технологічні процеси, задокументовані відповідно до вимог галузевих і державних стандартів;
- технологічні інструкції;
- технологічні паспорти;
- технологічні процеси-паспорти.

У виробничій практиці випробувань застосовують одиничні й групові технологічні процеси, а за ступенем їх деталізації – операційні, маршрутно-операційні.

Під одиничним технологічним процесом випробувань мається на увазі процес виконання комплексу робіт (підготовки, проведення й закінчення випробування) з одним найменуванням об'єкта виробництва (деталі, складальної одиниці, виробу й т. ін.).

Груповий технологічний процес випробувань – це процес випробувань групи об'єктів виробництва з різними конструктивними, але загальними технологічними ознаками, наприклад трубопроводів, кулебалонів тощо.

Операційний опис технологічного процесу випробувань включає повний опис всіх технологічних операцій (підготовки, проведення, і закінчення випробування) у послідовності їх виконання із вказівкою переходів, технологічних режимів, інструменту, засобів контролю, оснащення й технологічних схем випробувань.

Маршрутно-операційний опис технологічного процесу – сукупність скороченого опису деяких технологічних операцій у послідовності їх виконання з повним описом інших операцій.

У груповому технологічному процесі на кожний об'єкт випробування повинна бути подана схема його випробування, зазначене оснащення, засоби вимірювання, величини технологічних параметрів.

Форми документів і правила їх оформлення, використовні для написання технологічних процесів, визначаються діючою нормативно-технологічною документацією – Державними стандартами «Єдиної системи технологічної документації», галузевими стандартами, стандартами підприємств і т.д.).

Для опису методів, прийомів, загальних технічних вимог, правил експлуатації засобів технологічного оснащення, контролю й інших повторюваних вимог доцільно розробляти технологічні інструкції, наприклад «Загальні вимоги до провадження робіт під час випробувань на міцність і герметичність».

Технологічні інструкції складені з метою скорочення об'єму розроблюваної технологічної документації. Вони є доповненням до технологічного процесу. У такому випадку в технологічному процесі робиться посилання на технологічну інструкцію для опису того або іншого розділу процесу.

Особливістю технологічної документації на об'єкт випробування у вироб-

ництві РКТ є обов'язковою наявність у її складі технологічного паспорту як основного технологічного документа. *Технологічний паспорт* являє собою документ, у якому вказують зміст операцій (переходів) під час випробувань, а також виконавців й осіб, які контролюють ці випробування. Технологічний паспорт заводять на кожний об'єкт виробництва. Склад операцій (переходів), що підлягають включенню в паспорт, визначає розроблювач технологічної документації й узгоджує служба технічного контролю.

Технологічний паспорт може бути супровідною документацією протягом усього зазначеного в ньому технологічного маршруту виготовлення (випробування) об'єкта виробництва. У цьому випадку документ називається «*Маршрутно-технологічний паспорт*» (МТП).

Технологічний документ, що поєднує технологічний процес і технологічний паспорт, називається «*Технологічний процес-паспорт*». За ступенем деталізації опису він належить до одиничних операційних процесів, і в ньому передбачене підтвердження виконання технологічних операцій (переходів) підписами виконавців і осіб, які контролюють ці операції.

Нормування технологічних операцій

Нормуванням технологічних операцій називається розрахунок часу, необхідного для їх виконання. Нормування технологічних операцій важливе техніко-економічне завдання, що впливає на якість і продуктивність роботи.

В основі визначення норми часу технологічної операції ($T_{НЧ}$) лежить розрахунок оперативного часу (T_O), часу на підготовчо-заключну роботу ($T_{ПЗ}$), часу на організаційно-технічне обслуговування робочих місць ($T_{ОТО}$) і часу на відпочинок і особисті потреби ($T_{ВДП}$).

$$T_{НЧ} = T_O + T_{ПЗ} + T_{ОТО} + T_{ВДП}.$$

Для технічного нормування робіт під час випробувань на герметичність застосовують відповідні нормативи часу.

Нормативи оперативного часу (T_O) встановлені на перелік і склад робіт з урахуванням основних факторів, що впливають на їх тривалість.

Нормативи підготовчо-заключного часу, часу на організаційно-технічне обслуговування робочого місця, на відпочинок і особисті потреби вказуються у відсотках від оперативного часу.

Установлення норм часу необхідно проводити з урахуванням кількості задіяних виконавців до того або іншого складу робіт.

2.6. Розрахунок кількості допоміжних матеріалів

Ряд технологічних операцій (переходів) підготовки, проведення й закінчення випробування передбачають застосування різних допоміжних матеріалів (газоподібних контрольних середовищ, контрольних і технічних рідин, індикаторних мас, текстильних і обтиральних матеріалів і т. ін.).

Для кожного матеріалу повинні бути розроблені норми витрати для виконання процесу випробування. Розрахунок ведеться поопераційно, з подальшим

узагальненням для всього процесу випробування.

У виробничій практиці визначення норм витрати матеріалів може бути зроблено:

- розрахунково-аналітичним методом із застосуванням відповідних методик, формул, зазначених у діючій нормативно-технічній документації;
- дослідним методом – заснованим на вимірюванні витрати матеріалу, втрат, відходів шляхом постановки досліду в лабораторних або виробничих умовах;
- орієнтовно – шляхом прирівнювання норми витрат до раніше розробленої норми витрати на виріб-аналог.

Вихідними документами для розрахунку норм витрати матеріалу служить конструкторська документація, склад технологічних операцій, технологічні інструкції, нормативно-технічна документація.

Розмірність одиниць виміру норми витрати характеризується відношенням одиниці обліку нормованого виду матеріалу до одиниці об'єму виробничих робіт.

Складові норми витрати того або іншого матеріалу визначаються складом технологічних операцій (переходів) його застосування. Наприклад, норма витрати контрольного газового середовища (стиснене повітря, азот і т.д.) може складатися з витрати на продувку й витрати на випробування.

Продувці контрольним газом (повітрям, азотом) піддаються системи пневмокомунікацій схем випробувань у процесі їх монтажу. Розрахунок необхідної кількості газу для продувки можна зробити за формулою

$$H_{\text{ПР}} = \sum_{i=1}^u Q_i t_i,$$

де $H_{\text{ПР}}$ – норма витрати газу, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}$; Q_i – секундна витрата газу, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}/\text{с}$; t_i – час продувки, с; u – кількість продувок.

Витрату контрольного газового середовища для випробувань розраховують за формулою

$$H_{\text{КС}} = P_{\text{ВИПР}} \times V \times K,$$

при цьому, витрату пробного газу, що міститься у контрольному середовищі, розраховують за формулою

$$H_{\text{ПГ}} = (P_{\text{ВИПР.}} + 1) V \frac{C}{100} K,$$

де $P_{\text{ВИПР.}}$ – тиск випробування, Па; V – внутрішній об'єм об'єкта випробування й технологічних систем, м^3 ; C – концентрація пробного газу в контрольній суміші, %; K – коефіцієнт перевипробувань, що дорівнює 1,05...1,1 (вибирається дослідним шляхом); $H_{\text{КС}}$ і $H_{\text{ПГ}}$ – норма витрати контрольного середовища й пробного газу відповідно, $\text{м}^3 \cdot \text{Па}$.

Норму контрольної рідини обчислюють за формулою

$$H_{\text{КР}} = V \cdot K_B,$$

де $H_{\text{КР}}$ – норма контрольної рідини, м^3 ; V – об'єм контрольної рідини, м^3 ; K_B – коефіцієнт втрат, що дорівнює 0,02...0,05, задається залежно від складності об'єкта випробування.

Технологічні рідини, текстильні й обтиральні матеріали застосовуються під час очищення поверхонь об'єкта випробування до й після випробування, а також поверхонь випробувального технологічного оснащення перед установленням її на об'єкт.

Норму витрати технологічної рідини розраховують за формулою

$$H_{TP} = H_{\Pi TP} \cdot S$$

де H_{TP} – норма витрати технологічної рідини, кг(м³); $H_{\Pi TP}$ – питома норма витрати рідини, кг/м² (м³/м²); S – площа, що підлягає обробці, м².

Поопераційну норму витрати текстильних і обтиральних матеріалів обчислюють за формулою

$$H_o = \frac{H_y \times S_o}{m \times K_n},$$

де H_o – норма витрати матеріалу, погонні м; H_{Π} – питома норма витрати, п.м/м²; m – кратність використання матеріалу, визначається технологічним процесом; S_o – площа оброблюваної поверхні, м²; K_{Π} – коефіцієнт перерахування, обчислюється за формулою

$$K_{\Pi} = \frac{b}{b_1},$$

де b – ширина використовуваної тканини, м; b_1 – ширина тканини за нормативом, м.

Норму витрати контрольних мас розраховують за формулою

$$H_{KM} = H_{\Pi} S_o,$$

де H_{KM} – норма витрати контрольної маси, кг; S_o – площа, що покривається контрольною масою, м²; H_{Π} – питома норма витрати, кг/м².

Питома норма витрати визначається залежно від методів нанесення контрольних мас (пневморозпиленням, пензлем), груп складності поверхні, а також з урахуванням максимально допустимих втрат. Питома норму витрати матеріалів беруть з нормативно-технічної документації або визначають дослідним шляхом на підставі вимірювань, проведених у виробничих умовах.

Питання і завдання до розділу 2

1. З якою метою проводять узагальнюючий аналіз вимог до випробувань у конструкторській документації, науково-технічній документації й базовому технологічному процесі випробувань?

2. Сформулюйте завдання, обумовлені вимогами до випробувань (включаючи схеми випробувань) у сукупності з конструктивними особливостями об'єкта випробувань.

3. Виконання яких технологічних завдань визначається вимогами до випробувань?

4. Укажіть стадії розробки технологічного процесу випробувань на герметичність.

5. Наведіть структурну схему технологічного процесу випробувань.
6. Якими загальними рекомендаціями керуються під час вибору варіантів технологічних процесів випробувань?
7. Хто здійснює і з ким узгоджується вибір методу контролю герметичності?
8. Які операції повинні бути включені в технологічний процес випробувань на етапах підготовки, проведення й закінчення випробувань?
9. Що являє собою схема випробувань і чим визначається її склад?
10. Укажіть загальні підходи до забезпечення міцності й герметичності технологічних з'єднань.
11. Укажіть принципи забезпечення та склад організаційно-виробничих заходів збереження об'єкта виробництва в процесі випробувань на герметичність.
12. Які існують способи заповнення виробів контрольними газами?
13. Який склад засобів технологічного оснащення для проведення випробувань на герметичність?
14. Які типи контрольних теч використовуються під час контролю герметичності?
15. Укажіть вимоги до пробного газу.
16. Опишіть будову гелієвого мас-спектрометричного течешукача й використовувани під час контролю герметичності режими його роботи?
17. Укажіть особливості індикації пробного газу галогенними течешукачами.
18. Які небезпечні фактори можливі під час руйнування об'єкта випробувань?
19. Укажіть вимоги безпеки до випробувальних установок.
20. Наведіть вимоги техніки безпеки під час роботи з рідким азотом та органічними розчинниками.
21. Які основні документи входять до складу комплексу технологічної документації?
22. У чому суть нормування технологічних операцій.
23. Якими методами здійснюється розрахунок норм витрати основних і допоміжних матеріалів?

Розділ 3

ОРГАНІЗАЦІЯ ВИПРОБУВАНЬ НА ГЕРМЕТИЧНІСТЬ У ВИРОБНИЧОМУ ПРОЦЕСІ

Організація випробувань на герметичність спрямована на забезпечення достовірності контролю герметичності, безпеки випробувальних робіт і збереження об'єкта випробування, дослідження причин негерметичностей і вдосконалювання процесів випробувань.

Виконання цих завдань здійснюється через реалізацію у виробництві технологічних, технічних і організаційних заходів. Ці заходи передбачають:

- 1) організацію робочих місць випробувань;
- 2) відпрацювання розробленого (зміненого) технологічного процесу у виробничих умовах;
- 3) дотримання й підтримку стабільності, виробничої технологічної дисципліни.

3.1. Організація робочих місць випробувань

Робоче місце – сукупність усіх засобів випробувань і вимірювань, випробувального оснащення, пристроїв і допоміжного устаткування й систем, що забезпечують проведення випробувань контрольованого виробу на відповідність вимогам конструкторської документації.

Організація робочого місця випробувань нового об'єкта виробництва може здійснюватися як на базі діючого у виробництві встаткування, так і на базі знову виготовленого для реалізації нових завдань у процесі підготовки виробництва.

Робочі місця можуть бути:

- стаціонарні для випробування одного типу виробу, деталі, складальної одиниці;
- стаціонарні для випробувань групи виробів, деталей або складальних одиниць;
- нестаціонарні (тимчасові), що розбираються.

За своїм призначенням робочі місця поділяються: на робочі місця випробувань на герметичність і об'єднані – для випробувань на міцність і герметичність.

Робоче місце устатковують на підставі таких документів:

- конструкторської документації на об'єкт випробування;
- конструкторської документації на встаткування, оснащення;
- технічних описів і інструкцій для експлуатації засобів вимірів;
- технологічного процесу випробування об'єкта (об'єктів).

Під час проектування робочих місць необхідно порівнювати технічні характеристики обладнання з геометричними, ваговими характеристиками об'єктів випробувань, а також брати до уваги енергоємність об'єкта випробування в разі навантаження його випробувальним тиском.

Для робочого місця обов'язкова наявність паспорта, призначення якого: облік складу обладнання й оснащення, контроль їх зміни в процесі експлуатації.

Випробувальне й інше обладнання на робочому місці, до їх первинного застосування повинне бути здане в експлуатацію й атестоване.

Атестація робочого місця проводиться з метою перевірки наявності й атестованості всіх його складників, а також видачі висновку про придатність робочого місця до випробувань конкретного типу виробу, деталі, складальної одиниці (виробів, деталей, складальних одиниць).

Після атестації робоче місце підлягає здачі в експлуатацію. У паспорті робочого місця встановлюється періодичність перевірки в процесі його експлуатації.

3.2. Відпрацьовування технологічного процесу випробувань

Розроблений технологічний процес є лише моделлю майбутнього виробничого процесу. Щоб надати йому цього статусу, необхідно провести його відпрацьовування у виробничих умовах разом з об'єктом (об'єктами) випробування. Під час відпрацьовування технологічних процесів випробувань на герметичність необхідно:

1) підтвердити збирання, а потім міцність і герметичність технологічних з'єднань (випробувальне оснащення – об'єкт випробування) за випробувальних тисків у перебігу процесу випробувань;

2) переконатися в безпеці транспортувальних і вантажопідйомних операцій (за наявності таких);

3) перевірити ефективність захисту об'єкта випробування від перевищення тиску, передбаченого як у випробувальному обладнанні, так і в технологічних схемах випробувань;

4) відпрацювати режими й параметри випробувань, регламентовані конструкторською документацією;

5) уточнити раніше встановлені технологічні параметри й режими контролю герметичності, обумовлені обраним методом контролю герметичності й способом його реалізації;

6) підтвердити чутливість схеми випробування разом з приєднаним об'єктом випробування;

7) дослідити ефективність способу заповнення об'єкта випробування контрольним газовим середовищем щодо забезпечення рівномірності концентрації пробного газу в об'єкті;

8) установити технологічні виробничі фактори, що негативно впливають на стабільність атмосфери робочої зони дільниці, випробувального обладнання (загазованість, коливання температури, зниження вмісту кисню й т.д.);

9) виявити невстановлені під час розробки технологічного процесу конструктивні особливості об'єкта випробування, що можуть негативно вплинути на достовірність контролю, безпеку випробування й схоронність об'єкта;

10) відобразити невраховані вимоги до оснащення, робочих місць і обладнання;

11) вибрати методи й способи їх реалізації для локалізації місць негерметичностей (під час випробувань об'єкта на сумарну негерметичність);

- 12) оцінити рівень оснащення технологічного процесу;
- 13) спрогнозувати виникнення позаштатних ситуацій під час підготовки, проведення й закінчення випробування й виробити заходи контролю для попередження їх виникнення;
- 14) переконатися в достатності заходів із захисту порожнин об'єкта випробування від забруднень;
- 15) переконатися в ефективності методів очищення зовнішніх поверхонь об'єкта від індикаторних мас після проведення випробувань і т.д.

У виробничій практиці відпрацьовування технологічного процесу проводиться під час випробувань певної кількості об'єктів. Кількість випробувань визначається нормативно-технічною документацією або стандартами підприємства - виготовлювача ракетно-космічної техніки.

Всі виявлені в процесі відпрацьовування зауваження підлягають усуненню. По закінченні відпрацьовування оформляється акт освоєння технологічного процесу.

3.3. Технологічна дисципліна

Технологічна дисципліна – дотримання точної відповідності технологічного процесу виготовлення (випробування) виробу вимогам конструкторської й технологічної документації.

Технологічна дисципліна є необхідною умовою й основою виготовлення продукції відповідно до вимог конструкторської, нормативно-технічної й технологічної документації, що діє на підприємстві й у галузі.

Порушенням технологічної дисципліни вважається будь-який відступ від технологічного процесу, креслення, технічних умов або іншої нормативно-технічної документації, незалежно від причин відступу, серед яких можуть бути:

- використання обладнання, пристроїв, інструменту, засобів вимірювання й т. ін., незазначених у технологічному процесі;
- недотримання послідовності виконання технологічних операцій (переходів);
- виконання робіт неатестованими працівниками;
- використання неатестованих засобів контролю й оснащення;
- відсутність на робочому місці технологічного процесу, креслення на виконувану роботу;
- незадовільний стан робочого місця й ін.

Для підтримання на необхідному рівні технологічної дисципліни необхідний контроль її дотримання у виробничих умовах.

Метою контролю технологічної дисципліни є попередження можливих порушень технологічних процесів, виключення виробничого браку, підвищення стабільності якості виконуваних робіт, запобігання передчасному виходу з ладу обладнання й оснащення, попередження виробничого травматизму, зменшення витрат виробництва й підвищення культури виробництва, поліпшення організації виробництва й охорони навколишнього середовища.

Під час контролю технологічної дисципліни повинні виконуватися такі основні завдання:

- визначення відповідності технологічного процесу вимогам конструкторської й технологічної документації;
- визначення характеру, виду й причин порушення (за їх наявності);
- розробка заходів щодо запобігання порушенням і вдосконалювання технологічного процесу;
- визначення показників технологічної дисципліни.

Під час контролю технологічної дисципліни підлягають перевірці:

- окремі технологічні процеси або технологічні операції;
- окремі засоби технологічного оснащення;
- окремі робочі місця або ділянки й т. ін.

Розрізняють такі види контролю технологічної дисципліни: повсякденний і періодичний.

Повсякденний контроль технологічної дисципліни здійснюється на робочому місці розроблювачем технологічного процесу й керівником робіт на даному місці.

При цьому перевіряється:

- наявність на робочому місці технологічного процесу, креслень і інших документів, необхідних для виконання операції, що перевіряється;
- відповідність атестації виконавця виконуваних робіт;
- відповідність виконуваної роботи технологічній документації;
- дотримання послідовності виконання операцій (переходів);
- відповідність виконання режимів операцій (переходів) вимогам технологічної документації;
- відповідність застосовуваного інструмента, оснащення, засобів вимірювань, обладнання, допоміжних матеріалів технологічному процесу;
- відсутність обладнання, оснащення, вимірювальних приладів із простроченими атестатами;
- правильне ведення технологічного паспорта;
- чистота й культура на робочому місці;
- дотримання правил техніки безпеки.

Періодичний контроль технологічної дисципліни проводиться цеховою комісією або комісією підприємства на робочих місцях. При цьому контролю підлягає:

- відповідність об'єкта випробування вимогам конструкторської документації;
- правильне ведення технологічного паспорта;
- відповідність послідовності виконання технологічних операцій (технологічних переходів);
- відповідність допоміжних матеріалів вимогам технологічного процесу;
- відповідність розміщення обладнання затвердженому плануванню;
- дотримання строків періодичних перевірок обладнання, оснащення й інструмента;

- відсутність у технологічному процесі цехового оснащення, що працює під тиском;
- температурно-вологий режим, чистота повітря високого тиску і їх відображення в документації
- дотримання правил техніки безпеки, промсанітарії, пожежної безпеки;
- культура виробництва, чистота й порядок на робочих місцях.

3.4. Дослідження причин проходження негерметичності

Факти негерметичності з'єднань, негерметичності основного металу, виявлені під час випробувань у складі вузлів, складальних одиниць, і виробів у цілому, якщо вони перевірялися на герметичність на ранній стадії виготовлення й випробувань, розглядаються у виробництві як позаштатна ситуація. З кожного такого випадку повинне бути проведене дослідження й установлена причина проходження негерметичності. Ці дослідження, як правило, проводить спеціальна комісія. До її складу можуть входити фахівці різних технологічних напрямків (складання, зварювання, випробувань, хімії, металургії й т.д.), а також розроблювач конструкторської документації на негерметичний вузол, складальну одиницю.

Під час дослідження відпрацьовують дві версії:

- 1) на період первинних випробувань теча була, але негерметичність не виявлена через недосконалість або порушення технологічних процесів підготовки й проведення випробувань;
- 2) на момент раніше проведених випробувань теча була відсутня й з'явилася в результаті виконання наступних технологічних операцій (складання, зварювання, механічної обробки, хімічної обробки, випробувань і т.д.).

Незважаючи на велику розмаїтість об'єктів досліджень, можна рекомендувати узагальнену програму дослідження причин проходження негерметичності.

Програма досліджень причин проходження негерметичності

1. Показати негерметичність виготовлювачеві негерметичного виробу. Визначити величину негерметичності.
2. За можливості помітити місце течі.
3. Ізолювати плівковим чохлом або іншим способом зону негерметичності від атмосфери і ще раз підтвердити, що теча функціонує (методами накопичення, гелієвої камери, омилування місця проколу плівкового чохла й т.ін.). Після контролю місце проколу (розгерметизації) чохла загерметизувати.
4. Проаналізувати технологічний процес випробувань і конструкцію виробу, що випробовувався, на предмет одержання помилкової негерметичності.
5. Демонтувати негерметичний вузол з виробу (за рішенням комісії), ізолювати порожнину від атмосфери (заглушкою, плівковим чохлом тощо) і відправити виготовлювачеві.
6. Допрацювати вузол для випробування за технологією виготовлювача дефектного вузла, при цьому плівковий чохол із зони негерметичності не знімати, внутрішні порожнини на міжопераційний період ізолювати від атмосфери.

Потрапляння забруднень на зону негерметичності як із внутрішнього, так і із зовнішнього боку вузла під час виконання робіт з п.п. 2, 3; 5; 6 не допускається.

7. Підтвердити негерметичність вузла за технологічним процесом випробувань виготовлювача дефектного вузла в присутності членів комісії. Визначити величину негерметичності. Визначити місце течі.

Раніше встановлену герметизацію із зони негерметичності знімати після монтажу схеми випробування (перед закриттям камери), контролюючи герметичність методами вакуумування, гелієвої камери або перед заповненням – за контролю герметичності методами накопичення, шупа, омилування.

8. Якщо підтверджена негерметичність, у виготовлювача вузла перевірити технологічний процес, маршрутно-технологічний паспорт і обладнання.

8.1. У технологічному процесі:

- проаналізувати порядок заповнення вузла контрольною сумішшю газів (гелій + повітря, повітря + гелій, гелій і т.д.) на предмет одержання необхідного процентного вмісту гелію, достатності витримки для утворення рівномірної повітряно-гелієвої суміші, перевірити акти виміру вмісту гелію (%) в суміші під час відпрацьовування технологічного процесу і періодичному контролю;

- перевірити наявність вимог до виміру параметрів випробувань: a_0 – показання течешукача за пробним газом в схемі течешукування, a_Σ – показання течешукача за пробним газом під час контролю герметичності; $\Delta a_{ОВ}$ – приріст показань течешукача від течі (теч) на об'єкті випробувань; вимог до чутливості випробувань: $Q_{ОВ}$ – ступінь негерметичності об'єкта випробувань, $Q_{Доп}$ – допустимий ступінь негерметичності за конструкторською документацією; вимог до розрахунку величини негерметичності виробу.

- оцінити вибір контрольної течі, достатність часу для одержання усталеного показання течешукача від контрольної течі й випробовуваного вузла;

- проаналізувати, як впливає черговість випробування вузлів (у партії) на одержання процентного вмісту гелію (%) у виробі (лінії пневмопульту й схеми випробувань продуваються повітряно-гелієвою сумішшю, гелієм);

- перевірити ще раз правильність вибору режимів сушіння перед випробуваннями на герметичність, умови зберігання після зварювання й сушіння до випробування.

Аналіз технологічного процесу робити з урахуванням особливості конструкції випробовуваного вузла;

- проаналізувати ступінь підготовки поверхні вузла в процесі складання й перед випробуванням на герметичність.

8.2. У маршрутно-технологічному паспорті перевірити:

- черговість випробування вузлів у партії й час;

- реєстрацію (запис) параметрів випробувань, чутливість випробувань, параметри сушіння;

- час і умови зберігання після зварювання, сушіння до випробувань (тривалість зберігання, температура, вологість у приміщенні за час зберігання);

- режим підготовки поверхні вузла в процесі складання й перед випробуваннями на герметичність.

8.3. В обладнанні, оснащенні:

- перевірити течешукач (за журналом експлуатації) на відповідність паспортним даним на день випробування дефектного вузла;
- перевірити (за паспортом, атестатом) величину контрольної течі й строки періодичної перевірки на день випробування дефектного вузла;
- перевірити атестат (паспорт) на контрольну суміш (в разі контролю герметичності способами накопичення, щупа);
- перевірити чутливість течешукача в схемі випробувань;
- перевірити ефективність відкачувальної системи випробувального обладнання, призначеної для відкачки порожнини вузла перед заповненням його повітряно-гелієвою сумішшю;
- проаналізувати схему випробувального обладнання щодо можливих порушень черговості заповнення вузла контрольною сумішшю газів і наслідки цього порушення;
- проаналізувати обладнання й оснащення на предмет наявності неврахованих доробок, що зумовлюють проходженню негерметичності;
- на сушильному обладнанні (за відсутності запису параметрів сушіння) перевірити забезпечення параметрів сушіння;
- перевірити технічний стан обладнання (за наявності такого) для підготовки поверхонь вузла в процесі складання й перед випробуванням, звернувши увагу на періодичність і ступінь контролю чистоти робочої рідини;
- оцінити технічний стан приміщення, де зберігаються вироби після зварювання, сушіння до випробувань щодо виконання вимог до зберігання за температурою і вологістю й забезпечення чистоти виробів.

8.4. Провести повторні випробування дефектного (негерметичного) вузла з тими передбачуваними порушеннями технологічного процесу випробувань, які могли спричинити проходження негерметичності (введення передбачуваних порушень – послідовне).

У разі підтвердження негерметичності оцінити ймовірність цих порушень у процесі проведення штатних випробувань.

8.5. Провести контрольне складання за схемою випробувань з виконавцем, який здійснював випробування дефектного вузла.

8.6. У технологічних процесах і маршрутно-технологічних паспортах виготовлювача й споживача проаналізувати технологічні операції (складання, зварювання, механічної обробки й т. ін.), виконані після випробування дефектного вузла, та побічні явища, які могли послужити причиною втрати герметичності.

8.7. Спільно з фахівцями з випробувань оцінити ефективність технологій підготовки й сушіння поверхонь вузла із розкриття теч (за спеціальною програмою).

9. У разі непідтвердження у виготовлювача негерметичності вузла під час випробувань за п. 7 проаналізувати:

- випробувальне оснащення на предмет закриття ним течі, стиснення (розтягання) зони негерметичності під час установа й затягування оснащення, стан вузла (вільний, заневолений в оснащенні й т. ін.);

– конструкторську документацію за величинами і градієнтом тиску, методи контролю, схеми випробувань;

– часові характеристики знаходження вузла під тиском перед оцінкою герметичності у виготовлювача й споживача;

– операції заповнення вузла контрольною сумішшю з метою одержання в зоні негерметичності необхідного вмісту гелію (%).

Провести вимір вмісту гелію (%).

Повторити випробування, збільшивши вмісту гелію (%) в контрольному середовищі, час витримки під випробувальним тиском до оцінки герметичності.

У разі негерметичності, що не підтвердилася, знежирити поверхню й піддати сушінню й випробуванням відповідно до діючих технологічних процесів.

10. У разі непідтвердження негерметичності виготовлювач дефектного вузла спільно з фахівцями з випробувань проводить додаткові роботи з розкриття течі (за спеціальною програмою), з подальшим випробуванням в обсязі, установленому комісією.

11. Під час дослідження причин негерметичності (вище допустимої за конструкторською документацією), виявлених методом мундштука (у тому числі й із застосуванням кубикометра, пінного витратоміра, ротаметра), за спадом (підвищенням) тиску, необхідно:

а) проаналізувати технологічний процес випробувань разом з конструкцією випробовуваного вузла на предмет одержання помилкових негерметичностей, звернувши увагу:

– на достатність часу витримки для вирівнювання температури газу у вузлі з навколишнім середовищем після заповнення вузла до випробувального тиску;

– вплив температури навколишнього середовища на результати вимірювання негерметичності;

– наявність у виробі порожнин, з'єднаних із засобами вимірювань, що змінюють об'єм у процесі заповнення вузла до випробувального тиску й за наступних витримок;

б) провести порівняльний аналіз методів контролю герметичності, застосовуваних виготовлювачем і споживачем;

в) проаналізувати технологічні процеси складання й випробувань вузла, застосовувані у споживача щодо забезпечення чистоти порожнин виробу. Оцінити зв'язок між чистотою порожнин і негерметичністю вузла.

Після зняття вузла з виробу провести випробування вузла на герметичність за технологією виготовлювача в обсязі, установленому комісією.

У разі підтвердження негерметичності негерметичний вузол підлягає дефектації в обсязі, встановленому комісією.

3.5. Напрямки вдосконалювання процесів випробувань на герметичність

Удосконалювання процесів випробувань на герметичність спрямоване на досягнення таких цілей:

- підвищення достовірності оцінки результатів випробувань;
- зниження трудових і матеріальних витрат на підвищення результатів.

Питання підвищення достовірності оцінки результатів випробувань можуть вирішуватися як через застосування датчикової апаратури з високими метрологічними характеристиками, так і через проведення технічно необхідного обсягу технологічного відпрацьовування процесу випробувань (відпрацьовування часу випробувань $t_{ВИПР.}$, часу змішування $t_{ЗМ.}$; потоків пробного газу $Q_{КТ}$ із контрольної течі і його концентрацій $C_{КТ}$; концентрацій пробного газу в контрольній суміші газів $C_{КС}$ і в об'єкті випробування $C_{ОВ}$; заміна реєстрації зміни тиску ΔP на реєстрацію потоків Q ; реєстрація теч через проміжні конструктивні об'єми й т. ін.).

Зниження трудових витрат зводиться до скорочення циклу випробувань як через вибір оптимальних режимів (з погляду технологічного часу) виконання технологічних операцій – операції подачі (скидання) тиску, оцінка міцності й герметичності двопорожнинних посудин, локалізація теч, так і через мінімізацію непродуктивних витрат.

Зниження матеріальних витрат під час випробувань на герметичність мас-спектрометричними методами полягає в основному у зменшенні витрат допоміжних матеріалів, у яких пробний газ (гелій) основний.

Зниження витрати гелію може бути реалізоване в одних випадках шляхом удосконалювання схем основних випробувань і під час локалізації теч, а також шляхом впровадження у виробництво методики й обладнання багаторазового використання гелію.

Питання і завдання до розділу 3

1. Які робочі місця використовують під час випробувань і на підставі яких документів вони облаштовуються?
2. У чому суть відпрацьовування технологічного процесу у виробничих умовах?
3. Охарактеризуйте поняття технологічної дисципліни й мету її контролю.
4. Яке призначення програми досліджень причин проходження негерметичності.
5. Укажіть напрямки вдосконалювання процесів випробувань на герметичність виробів ракетно-космічної техніки.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Технологія виробництва ракетно-космічних літальних апаратів [Текст]: навч. посіб. / Ю.С. Алексєєв [та ін.], під ред. Є.О. Джура. – Д.: Арт-Прес, 2007 – 480 с.

Барвинок, В.А. Монтажно-испытательные процессы в производстве летательных аппаратов. Ч. 1. Методы и средства монтажа и испытаний баков-емкостей в производстве летательных аппаратов [Текст]: учеб. пособие / В.А. Барвинок, Ю.В. Федотов, Н.П. Родин. – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2007. – 80 с.: ил.

БГТИ-7/1 Течеискатель галогенный батарейный [Текст]: техническое описание и инструкция по эксплуатации 406239.005 ТО: ОАО Завод «Измеритель». – СПб. – 2011.

Технология сборки и испытаний космических аппаратов [Текст] / И.Т. Беляков [и др.] – М.: Машиностроение, 1990. – 352 с.

Бронфман, В.Ю. Проектирование средств технологического оснащения для испытаний сборочных единиц РКТ [Текст]: учеб. пособие / В. Ю. Бронфман, Ю. А. Быков. – М.: Изд-во МАИ, 1997. – 74 с.: ил.

Бударин, Л.И. Химические методы испытаний изделий на герметичность [Текст] / Л.И. Бударин, К.С. Касаев, В.Н. Наумов. – К.: Наук. думка, 1991. – 208 с.

Вакуумная техника [Текст]: справочник / Е.С. Фролов [и др.]. – М.: Машиностроение, 1992 – 480 с.

ГОСТ 18353-79 Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов [Текст]. – Взамен: ГОСТ 18353-73; введ. 80–07–01. – М.: Госкомитет СССР по стандартам; М.: Изд-во стандартов, сор. 1979. – 12 с.

ГОСТ 3.1119-83. Единая система технологической документации. Общие требования к комплектности и оформлению комплектов документов на единичные технологические процессы [Текст]. – Впервые; введ. 85–01–01. – М.: Госкомитет СССР по стандартам; М.: СТАНДАРТИНФОРМ, сор. 2012. – 17 с.

ГОСТ 5197-85. Вакуумная техника, термины и определения [Текст]. – Взамен ГОСТ 5197-70; введ. 86–07–01. – М.: Госкомитет СССР по стандартам; М.: Изд-во стандартов, сор. 1986. – 37 с.

Гурвич, А.К. Контроль проникающими веществами [Текст] / А.К. Гурвич, И.Н. Ермолов, С.Г. Сажин. – М.: Высш. шк., 1992. – 181 с.

Калинчев, В.А. Методы испытания конструкций на герметичность [Текст]: учеб. пособие / В.А. Калинчев. – М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1992. – 34 с.: ил.

Новые наукоемкие технологии в технике. Т.9. Испытания пневмогидравлических сложных технических систем [Текст]: Энциклопедия / Общ.ред. К.С. Касаев; Российское космическое агентство, Акад. технол. наук РФ. – М.: ЭНЦИТЕХ, 1996. – 378 с.

ОСТ 1.41352-72. Системы гидрогазовые. Контроль герметичности керосиновым методом [Текст]. – Взамен ПИ-150-69; введ. 73–07–01. – 17 с.

ОСТ 92-0019-78. Методы и режимы сушки изделий перед испытаниями на герметичность [Текст]. – Взамен ОСТ 92-0019-74; введ. 79–10–01. – 80 с.

ОСТ 92-0145-85. Материалы текстильные и обтирочные: нормирование расходов [Текст]. – Взамен: ОСТ 92-0145-70; введ. 87-07-01. – 58 с.

ОСТ 92-0229-72. Заполнение изделий контрольными газами при испытаниях на герметичность. Методика заполнения [Текст]. – Введ. 73-03-01. – 23 с.

ОСТ 92-0300-92 Промышленная чистота. Общие требования. [Текст]. – Взамен: ОСТ 92-0300-86; введ. 94-01-01. – 72 с.

ОСТ 92-0692-83. Испытания на герметичность. Требования к оснастке и помещению [Текст]. – Введ. 84-10-01. – 14 с.

ОСТ 92-0908-80. Растворы для гидравлических испытаний. Технические требования [Текст]. – Взамен ОСТ 92-0908-80; введ. 81-07-01. – 23 с.

ОСТ 92-0973-75 Контроль герметичности изделий методом дисперсной массы. Общие требования и типовой технологический процесс [Текст]. – Введ. 75-07-01. – 26 с.

ОСТ 92-1175-77 Очистка и обезжиривание деталей и сборочных единиц изделий. Методы и средства очистки и обезжиривание. – Введ. 78-02-01. – 23 с.

ОСТ 92-1491-84. Испытания, нормирование расходов материалов [Текст]. – Введ. 86-01-01. – 24 с.

ОСТ 92-1527-89. Контроль герметичности изделий с применением масс-спектрометрических гелиевых течеискателей. Методы испытаний [Текст]. – Взамен РД 0176-89; введ. 89-07-1. – 138 с.

ОСТ 92-1676-78. Контроль герметичности изделий методом бароаквариума. Общие требования и типовой технологический процесс [Текст]. – Введ. 79-10-01. – 36 с.

ОСТ 92-2125-87 Течи контрольные. Технические условия [Текст]. – Введ. 88-07-01. – 68 с.

ОСТ 92-4281-74. Методы, средства и режимы подготовки поверхностей изделий перед испытаниями на герметичность. Контроль качества очистки [Текст]. – Введ. 75-07-01. – 43 с.

ОСТ 92-4291-75. Методы гидравлических и пневматических испытаний на прочность и герметичность. Общие положения [Текст]. – Впервые; введ. 76-01-01. – 42 с.

ОСТ 92-4316-90. Изделия отрасли. Порядок выбора методов контроля герметичности [Текст]. – Взамен: ОСТ 92-4316-79; введ. 92-01-01. – 56 с.

ОСТ 92-4622-85. Установки вакуумные для контроля герметичности изделия. Расчет параметров и их контроль при эксплуатации, метрологическая аттестация [Текст]. – Впервые; введ. 87-01-01. – 24 с.

ОСТ 92-9333-80. Бронекамеры для испытания изделий на прочность и герметичность и работ со взрывчатыми веществами. Общие требования безопасности [Текст]. – Введ. 82-01-01. – 33 с.

ОСТ 92-9365-81. Испытания сборочных единиц на герметичность. Гидравлические методы [Текст]. – Введ. 82-01-01. – 69 с.

ОСТ 92-9555-82 Электрорадиоэлементы и блоки герметизированные. Методы испытаний на герметичность [Текст]. – Введ. 83-07-01. – 54 с.

Течеискатель масс-спектрометрический ТИ1-50 [Текст]: руководство по эксплуатации ТФИЯ 406239.024-РЭ, ОАО Завод «Измеритель». – СПб. – 2011.

Технологические процессы испытаний на прочность и герметичность в производстве ракетно-космической техники [Текст]: учебн. для студ. высш. учеб. заведений / В.П. Волков [и др.]; ред. Л.Д. Кучма. – Д.: Арт-Пресс, 2014. – 264 с.

ЗМІСТ

ПЕРЕДМОВА	3
Розділ 1. Техніка течішукання в ракетно-космічному виробництві	4
1.1. Причини негерметичності й вимоги до герметичності виробів	4
1.2. Основні поняття й визначення техніки течошукання	8
1.3. Система технологічних заходів забезпечення герметичності у виробництві ракетно-космічної техніки	10
1.4. Підготовка поверхні об'єкта випробування до випробувань на герметичність	11
1.5. Видалення рідини з нещільностей. Методи сушіння	15
1.6. Загальна класифікація методів випробування на герметичність виробів ракетно-космічної техніки	20
1.7. Манометричні методи контролю герметичності	21
1.8. Гідрогазодинамічні методи контролю герметичності	28
1.9. Газоаналітичні методи контролю герметичності виробів ракетно-космічної техніки	37
1.10. Хімічні методи контролю герметичності.	54
Питання і завдання до розділу 1	56
Розділ 2. Проектування технологічних процесів випробувань на герметичність	58
2.1. Технічні завдання, виконувані під час проектування технологічного процесу випробування на герметичність	58
2.2. Розробка технологічного процесу випробувань на герметичність	60
2.2.1. Технічні вимоги до процесу випробувань стосовно об'єкта випробувань	64
2.2.2. Вибір варіантів технологічних процесів випробувань	65
2.2.3. Вибір методів контролю герметичності	65
2.2.4. Вимоги до чистоти зовнішніх поверхонь і внутрішніх порожнин	66
2.2.5. Склад технологічних операцій і послідовність їх виконання	67
2.2.6. Розробка технологічної схеми випробування	67

2.2.7. Призначення параметрів і режимів технологічних операцій	68
2.2.8. Збереження об'єкта випробувань	68
2.2.9. Заповнення виробів контрольними газами під час випробування на герметичність	69
2.3. Засоби технологічного оснащення	73
2.3.1. Вибір засобів технологічного оснащення	74
2.3.2. Мас-спектрометричні течешукачі	82
2.3.3. Галогенні течешукачі	86
2.3.4. Щупи-натікачі й обдувачі	88
2.4. Техніка безпеки під час випробувань на герметичність	89
2.4.1. Небезпечні фактори під час випробувань на герметичність	89
2.4.2. Вимоги безпеки до випробувальних установок	89
2.4.3. Техніка безпеки під час роботи з рідким азотом	91
2.4.4. Техніка безпеки під час роботи з органічними розчинниками	91
2.5. Технологічна документація	92
2.6. Розрахунок кількості допоміжних матеріалів	94
Питання і завдання до розділу 2	96
 Розділ 3. Організація випробувань на герметичність у виробничому процесі	 98
3.1. Організація робочих місць випробувань	98
3.2. Відпрацьовування технологічного процесу випробувань	99
3.3. Технологічна дисципліна	100
3.4. Дослідження причин проходження негерметичності	102
3.5. Напрямки вдосконалювання процесів випробувань на герметичність	106
Питання і завдання до розділу 3	106
 Список рекомендованої літератури	 107

Навчальне видання

Вікентій Павлович Волков [та ін.]

**Випробування на герметичність у виробництві
ракетно-космічної техніки**

Навчальний посібник

Редактор І.І. Стадник
Техредактор Т.І. Севост'янова
Коректор Т.А. Белиба

Підписано до друку 15.01.15. Формат 60×84/16. Папір друкарський.
Друк плоский. Ум. друк. арк. 6,5. Ум. фарбовідб. 6,5.
Обл.-вид. арк. 6,8. Тираж 50 пр. Зам. № .

РВВ ДНУ, просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, 49010.

Друкарня «Ліра», пл. Десантників, 1, м. Дніпропетровськ, 49038.

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру серія ДП № 14 від 13.07.2000 р.

ДЛЯ НОТАТОК