



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **147597** (13) **U**
(51) МПК (2021.01)
G01F 17/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки: u 2020 06623	(72) Винахідник(и): Планковський Сергій Ігорович (UA), Шипуль Ольга Володимирівна (UA), Заклінський Сергій Олександрович (UA), Цегельник Євген Володимирович (UA), Комбаров Володимир Вікторович (UA)
(22) Дата подання заявки: 15.10.2020	
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 27.05.2021	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 26.05.2021, Бюл.№ 21	(73) Володілець (володільці): НАЦІОНАЛЬНИЙ АЕРОКОСМІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. М.Є. ЖУКОВСЬКОГО "ХАРКІВСЬКИЙ АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ", вул. Чкалова, 17, м. Харків, 61070 (UA)

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ ОБ'ЄМУ ПОСУДИНИ

(57) Реферат:

Спосіб визначення об'єму посудини включає заповнення вимірюваної посудини газом та його дренування при надкритичному витіканні з сопла при вимірюванні тиску в посудині. Використовують сопло з попередньо визначеним коефіцієнтом витрати μ . Вимірювання тиску проводять багаторазово в діапазоні від $0,5$ до 1 секунди від початку дренування газу з вимірюваної посудини. Об'єм вимірюваної посудини визначають за формулою:

$$V = \frac{N \sum_{i=1}^N \left[\left(P_i / P_{0,5} \right)^{-(k-1)/2k} - 1 \right]}{2 \mu \sqrt{P_{0,5} T_{0,5}}}$$

де $P_{0,5}$, $T_{0,5}$ - значення тиску та температури у вимірюваній посудині через $0,5$ с від подачі сигналу на початок дренування;

P_i - тиск у вимірюваній посудині в момент часу t_i ;

F - площа поперечного перерізу критичного отвору;

k , R - коефіцієнт адіабати та газова стала використовуваного газу;

N - кількість вимірювань тиску в діапазоні від $0,5$ до 1 секунди від початку дренування газу;

Ψ - коефіцієнт, який визначається за формулою $\Psi = \sqrt{k(2/k - 1)^{\frac{k+1}{k-1}}}$.

UA 147597 U

UA 147597 U

Корисна модель належить до неруйнівних методів вимірювання і може бути використана для вимірювання в газовому середовищі об'єму внутрішньої порожнини посудини, що має складну геометричну форму в різних галузях машинобудування.

Відомий спосіб вимірювання об'єму, який полягає в заміщенні шуканого об'єму рідиною (водою, маслом тощо) з подальшим виміром її об'єму мірником, як такий використовують вимірювальну колбу, бюретку, циліндр, мензурку та ін. (Гаузнер С.І., Кивіліс С.С., Осокіна А.П., Павловський А.М. Вимірювання маси, об'єму і щільності. М.: Видавництво стандартів. 1972. - С. 623).

Недоліком відомого способу є необхідність очищати посудину від рідини після вимірів, що збільшує похибку вимірювань, оскільки не вся рідина вимірюється мірником - частина її залишається на стінках посудини. Наявність процедури наповнення і видалення рідини з посудини ускладнює і збільшує тривалість проведення вимірювань. Крім того вказаний спосіб має обмежені можливості для застосування, оскільки може використовуватися тільки для тих посудин, для яких контакт із рідиною не завдає шкідливих наслідків у вигляді її поглинання поверхневим шаром, набухання, розчинення, корозії, засмічення мікропор тощо.

Відомі способи, що дозволяють визначати об'єм посудин в повітряному середовищі. Зокрема, відомий ряд способів вимірювання об'єму посудин у різних варіантах виконання, оснований на вимірі резонансної частоти посудини (патент РФ № 2131590, МПК G01F 23/28; патент USA № 4640130, опубл. МПК G01N 29/00, G01F 17/00; патент USA № 7578183, МПК G01F 23/28, G01F 17/00), які дозволяють визначати об'єм посудин у повітряному середовищі. Суть способів полягає в тому, що у вимірюваному об'ємі посудини збуджують акустичні коливання з частотою, рівній резонансній частоті вимірюваного об'єму, за значенням якої за певними формулами розраховують значення вимірюваного об'єму.

Недоліками способів є складність їх технічної реалізації і низька точність вимірювань для посудин складної форми.

Відомі способи визначення об'єму в замкнутах посудинах, оснований на вимірі параметрів витікання газу.

Відомий спосіб визначення об'єму та/або ступеня герметичності оболонок великого об'єму (патент РФ № 2217721, МПК G01M 3/26, G01F 17/00), згідно з яким в оболонку встановлюють технологічну калібровану посудину, з'єднують прилад для вимірювання абсолютного тиску всередині оболонки, заповнюють оболонку повітрям із надлишковим тиском і вимірюють час падіння тиску в оболонці через зазначену посудину, при цьому величину падіння тиску задають заздалегідь із врахуванням похибки вимірювань абсолютного тиску повітря, в оболонку встановлюють другу калібровану посудину з іншою витратою, вдруге заповнюють оболонку повітрям із таким же надлишковим тиском і вимірюють час падіння тиску через другу посудину, після чого визначають обсяг оболонки за формулою.

Недоліком способів є низька точність вимірювання, обумовлена тим, що за час вимірювання параметри повітряного середовища, зокрема температура, можуть змінитися, бути нерівномірно розподіленими всередині посудини, що змінює умови витікання і вносить неконтрольовану похибку в результат вимірювання. Недоліком способів також є підвищена тривалість процедури вимірювання, яка для посудин великого об'єму може складати декілька годин.

Найбільш близьким аналогом корисної моделі за призначенням та технічною суттю є спосіб вимірювання об'єму посудини (АС СРСР № 1536209А1, МПК G01F 17/00), оснований на заповненні вимірюваної та еталонної посудини стисненим газом до рівного початкового підвищеного тиску, послідовним дренаванням його з кожної посудини при надкритичному витіканні з сопла, вимірюванні часу падіння тиску в кожній з ємностей на фіксовану величину та визначенні об'єму вимірюваної ємності за розрахунковою формулою, при цьому дренавання газу здійснюється багаторазово та по чергові з кожної посудини, а падіння тиску фіксують, задаючи перепад тиску між посудинами та кожний раз вимірюють час добігу цього перепаду.

Недоліком способу є низька точність вимірювання та підвищена тривалість процедури вимірювання.

Вказані недоліки викликані тим, що при надкритичному витіканні температура газу в посудинах істотно змінюється, що призводить до похибок у визначенні витрати газу при витіканні з надкритичного отвору з місцевою швидкістю звуку, яка залежить від температури. За час витікання температура може стати нерівномірно розподіленою всередині посудини, що вносить неконтрольовану похибку в результат розрахунку вимірюваного об'єму. Недоліком способів також є підвищений час вимірювань, викликаний необхідністю багаторазового дренавання газу з кожної посудини та забезпеченням сталості температури у них перед дренаванням для забезпечення точності розрахунків об'єму.

В основу корисної моделі поставлена задача підвищити точність визначення об'єму посудини при одночасному зменшенні часу вимірювання.

Поставлена задача вирішується тим, що у способі визначення об'єму посудини, що включає заповнення вимірюваної посудини газом та його дренування при надкритичному витіканні з сопла при вимірюванні тиску в посудині, згідно з корисною моделлю, використовують сопло з попередньо визначеним коефіцієнтом витрати μ , а вимірювання тиску проводять багаторазово в діапазоні від $0,5$ до 1 секунди від початку дренування газу з вимірюваної посудини, а об'єм вимірюваної посудини визначають за формулою:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\left(P_i / P_{0,5} \right)^{-(k-1)/2k} - 1 \right]}{2} \cdot \frac{(k-1)\mu F \sqrt{RT_{0,5}}}{2}$$

де $P_{0,5}$, $T_{0,5}$ - значення тиску та температури у вимірюваній посудині через $0,5$ с від подачі сигналу на початок дренування;

P_i - тиск у вимірюваній посудині в момент часу t_i ;

F - площа поперечного перерізу критичного отвору;

k , R - коефіцієнт адіабати та газова стала використовуваного газу;

N - кількість вимірювань тиску в діапазоні від $0,5$ до 1 секунди від початку дренування газу;

Ψ - коефіцієнт, який визначається за формулою $\Psi = \sqrt{k(2/k - 1)^{\frac{k+1}{k-1}}}$.

Спосіб здійснюють таким чином.

Вимірювану посудину, наповнену стислим газом, під'єднують до сопла з попередньо визначеним коефіцієнтом витрати μ за допомогою нормально закритого клапану, наприклад електромагнітного. Величину тиску в посудині встановлюють на рівні, що забезпечує режим надкритичного витікання. Після цього клапан, що з'єднує вимірювану посудину та сопло, відкривають і газ з вимірюваної посудини перетікає до оточуючого середовища. При адіабатичному надкритичному витіканні поточні значення тиску у вимірюваній посудині визначаються як:

$$P = P_0 (1 + Bt)^{\frac{-2k}{k-1}}$$

де: P_0 - початкове значення тиску;

B - коефіцієнт, який визначається за формулою $B = \frac{(k-1)\mu F \sqrt{RT_0}}{2V} \Psi$, звідки при попередньо

визначеному коефіцієнті μ об'єм посудини може бути визначено за залежністю:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\left(P_i / P_{0,5} \right)^{-(k-1)/2k} - 1 \right]}{2} \cdot \frac{(k-1)\mu F \sqrt{RT_{0,5}}}{2}$$

Однак слід врахувати, що при надкритичному витіканні газу умови адіабатичного витікання зазвичай зберігаються в діапазоні часу до $1,0$ с (див., наприклад, Быковский Ф.А., Ведерников Е.Ф.. Коэффициенты расхода насадков и их комбинаций при прямом и обратном течении // Прикладная механика и техническая физика. - 37.4 (1996): 98-104). Крім того, електромагнітні клапани, які використовуються в газових трактах, мають індивідуальні характеристики за часом спрацьовування, який може сягати $0,1$ с. Це, а також наявність перехідних процесів в газових трактах, тривалість яких може сягати до $0,4$ с (Шевченко, С.А. Экспериментальное исследование динамических характеристик регулятора давления газа в системе запуска ЖРД многократного включения // Вопросы проектирования и производства конструкций летательных аппаратов. - 4 (2015): 49-68), вносить похибку при розрахунку за наведеною формулою у випадку, коли для розрахунку використовується початкова температура газу.

Для більшої точності вимірювання необхідно проводити за умови вгамування перехідних процесів. Зважаючи на наведені дані, початком для проведення вимірювань встановимо час $t = 0,5$ с. Для усунення випадкових похибок в діапазоні $0,5 \dots 1,0$ с доцільно провести серію вимірювань, а шуканий об'єм визначити як середнє арифметичне значення. Відповідно до цього вираз з розрахунку вимірюваного об'єму може бути проведений за формулою:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N \left[\left(P_i / P_{0,5} \right)^{-(k-1)/2k} - 1 \right]}{2} \cdot \frac{(k-1)\mu F \sqrt{RT_{0,5}}}{2}$$

При цьому завдяки визначенню тиску в діапазоні, коли у вимірюваній посудині зберігаються умови адіабатичного витікання, та усуненню випадкових похибок підвищується точність визначення її об'єму. Таким чином, запропонований спосіб визначення об'єму посудини дозволяє досягти поставленого технічного результату, а саме дозволяє підвищити точність визначення об'єму посудини при одночасному зменшенні часу вимірювання.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

Спосіб визначення об'єму посудини, що включає заповнення вимірюваної посудини газом та його дренування при надкритичному витіканні з сопла при вимірюванні тиску в посудині, який відрізняється тим, що використовують сопло з попередньо визначеним коефіцієнтом витрати μ , вимірювання тиску проводять багаторазово в діапазоні від $0,5$ до 1 секунди від початку дренування газу з вимірюваної посудини, а об'єм вимірюваної посудини визначають за формулою

$$V = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{t_i}{\left[\left(P_i / P_{0,5} \right)^{-(k-1)/2k} - 1 \right]} \frac{\mu \Psi (k-1) F \sqrt{R T_{0,5}}}{2},$$

де $P_{0,5}$, $T_{0,5}$ - значення тиску та температури у вимірюваній посудині через $0,5$ с від подачі сигналу на початок дренування;

P_i - тиск у вимірюваній посудині в момент часу t_i ;

F - площа поперечного перерізу критичного отвору;

k , R - коефіцієнт адіабати та газова стала використовуваного газу;

N - кількість вимірювань тиску в діапазоні від $0,5$ до 1 секунди від початку дренування газу;

Ψ - коефіцієнт, який визначається за формулою $\Psi = \sqrt{k(2/k - 1)^{\frac{k+1}{k-1}}}$.