

Винахід стосується галузі метрології, а саме - зразкових засобів повірки та градування робочих еталонів або зразкових засобів нижчого розряду для вимірювання витрат газу, зокрема, критичних витратомірів.

Відтворення одиниці витрати газу здійснюється первинним еталоном, а передача її розмірів зразковим та робочим засобам - за допомогою робочих еталонів. У якості робочих еталонів найчастіше використовують набори таких витратомірів газу: турбінні, ротаційні, змінного перепаду тиску із звуковими пристроями, з критичним режимом витікання газу (критичні витратоміри). Робочі еталони служать для градування та повірки зразкових та робочих засобів вимірювання безпосереднім зв'язанням і забезпечують відтворення розміру одиниць для об'ємних витрат газу в межах ($15 \cdot 10^{-4}$ - $1,0 \text{ м}^3/\text{с}$). В переважній більшості робочі еталони конструктивно виконуються у вигляді зразкових витратовимірювальних установок. Однак, враховуючи, що такі установки є громіздкими і складаються з багатьох допоміжних систем і пристроїв (наприклад, системи збору вимірювальної інформації, системи автоматичного керування, пристрою підготовки газу та перемикачів напрямку потоку газу та інші), а передачу їм одиниці витрати від первинного еталону реалізувати в переважній більшості випадків неможливо в зв'язку з відсутністю відповідних засобів передачі, то такі установки на практиці атестуються опосередкованим методом. Цей метод передбачає вимірювання і аналіз окремих складових похибки установки і математичне чисельне знаходження границі основної допустимої сумарної похибки установки (ГОСТ 8.143-75 "ГСИ. Государственный первичный эталон и общесоюзная поверочная схема для средств измерений объемного расхода газа в диапазоне $1 \cdot 10^{-6} \dots 1 \cdot 10^2 \text{ м}^3/\text{с}$).

Відома зразкова установка, яка використовується як первинний еталон одиниці об'ємної витрати газу, в основу дії якої покладений трубопоршневий метод вимірювання. Установка складається з системи створення та стабілізації витрати, апаратури для вимірювання витрати, тиску та температури газу, випробувальної ділянки, пульта керування. Витрата газу в системі створюється ротаційною газодувкою. Переключення потоків здійснюється чотирьохходовим клапаном згідно з сигналом від перетворювача положення поршня. Для зменшення пульсації потоку служать погашувач та ряд допоміжних пристроїв. Регулювання витрати здійснюється дистанційним регулятором. Потік газу після стабілізації витрати та тиску поступає у випробувальний трубопровід. Перепад тисків на витратомірі і випробувальному трубопроводі контролюється зразковими манометрами. Для точного визначення об'ємної витрати газу використовується калібрований об'єм вимірювальної труби, розташованої між безконтактними перетворювачами положення поршня. Діапазон вимірюваних усереднених значень об'ємної витрати газу цією установкою складає $0,001 \dots 0,015 \text{ м}^3/\text{с}$, а її систематична похибка не перевищує $5 \cdot 10^{-4}$.

Відомий еталон витрати газу забезпечує високу точність передачі одиниць витрати газу, але при цьому величина каліброваного об'єму в установці становить лише 166 дм^3 , що забезпечує можливість її функціонування тільки при малих витратах (не більше $0,015 \text{ м}^3/\text{с}$). Крім того, градування і повірка критичних витратомірів на ній конструктивно неможливо в зв'язку з обмеженістю по робочих перепадах тиску ротаційної газодувки.

У деяких галузях народного господарства необхідно визначати витрату повітря (газу) з граничною похибкою $\pm(0,2 \dots 0,5)\%$. Однак на практиці не завжди вдається забезпечити таку точність внаслідок того, що діапазон зміни параметрів повітряних потоків досить широкий: витрати коливаються від $0,1 \text{ г/с}$ до сотень кілограм в секунду; тиск - від 2 кПа до 2000 МПа ; температура - від 220 до 1000 К . Відомі зразкові методи вимірювань, які використовуються у цих випадках, базуються або на зважуванні маси повітря, що пройшло через мірний переріз за певний інтервал часу (метод маса - час), або на вимірюванні та інтегруванні по площині полів швидкостей та густини у мірному перерізі (метод площа - швидкість). Перший метод є більш точним, оскільки дозволяє вимірювати масову витрату з похибкою $\pm(0,1 \dots 0,2)\%$.

Відомий зразковий засіб вимірювання, що базується на методі маса - час, який використовують для вимірювання витрати повітря у авіаційному двигунобудуванні (журнал "Измерительная техника", № 11, 1980, "Точные измерения расхода воздуха в авиационном двигателестроении", с. 51 - 52). Випробувальна витратомірна установка для газів (ВВУ) складається з системи подачі і стабілізації витрат газу (балонна рампa, трубопроводи, редуктор), випробувальної ділянки з повірюваним витратоміром, перемикачем потоків, пристроєм для зважування газу, пристроєм для вимірювання та реєстрації інтервалу часу, тиску, температури. ВВУ використовують для градування робочих засобів вимірювання витрат, наприклад, критичних витратомірних сопел. На початку процесу градування здійснюється протікання газу через систему подачі і стабілізації витрати газу в атмосферу. В момент переключення потоку на заповнення вимірювального балону, починається автоматичний відлік часу та реєстрація температури та тиску. Критичне сопло, яке розташоване між струменевипрямлячем та перемикачем потоків, дозволяє виключити вплив росту тиску в вимірювальному балоні на витрату. При зворотному перемиканні газ поступає в атмосферу, а відлік часу та реєстрація інших параметрів припиняється. Після цього здійснюється зважування газу. Масу газу визначають як різницю результатів зважування до і після заповнення вимірювального балону. По виміряних значеннях інтервалу часу розраховують масову витрату. Для ВВУ максимальна витрата газу складає 7 кг/с , похибка вимірювань складає $\pm 0,4\%$. Однак для досягнення великих витрат необхідно створювати великогабаритні установки, що з одного боку значно збільшує її складність та трудоемність градування, а з іншого - вимагає обладнання додатковими пристроями стабілізації потоку.

Ця установка також характеризується значною складністю в конструктивному виконанні (пристрій стабілізації потоку і швидкодіючі перемикачі напрямку його протікання), потребує використання прецизійних засобів вимірювання маси газу, а також застосування високоточних контрольно-вимірювальних приладів параметрів газу (тиску, температури). Крім того, вона складна в експлуатації так як заповнення вимірювального балону газом можна проводити тільки до досягнення певного тиску в ньому, тобто при умові забезпечення критичного режиму протікання повітря через критичне сопло.

Серед зразкових витратовимірювальних засобів, що працюють при великих статичних тисках і витратах (верхня межа вимірювань складає $10000 \text{ м}^3/\text{год}$), відома поршнева витратовимірювальна установка РПДУ - 41 пг, яку використовують для градування і повірки лічильників і витратомірів великих типорозмірів (журнал "Измерительная техника", № 11, 1995, "Метрологическая аттестация поршневой расходоизмерительной установки природного газа", с. 28 - 30). При цьому установка працює не тільки як

зразковий засіб по відтворенню та вимірюванню витрати природного газу, але й об'єму газу з межею основної похибки $\pm 0,41\%$. Ця установка, хоча й характеризується високою точністю, однак розширення діапазону робочих витрат в сторону зменшення значно обмежене, так як наявність поршневого розділювача зумовлює значне зростання її похибки при малих лінійних швидкостях руху поршня. Поряд з цим, метрологічна атестація установки опосередкованим методом не дає достатньої точності і вірогідності співставлення результатів вимірювань витрат нею і існуючим еталоном (див. ГОСТ 8.143-73), а можливе використання для її атестації інших засобів, наприклад, критичних витратомірів, приводить до зниження її метрологічних характеристик. Ця установка не може працювати на різних робочих середовищах, наприклад, повітря чи інший газ. Їй характерні значні габарити і складність конструктивного виконання (велика кількість дистанційнокерованих засувок, вибухобезпечне виконання пристроїв збору вимірювальної інформації та інше),

На даний час вимірювання великих витрат та градування зразкових засобів вимірювань складає найбільшу проблему. При вимірюванні великих витрат в ряді випадків використовують метод площа-швидкості, що обґрунтовується складністю реалізації на практиці інших методів. Зв'язок цього методу з еталонними засобами складний, теоретична оцінка його точності затруднена внаслідок використання ряду емпіричних коефіцієнтів.

Останнім часом для атестації витратомірів, що працюють на великих витратах і великих статичних тисках, використовують повірочні установки, що містять критичні витратоміри. Витрата газу через такі витратоміри не залежить від тиску за звужуючим пристроєм і визначається головним чином тиском і температурою газу перед ним. Критичними витратомірами можна повірять як масові, так і об'ємні витратоміри і лічильники газу. У ряду повірочних установок вони використовуються як стабілізатори потоку газу.

Відома поршнева витратовимірювальна установка природного газу, що складається з каліброваного вимірювального трубопроводу, випробовувальної ділянки, компаратора з критичними соплами, з'єднуючих трубопроводів, системи автоматичного керування збору та обробки вимірювальної інформації та приладів, що випробовуються. Установки реалізує дискретно-динамічний метод точного вимірювання та відтворення витрати і об'єму газу, який передбачає досягнення заданого значення відтвореної витрати, запуск поршневого розділювача у вимірювальний трубопровід, збір вимірювальної інформації з установки та випробовуваного приладу під час руху поршневого розділювача між фотодетекторами і плавну зупинку поршневого розділювача (див. журнал "Измерительная техника", № 11, 1995, "Метрологическая аттестация поршневой расходоизмерительной установки природного газа" с. 28 - 30). Ця установка забезпечує можливість градування витратомірів та лічильників газу одночасно при високих тисках і на природному газі. Однак використання для її метрологічної атестації критичних сопел, що входять в склад компаратора, знижує точність передачі одиниці вимірювання витрати від еталона і погіршує її метрологічні характеристики.

Найбільш близьким до запропонованого винаходу по сукупності ознак є пристрій для повірки витратомірів та лічильників газу (А. с. № 506765, Б.И. № 10, 1976р.), який складається з системи подачі і стабілізації витрат газу дзвонового газового мірника та випробовувальної ділянки, що включає повірюваний прилад та регульований клапан. Система подачі і стабілізації витрат газу складеться з повітрорудки запірного клапана, стабілізатора тиску та набору контрольних калібрувальних опорів. Пристрій працює за принципі порівняння витрати, яка проходить через контрольний калібрувальний опір, з показами витратоміра, що знаходиться у випробовувальній ділянці. При цьому дзвоновий мірник, який під'єднаний до трубопроводу між контрольним опором і повірювальним витратоміром використовується як індикатор миттєвої витрати. Таке конструктивне виконання передбачає врахування метрологічних характеристик як калібрувального опору так і дзвонового мірника при оцінці точності повірюваного витратоміра. А враховуючи, що калібрувальні опори градуються цим же дзвоновим мірником під час режиму самоповірки, то така ступенева послідовна передача одиниці вимірювання знижує точність повірки і градування досліджуваного витратоміра. Тому цей пристрій не може характеризуватися достатньо високою точністю.

Поряд з цим проаналізований пристрій не забезпечує градування та повірку критичних витратомірів внаслідок неможливості досягнення критичного режиму витікання газу. Реалізація цього режиму можлива при забезпеченні співвідношення абсолютних тисків газу після та до критичного сопла не більше 0,528. Враховуючи, що значення надлишкових тисків під дзвоном установки як правило не перевищує 5 - 8 кПа, то на практиці реалізація такої умови цим пристроєм неможлива.

В основі винаходу поставлена задача створення такого пристрою для градування та повірки робочих та зразкових засобів обліку газу, який би шляхом забезпечення стабілізованої масової витрати газу, підтримки її незмінною на протязі усього циклу повірки та зіставленням метрологічних характеристик приладів, створював би ідентичність умов вимірювання та звіряння і тим самим забезпечував би передачу з необхідною точністю розмірів одиниць вимірювань від зразкової витратовимірювальної установки до робочих і зразкових витратомірів, призначених для метрологічної атестації засобів вимірювань витрати і об'єму газу при великих тисках і заданих температурних режимах, а також на будь-яких різновидах робочих газів.

Задача вирішується наступним чином.

Відомий пристрій для повірки витратомірів та лічильників газу, що включає систему подачі газу на виході, дзвоновий мірник, випробовувальну ділянку, обладнують системою стабілізації потоку на виході, системою забезпечення критичного режиму потоку та системою забезпечення температурного режиму градування. Система стабілізації потоку на виході утримує погашувач пульсацій тиску перед витратоміром критичного витікання газу, система забезпечення критичного режиму потоку містить засіб компримування газу, електричний привід, задатчик та стабілізатор частоти обертання приводу засобу компримування, а система забезпечення температурного режиму градування складається з теплообмінника, задатчика та регулятора температури. Для випадків, коли необхідно створити умови градування на природному або іншому робочому газі, пристрій утримує джерело робочого газу з редуктором.

Забезпечення постійних умов вимірювань і звіряння метрологічних характеристик приладів, які забезпечують ці умови у комплексі, зумовлюють досягнення необхідної точності і повторюваності результату вимірювання. Головний чинник, який при цьому враховується - стабілізація структури потоку на

виході дзвонової витратовимірювальної установки, а також від забезпечення умов критичного режиму потоку градуйованого витратоміра.

Характеристиками потоку, які зумовлюють відтворення витрати даним винаходом, є параметри газу під дзвоном на початку відліку контрольного об'єму P_1 , T_1 , V_{1n} , котрі характеризують відповідно абсолютний тиск, температуру і об'єм газу під дзвоном. З врахуванням того, що дзвонова витратовимірювальна установка - це джерело стабільної витрати, тиск і температура під дзвоном в процесі градуювання не змінюються, то параметри повітря в кінці відліку контрольного об'єму будуть становити відповідно P_1 , T_1 , V_{1k} , де V_{1k} - об'єм повітря в кінці відліку контрольного об'єму. При цьому різниця об'ємів $\Delta V = V_{1n} - V_{1k}$ буде становити контрольний об'єм газу, який відмірюється дзвоновим мірником. Об'ємна витрата газу Q при витісненні його дзвоном за час τ становить

$$Q = \Delta V / \tau \quad (1)$$

Масова витрата Q_m газу на виході установки при цьому запишеться виразом

$$Q_m = Q \cdot \rho = \Delta V \cdot P_1 / \tau \cdot k \cdot R \cdot T_1 \quad (2)$$

де ρ - густина робочого газу під дзвоном, k , R - коефіцієнти стискуваності та питома газова постійна робочого газу.

Масова витрата повітря через критичне сопло записується виразом

$$Q = \mu \cdot F \cdot c \frac{P_2}{\sqrt{RT_2}} \quad (3)$$

де P_2 та T_2 - абсолютний тиск та температура ізоентропічно заторможеного газу перед критичним соплом, μ - коефіцієнт витрати сопла, F - площа отвору сопла, c - функція критичної витрати газу через сопло.

Враховуючи, що для відтворення умов вимірювання масова витрата повітря на виході дзвонової мірника повинна дорівнювати масовій витраті повітря через критичне сопло $Q_m = Q_c$, то при забезпеченні цих умов коефіцієнт витрати критичного сопла визначається формулою

$$\mu = \frac{\Delta V}{\tau} \cdot \frac{1}{\sqrt{R \cdot k \cdot F \cdot c}} \cdot \frac{P_1}{P_2} \cdot \frac{\sqrt{T_2}}{T_1} \quad (4)$$

Оскільки V / τ зумовлено високою точністю взірцевої дзвонової установки, то для зіставлення метрологічних характеристик дзвонової установки і критичного сопла підбирають відповідний режим роботи засобу компримування газу, який розраховується в залежності від потрібного робочого тиску, температури, а також площі отвору критичного сопла.

Застосування критичного сопла як зразкового засобу вимірювання витрати зумовлене його конструктивними особливостями. Масова витрата газу через нього при критичних режимах визначається тиском і температурою газу перед ним і не залежить від тиску за звужуючим пристроєм. Це пов'язане з тим, що при досягненні в звужуючому пристрої швидкості звуку, тиск газу за звужуючим пристроєм перестає впливати на швидкість потоку в критичному перерізі. Це дозволяє використовувати його як взірцевий засіб стабільної об'ємної витрати газу у пристроях для градуювання витратомірів і лічильників при високих тисках.

Для забезпечення критичного режиму сопла винахід утримує засіб компримування газу з електроприводом, задатчиком та стабілізатор частоти обертання приводу. Крім того, зміною частоти обертання приводу засобу компримування, можна здійснювати градуювання сопла на різних вхідних статичних тисках. При цьому об'ємна витрата через сопло не змінюється, що відповідає умовам відтворення потоку і не змінює алгоритму градуювання.

Для забезпечення співставлення $\frac{\sqrt{T_2}}{T_1}$ у алгоритмі градуювання пристрій містить систему забезпечення температурного режиму градуювання, що складається з теплообмінника, задавача температури та регулятора роботи теплообмінника.

Для створення умов градуювання і повірки на різних середовищах, наприклад на природному газі, пристрій обладнаний джерелом робочого газу з редуктором.

Система стабілізації потоку газу виконується у вигляді погашувача пульсацій тиску і призначена для створення постійного значення тиску газу перед критичним витратоміром.

При відповідному підборі зразкових засобів в залежності від параметрів потоку, винахід дозволяє експериментально визначати коефіцієнт витрати критичного сопла, що досягається алгоритмом градуювання критичного сопла і забезпечує необхідну точність передачі розмірів одиниць вимірювань від зразкової установки до робочого еталону.

На кресленні (фіг.) зображений пристрій для градуювання критичних витратомірів газу. Пристрій складається з 1 - дзвонової мірника, 2 - витіснювача, системи забезпечення постійного тиску під дзвоном, що містить компенсаційну стрічку 3 і протизаду 4 для її натягу, системи вимірювання контрольного об'єму газу, що складається з контрольної лінійки 5, з'єднаної сталлю стрічкою 6 з дзвоновим мірником 1, освітлювача 7, фотоприймача 8 і вимірювача контрольного об'єму газу 9, системи подачі газу для наповнення дзвона, що містить повітроудувку 10, джерело робочого газу 11, редуктор 12, запірні клапани 13, 14 і підвідні трубопроводи 15, 16, випробовувальної ділянки, що складається з засобу компримування газу 17, теплообмінника 18, погашувача пульсацій тиску 19, критичного витратоміра 20, електричного приводу 21 засобу компримування, задавача 22, стабілізатора 23 частоти обертання приводу 21, регулятора температури 24 з задавачем 25 температурного режиму градуювання, вихідного трубопроводу 26 з запірним клапаном 27.

Функціонально елементи 17, 19, 21, 22, 23 утворюють систему забезпечення критичного режиму потоку газу, а елементи 18, 24, 25 - систему забезпечення температурного режиму градуювання.

Пристрій для градуювання критичних витратомірів працює наступним чином.

Перед початком випробувань на повітрі заповнюють простір під дзвоном 1 від джерела витрати 10 через трубопровід 15 і відкритий клапан 13. При цьому клапани 14 і 27 в відповідних трубопроводах 16 і 26 закриті. При досягненні дзвоном 1 заданого верхнього положення клапан 13 закривають і припиняють

подачу повітря від повітродувки 10. Дзвін опиняється у нерухомому зваженому стані. Далі відкривають клапан 27 і задавачем 23 через стабілізатор частоти 22, привід 21 задають певний режим роботи засобу компримування 17 відповідно до алгоритму градування критичного сопла. При відкритому клапані 27, дзвін 1 опускається під дією власної ваги і починає витискати повітря у вихідний трубопровід 26. Після завершення перехідного процесу, тобто при досягненні заданої витрати повітря, дзвоновий мірник 1 під час роботи установки безперервно знаходиться у зваженому стані і підтримує, за рахунок власної ваги і системи стабілізації положення газового мірника, постійно низький тиск у вихідному трубопроводі 26 на вході засобу компримування 17. Одночасно з опусканням дзвону 1 вимірювачем 9 за допомогою контрольної лінійки 5, освітлювача 7 і фотоприймача 8 відміряється певний заданий контрольний об'єм повітря з заданою температурою відповідно до алгоритму градування.

За рахунок стабільної частоти обертання роторів засобу компримування 17, що видається задавачем 23 здійснюється стиснення повітря до високого значення, яке забезпечує критичний режим протікання повітря через сопло 20.

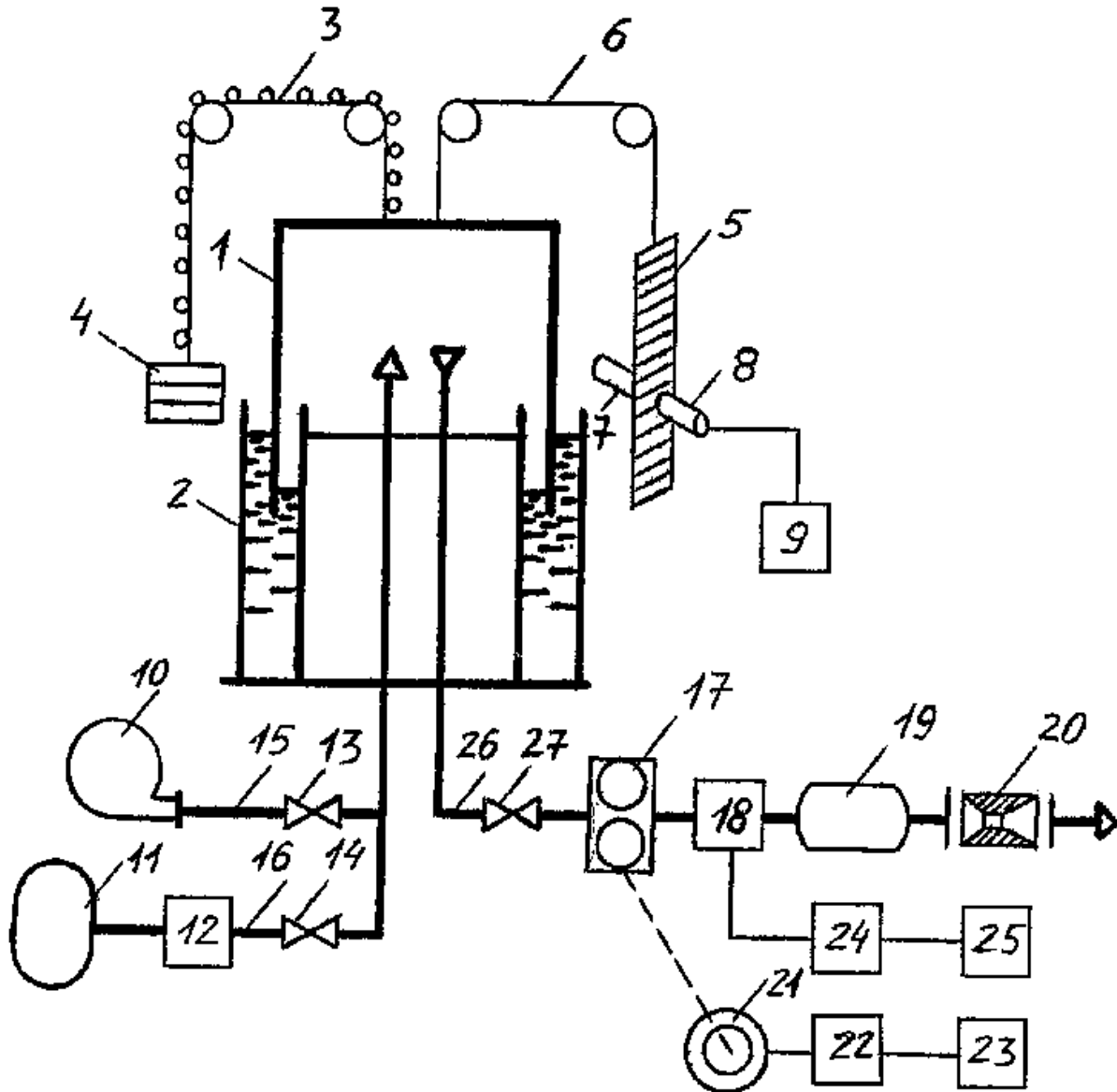
Для стабілізації потоку і згладжування коливань тиску у системі на виході засобу компримування 17 встановлений погашувач пульсацій тиску 19.

Для забезпечення потрібного температурного режиму при градуванні критичного витратоміра на виході засобу компримування газу 17 знаходиться теплообмінник 18, під'єднаний до регулятора температури 24 з задавачем 25, чим досягається нагрів або охолодження компримованого газу.

При опусканні дзвона 1 до крайнього нижнього положення електричний привід 21 засобу компримування 17 виключають і запірний клапан 27 закривають.

Градувальний цикл на цьому закінчується.

У випадку проведення випробувань на робочому газі алгоритм залишається незмінним, але на початку градувального циклу заповнення дзвонового мірника 1 здійснюється по трубопроводу 16 від джерела робочого газу 11 високого тиску з пониженням його тиску редуктором 12 до робочого тиску під дзвоном 1. Під час такого заповнення запірний клапан 13 закритий, а клапан 14 відкритий, який закривають після досягнення дзвоном заданого верхнього положення.



Фіг.