

ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ ЕТАЛОННОЇ БАЗИ ДЛЯ МЕТРОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ В ЕКСПЛУАТАЦІЇ

І.С. Петришин, доктор технічних наук, професор, генеральний директор ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

П.Я. Джочко, начальник відділу ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

Т.І. Присяжнюк, науковий співробітник ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"

О.А. Бас, молодший науковий співробітник ДП "Івано-Франківськстандартметрологія"



І.С. Петришин



П.Я. Джочко



Т.І. Присяжнюк



О.А. Бас

Звертається увага на технічні аспекти створення еталонної бази для метрологічного забезпечення лічильників газу в експлуатації. Проведено короткий аналіз існуючих типів еталонних установок, що можуть працювати на робочому середовищі – природному газі – при високих тисках. Робиться акцент на необхідності створення первинного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу на реальному середовищі.

The attention is given to the technical aspects of creation of the measurement standards base for metrological assurance of gas meters in operation. The brief analysis of existing types of reference measurement standards systems that can work in workspace of natural gas at high pressures is conducted. The emphasis is placed on the necessity of creation a primary measurement standard unit of volume and gas volume flow in real environment.

Сьогодні, коли вартість природного газу постійно зростає, питання підвищення точності та достовірності його обліку при розрахунках між постачальником та споживачем набуває все важливішого значення. Законодавчо регламентовані вимоги щодо границь допустимої відносної похибки промислових лічильників газу ± 1 та ± 2 %, отриманих на повітрі при атмосферному тиску, уже не забезпечують вимоги споживачів, які використовують великі об'єми природного газу. Тому одним із найважливіших аспектів при підвищенні точності обліку природного газу, особливо на вузлах обліку I–IV категорій, є створення можливості контролю метрологічних характеристик лічильників газу на робочому середовищі – природному газі з відповід-

ними робочими тисками. Про актуальність цього питання було сказано в роботі [1], де автори пропонують шляхи часткового вирішення в Україні проблеми метрологічного контролю лічильників газу на реальному газовому середовищі. Разом із тим, в [1] не актуалізується питання стосовно відтворення та передачі одиниці об'єму та об'ємної витрати газу при високих тисках для всього діапазону вимірювання витрати лічильниками газу, тобто створення державного еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу при високому тиску та ієрархії передачі цієї одиниці робочим ЗВТ – повірочної схеми.

Зараз робляться спроби реалізувати стратегію створення єдиної системи обліку природного газу за його теплотворною здатністю [1]. З метою реалізації запропонованої концепції указується, що вихідним еталоном України одиниці об'єму та об'ємної витрати природного газу при високому тиску буде модернізована установка РПДУ-41пг. Технічні характеристики модернізованої установки повинні бути такими: діапазон відтворюваної об'ємної витрати газу в робочих умовах від 250 до 4000 м³/год при абсолютних тисках від 0,2 до 1,2 МПа (схему установки наведено на рис. 1). Що ж стосується метрологічних характеристик установки, то знову ж таки, в [1] зазначається, що границі відносних похибок результатів вимірювань становитимуть: по об'єму газу – СКВ= $\pm 0,15$ %, НСП= $\pm 0,21$ %, по витраті газу – СКВ= $\pm 0,2$ %, НСП= $\pm 0,21$ % при довірчій імовірності $P=0,95$.

Безумовно, ідеї, описані в [1], повинні бути впроваджені в життя та легалізовані в Україні. Разом із тим, доцільно зазначити деяку специфіку роботи установки РПДУ-41пг.

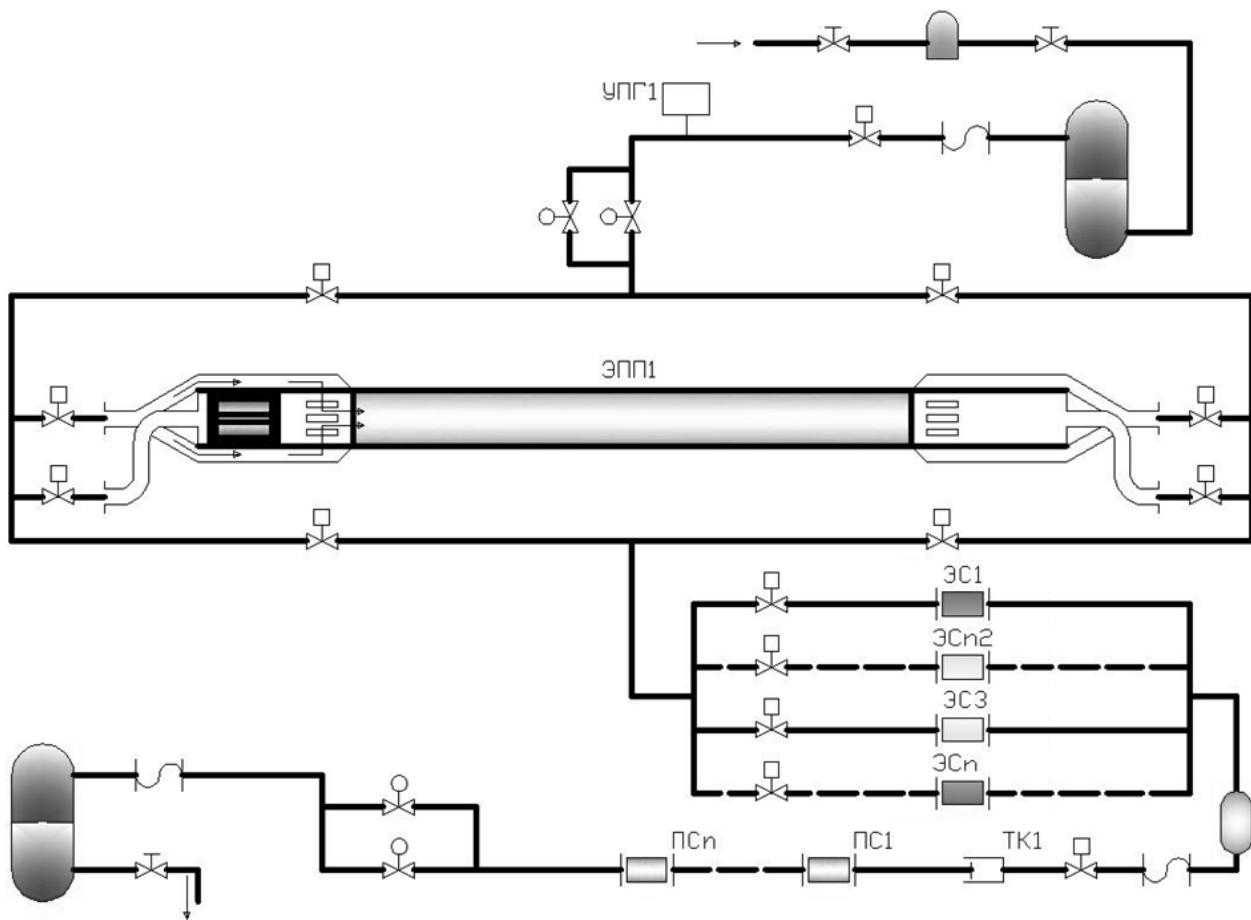


Рис. 1. Схема роботи установки поршневого типу РПДУ-41пг

1. Нижній діапазон об'ємних витрат, які приписуються установці, становить $250 \text{ м}^3/\text{год}$, що є нижньою межею лічильників типорозмірів G2500. Лічильники менших типорозмірів не зможуть отримувати одиницю для контролю їхніх метрологічних характеристик у всьому діапазоні витрат від Q_{\min} до Q_{\max} .

2. Установку спроектовано таким чином, що її циліндричне тіло, в якому буде визначатися контрольний об'єм, складається з 4-х каліброваних трубопроводів загальною довжиною 18 м. Відповідно, незважаючи на всі старання, буде наявна неспіввісність каліброваних трубопроводів, їхня еліптичність та овальність, що в результаті може спричинити перекис поршневого розділювача.

3. В установці використовується так званий "сухий" поршневий розділювач, тобто поршень повинен рухатися уздовж циліндричного тіла установки з мінімальними зазорами. Через такий принцип роботи установки виникає необхідність використання спеціальних надійних ущільнень, що не будуть допускати перетоків газу під час руху поршневого розділювача та зношуватися від багатократних робочих операцій.

4. Для виходу на відповідне значення об'ємної витрати газу, тобто для розгону і зупинки поршневого розділювача, використовується циліндрична ділянка, яка за об'ємом еквівалентна контрольно-

му об'єму установки (для установки РПДУ-41пг еталонний об'єм і циліндрична ділянка дорівнюють відповідно $9,0 \text{ м}^3$ і $17,8 \text{ м}$), тому ефективність використання каліброваних трубопроводів досить невелика.

5. Робота установки забезпечується шляхом використання поршневого розділювача без приводу, що зумовлює необхідність високоточного центрування поршня під час руху по циліндру довжиною $\sim 18 \text{ м}$.

З метою детального вивчення еталонних установок, що використовуються у світі для відтворення та передачі одиниці об'єму та об'ємної витрати газу, проведемо короткий аналіз та класифікацію діючих еталонів на робочому середовищі – природному газі – з оцінкою їхніх переваг та недоліків.

За принципом дії еталонні установки, що можуть працювати на природному газі, можна поділити на такі:

- дзвонового типу;
- PVTt-типу;
- гравіметричного типу;
- поршневого типу.

Дзвонові установки за своїм принципом дії є одними із найточніших. У поєднанні з установками еквівалентного витіснення, які розроблені фірмою "Elster-Instromet" та змонтовані в Боярському метрологічному центрі (рис. 2, 3), похибка відтворення

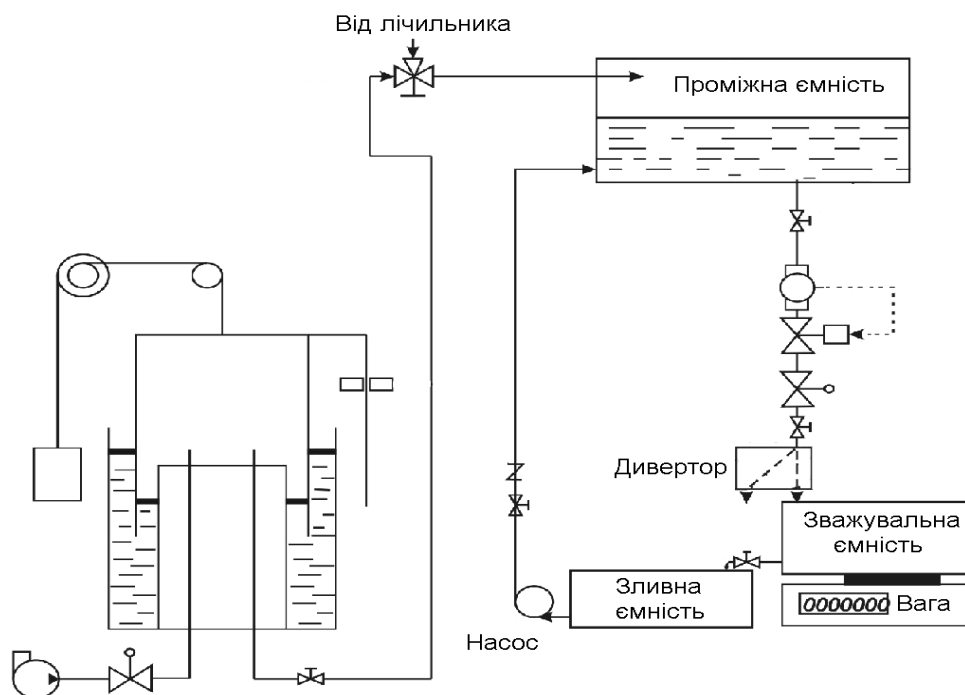


Рис. 2. Принцип роботи еталона дзвоного типу з установкою еквівалентного витіснення

одиниць прогнозовано може становити 0,09...0,1 %. Що стосується діапазону відтворюваних одиниць, то у [2] анонсується, що він становитиме від 0,1 до 400 м³/год з об'ємом дзвоного мірника 3,5 м³. Водночас, основним їхнім недоліком є можливість використання з робочим середовищем – природним газом – лише при тисках, близьких до атмосферного, що в цілому не вирішує питання відтворення одиниць об'єму та об'ємної витрати газу при робочих умовах та тисках більше 0,11 МПа.

Принцип роботи еталонних установок PVTt-типу базується на рівнянні газового стану при змі-

ні параметрів робочого середовища в еталонній мірній ємності від значень P_1, T_1 на початку заміру до значень P_2, T_2 на кінець заміру. З урахуванням коефіцієнта стискуваності в мірній ємності система описується рівнянням

$$\frac{V_1 \cdot P_1}{T_1 \cdot K_1} = \frac{V_2 \cdot P_2}{T_2 \cdot K_2}$$

Отже, об'єм газу, що знаходиться в посудині з незмінним об'ємом (мірній ємності) на початку заміру і зведений до стандартних умов, обчислюється за формулою

$$V_{ст} = V_p \cdot \frac{P_1}{101,325} \cdot \frac{293,15}{T_1} \cdot \frac{1}{K_1}$$

де $V_{ст}$ – значення об'єму повітря, зведеного до стандартних умов, м³; V_p – значення об'єму мірної ємності, що використовується в установці, м³; P_1 – значення абсолютного тиску повітря в ємності, кПа; T_1 – значення абсолютної температури газу в ємності, К; K_1 – коефіцієнт стискуваності газу за даних значень тиску та температури у ємності.

Еталони PVTt-типу з робочим середовищем – природним газом – використовуються як первинні в таких країнах, як Франція [3] (рис. 4), США [4], Китай [5] тощо. Крім того, існують еталони PVTt-типу, які використовують як робоче середовище повітря або азот (наприклад, в Японії [5] та Франції [6]). Разом із тим, основним їхнім недоліком є недостатня точність відтворення одиниці об'ємної витрати газу. Первинний еталон Франції задекларовано з похибкою відтворення одиниці об'ємної витрати $\pm 0,25\%$ у діапазоні відтворюваних витрат 6...5000 м³/год при тисках 0,6...5,5 МПа [3]. Аналогічно, похибка відтворення одиниці об'ємної



Рис. 2. Зовнішній вигляд еталона дзвоного типу з установкою еквівалентного витіснення

витрати газу в США становить $\pm 0,22\%$ [4]. Порівняно невисокі характеристики відтворення одиниці об'ємної витрати цими еталонами встановлено через їхні конструктивні особливості (зокрема, перехідні процеси, які мають місце при наповненні ємності природним газом до високого тиску та витіканні газу з ємності в процесі вимірювання при калібруванні лічильників чи сопел критичного витікання). Перехідні процеси супроводжуються різкою зміною параметрів робочого середовища (тиску, температури, вологості), що вносить додаткові похибки при відтворенні одиниці об'єму та об'ємної витрати газу. Також їхнім суттєвим недоліком є складність у стабілізації та підтриманні температури робочого середовища. Разом із тим, слід звернути увагу на ще один суттєвий недолік, який полягає в необхідності точного геометричного визначення об'єму ємності і зміни геометричних параметрів цієї ємності при закачуванні газу під високим тис-

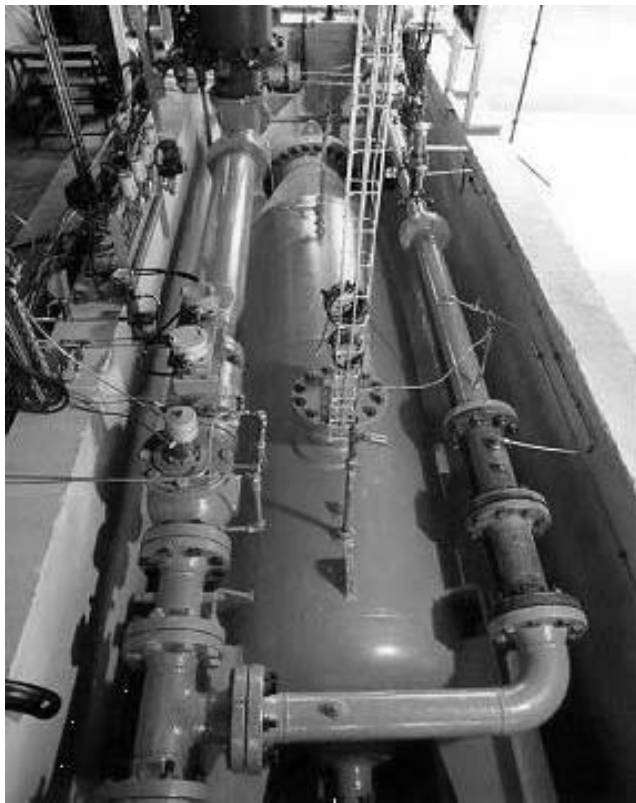


Рис. 4. Первинний еталон Франції PVTt-типу, LNE-LADG: V_1 – вхідний клапан; V_2 – вихідний клапан; R – редукуючий пристрій

ком. Конструктивно в установках такого типу для стабілізації значення витрати газу використовуються критичні сопла, недолік яких полягає у зміні їхніх геометричних розмірів та параметрів газу в процесі заміру. Крім того, використання критичних сопел обумовлює дискретність відтворюваних витрат. Незаперечною перевагою таких установок є можливість їх використання при робочих тисках до 10 МПа.

Що стосується установок гравіметричного типу, то їх можна вважати комбінованим варіантом PVTt-установки та гіроскопічної вагової системи. Схему роботи такої установки наведено на рис. 5, а принцип її дії ґрунтується на прецизійному зважуванні ємності, яка наповнюється газом під високим тиском. За своєю суттю установка відтворює одиницю маси газу з перерахунком на значення об'ємної витрати. Відповідно, установка позбавлена недоліку щодо визначення геометричних розмірів ємності. Що ж стосується інших недоліків, то вона “володіє” всіма зазначеними недоліками установки PVTt-типу. Характерними представниками такої реалізації первинних еталонів є установки в США [7] (робоче середовище – природний газ), Великобританії [6], Тайвані [6] та Кореї [6] (робоче середовище – повітря). Технічні та метрологічні характеристики таких установок знаходяться на рівні установок PVTt-типу.

Найпоширеніше застосування у міжнародній практиці знайшли еталонні установки поршневого типу. Особливістю роботи еталонів поршневого типу є витіснення певного чітко визначеного контрольного об'єму газу з циліндричної ємності. Перевагою таких еталонів є висока точність визначення та відтворення контрольного об'єму газу (як і в дзвонових установках), а використання високоточних поршнів зі спеціальними ущільненнями, на відміну від дзвонових установок, створює можливість використання їх на природному газі при високих тисках.

Схему простежуваності засобів вимірювання об'ємної витрати газу при високому тиску в Нідер-

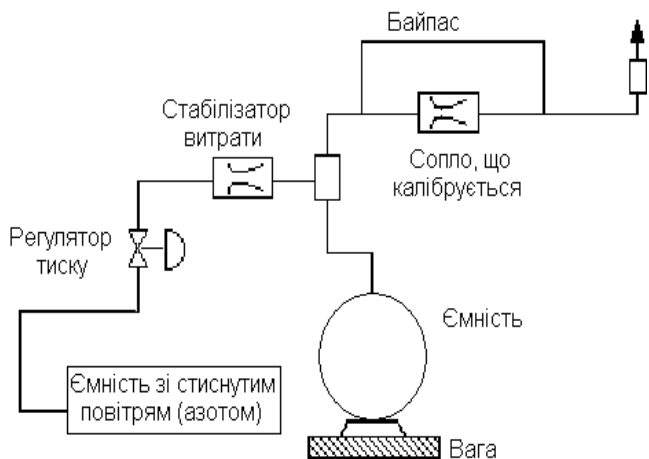


Рис. 5. Схема роботи установки гравіметричного типу

ландах очолює еталон поршневого типу – Gas-Oil Piston Prover (газо-рідинний поршковий прувер) [8]. Схематичне зображення еталона наведено на рис. 6. Еталонна установка має такі характеристики: діапазон відтворюваних об'ємних витрат газу від 1 до 120 м³/год (при каліброваному об'ємі витіснення 2,827 м³), робочий тиск становить від 0,1 до 6,0 МПа, невизначеність відтворення одиниці об'ємної витрати газу – 0,07 %. Що стосується конструктивних параметрів еталона, то зазначається, що загальна довжина циліндра становить 12 м, з них 10 м – калібрований об'єм відтворення одиниці об'ємної витрати газу; діаметр поршневого розділювача – 0,6 м; об'єм буферної ємності, що призначена для зберігання мастила та газу при високому тиску, – 3,5 м³.

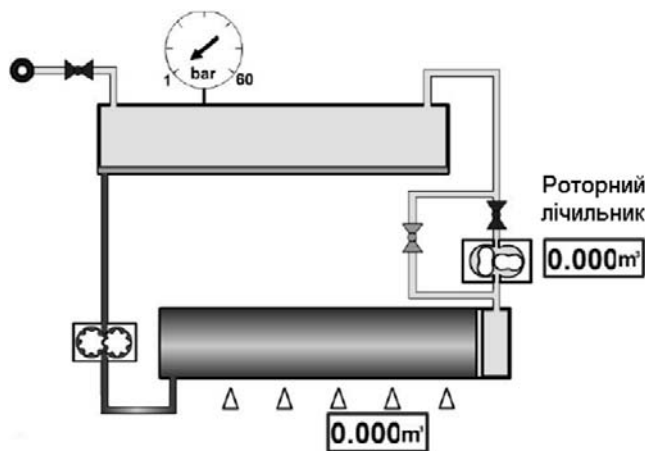


Рис. 6. Схема роботи Gas-Oil Piston Prover – первинного еталона об'ємної витрати газу при високому тиску (Нідерланди)

Робота еталонної поршневої установки ґрунтується на такому принципі. За допомогою гідравлічної помпи здійснюється перекачування мастила з верхньої буферної ємності у циліндр, в якому знаходиться поршковий розділювач, який приводиться в рух мастилом, що перекачується. Поршень, рухаючись, витісняє об'єм газу, що знаходиться під тиском, який проходить через досліджуваний роторний лічильник і переміщується у верхню буферну ємність, таким чином підтримуючи тиск мастила в системі. Використання мастила як приводу поршня забезпечило відсутність перетоків газу під час руху поршня.

За такою методологією проводиться атестація роторних еталонних лічильників IRPP у діапазоні витрат від 1 до 120 м³/год. Схема передачі одиниці реалізується шляхом використання набору паралельних еталонних лічильників IRPP, що являють собою вторинний еталон Нідерландів. Він призначений для передавання гармонізованої одиниці об'ємної витрати газу до робочих еталонів – лічильників газу турбінного та роторного типів, які входять до складу еталонних установок природного газу, що працюють при високому тиску, в Нідер-

ландах (Groningen, Bergum, Westerbork, Utrecht та EuroLoop).

Зупинимося на недоліках такої реалізації еталонної установки високого тиску. Переміщення поршня, як зазначалося, здійснюється під тиском мастила, яке перекачується гідравлічною помпою, відповідно, здійснюється постійна робота над мастилом, яка призводить до його постійного нагрівання і теплового розширення. Разом із тим, мастило перекачується з буферної ємності об'ємом 3,5 м³, в яку переміщується газ, витіснений поршковим розділювачем, отже, відбуваються контакт і взаємодія мастила з газом, при якому мастило починає “пінитися”. Цю проблему було вирішено таким чином: циліндричну частину установки, по якій рухається поршень, розміщено під кутом, у бік гідравлічної помпи, для проведення періодичної дегазації установки (на рис. 6 не відображено). Система визначення положення поршня повинна забезпечувати роботу датчиків через стінку циліндра, що ускладнює процес визначення положення поршня і суттєво зменшує точність.

Разом із тим, доцільно зазначити, що до гармонізованої одиниці об'ємної витрати газу (установки, які отримують одиницю від поршкових еталонів Pigsar та Bergum) простежуються установки в Канаді (Trans Canada Calibration), Великобританії (GL Noble Denton Flow Centre), Данії (Force Technology), Росії (Уральський регіональний метрологічний центр) тощо.

У [9] йдеться про створення ОМРИЦ (Отраслевой метрологической расходоизмерительный центр) під егідою ВАТ “Газпром” в м. Щолково Московської обл. Центр планується реалізувати на базі діючої газорозподільної станції для забезпечення проведення атестації, калібрування та перевірки засобів вимірювання об'єму та об'ємної витрати природного газу в умовах реальних потоків газу. Разом із тим зазначається, що первинний еталон центру буде відтворювати одиницю об'ємної витрати газу в діапазоні від 5 до 120 м³/год при тисках від 0,1 до 6,0 МПа з невизначеністю 0,1 %, тобто з характеристиками, аналогічними первинному еталону високого тиску Нідерландів.

Із проведеного аналізу необхідно зробити висновки, що в Україні є необхідність створення первинного еталона одиниці об'єму та об'ємної витрати газу на високому тиску з використанням природного газу як робочого середовища з діапазоном відтворюваних витрат нижчим від 250 м³/год (нижня межа об'ємної витрати установки РПДУ-41пг). Створений еталон призначатиметься для атестації та калібрування еталонних лічильників з максимальною витратою до 250 м³/год і повинен мати мінімум недоліків, які властиві описаним вище технічним засобам. Атестація еталонних лічильників більшого типорозміру буде проводитися із застосуванням набору паралельно встановлених еталонних лічильників, атестованих на первинному еталоні. В ДП

“Івано-Франківськстандартметрологія” на цей час виконується дослідно-конструкторська робота “Створення первинного еталона одиниці об’єму та об’ємної витрати газу на реальному середовищі в діапазоні витрат від 4 м³/год до 200 м³/год”.

З відповідним технічним доопрацюванням установки РПДУ-41пг та усуненням ряду впливових факторів, що спричиняють суттєву похибку, її також можна буде застосовувати як еталонну для розширення діапазону відтворюваних витрат. Таким чином буде створено можливість контролю метрологічних характеристик лічильників газу на робочому середовищі – природному газі – з відповідними робочими тисками.

Список літератури

1. Стратегия развития метрологического обеспечения учета природного газа в Украине / А.С. Дудолад, В.Б. Большаков, Н.И. Косач, В.П. Слипушенко // Український метрологічний журнал. – 2012. – № 4. – С. 31–35.
2. Домницький Р.А. Забезпечення простежуваності еталонів Метрологічного центру до еталонів європейських метрологічних інститутів / Р.А. Домницький // Актуальні питання метрологічного забезпечення вимірювання рідини та газу: наук.-практ. семінар, 9–11 жовтня 2011 р. – Харків: ННЦ “Інститут метрології”.
3. *Dopheide D., Mickan B. et al.* Final report on the CIPM key comparisons for natural gas at high-pressure. Conducted in November–December 2004. CCM.FF-5.a.
4. *Mickan B., Johnson A.* Final results of bilateral comparison between NIST and PTB for flows of high pressure natural gas. CCM.FF-5.a2.
5. Report APMP/TCFF meeting December 5–6, 2011. – Kobe, Japan.
6. *Dopheide D., Mickan B. et al.* Final report on the CIPM key comparisons for compressed air and nitrogen. Conducted in November 2004–June 2005. CCM.FF-5.b.
7. *Bowles Edgar B., Jr., Grimley Terrence A.* Flow Calibration Laboratory Performance – What should your expectations be? / Flow Control Magazine. – March–April, 2001.
8. *Mijndert P. van der Beek.* EuroLoop: Metrological concepts for efficient calibrations and primary realization of accurate reference values in flow // 25th North Sea flow measurement workshop, 16–18 October 2007. – Norway, Oslo.
9. Технические средства отраслевого метрологического расходоизмерительного центра ОАО “Газпром” / С.Н. Кадин, А.П. Казаченко [и др.] // Технические и программные средства систем управления, контроля и измерения (УКИ-12): 3-я Рос. конф., 16–19 апреля 2012 г., Москва. – М., 2012.