

МЕТОДИ І ПРИЛАДИ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ РІДКОЇ І ГАЗОПОДІБНОЇ ФАЗ

УДК 681.121.089

ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИТРАТОВИМІРЮВАЛЬНИХ ПОВІРОЧНИХ УСТАНОВОК НА БАЗІ ЄМНОСТІ ВИСОКОГО ТИСКУ

© Середюк О.Є., 2004

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

Проведено теоретичне обґрунтування і аналіз нових алгоритмів функціонування і технічних рішень установок PVT-типу, які характеризуються патентною новизною. Розглянуті установки можуть знайти застосування при розробці метрологічного забезпечення лічильників і витратомірів газу

Суттєве розширення останніми роками типорозмірів і чисельності засобів витратовиміральної техніки і, зокрема, промислових і побутових лічильників газу зумовлює підвищення уваги до засобів їх метрологічного забезпечення і, насамперед, призначених для проведення періодичної повірки приладів під час їх експлуатації. Водночас відомі існуючі установки різних типів, наприклад, дзвонові, поршневі, із застосуванням прецизійно виготовлених роторних чи турбінних лічильників не завжди відповідають зростаючим вимогам сьогодення як в плані технічному, так і метрологічному. Тому особливої актуальності набувають питання розроблення і вдосконалення простих за конструкцією, надійних і мобільних в експлуатації і достатньої точності за метрологічними характеристиками повірочних установок.

В певній мірі цим вимогам можуть відповідати установки так званого PVT-типу, які створюються на базі ємностей високого тиску [1÷5] і ґрунтуються на витіканні газу із ємності через досліджуваній прилад (ДП). Опосередковане (шляхом вимірювання тиску і температури) контролювання витікання газу із ємності протягом певного проміжку часу через випробувальну ділянку з ДП забезпечує формування контрольного об'єму газу, який можна використовувати як еталонний для визначення похибки лічильників і витратомірів газу. Такого типу установки вже набули застосування за кордоном. Однак серед багатьох варіантів їх функціонування, в тому числі захищених авторськими свідоцтвами СРСР [6, 7], про практичне застосування було відомо тільки щодо установки, яка була створена у ВО „Київпромарматура” [5]. Згідно інформації з вказаного джерела вона використовувалася для градування на реаль-

ному газі витратовимірвальних діафрагм і для дослідження дросельних елементів малогабаритної арматури. Перевагою цього типу установок є можливість вимірювання витрати газу в одиницях маси, незначні розміри, можливість функціонування на реальному робочому середовищі, а також відсутність в них рухомих механічних елементів первинних чи вимірвальних перетворювачів витрати. Водночас їм властива складність досягнення стабілізації витрати, яка зумовлена нестабільністю термогазодинамічних процесів під час витікання газу із ємності, а також недостатньо досконалий алгоритм їх функціонування при визначенні витрати газу і періодичність випробувального циклу внаслідок обмеженості об'єму ємності і значень робочих тисків в ній. Як наслідок, такі установки характеризуються недостатньо високою точністю (похибка біля $\pm 1\%$) і обмеженою сферою застосування. Тому питання теоретичного дослідження алгоритму функціонування установок PVT-типу і розробка їх нових конструкцій характеризується значною актуальністю.

Метою роботи є теоретичне обґрунтування напрямків вдосконалення алгоритму функціонування витратовимірвальних повірочних установок на базі ємності високого тиску та розроблення конструктивних засад для практичної реалізації нових технічних рішень цих установок.

В теоретичному плані є відомим спосіб градування та повірки витратомірів газу, який передбачає витікання газу із ємності через випробувальну ділянку з вмонтованим ДП і вимірюванні тиску і температури в ємності. При цьому витікання газу із ємності проводять протягом певного проміжку часу, здійснюють витримку в часі до відновлення почат-

кової температури газу в ємності і донаповнюють ємність газом до досягнення початкового тиску [6,7], що зумовлює складність практичної реалізації цього алгоритму випробувань і вимагає великих затрат часу на його проведення.

Тому використаний алгоритм із змінними параметрами тиску і температури в ємності, який описується формулою [5]:

$$G = \frac{V}{R\Delta t} \left(\frac{P_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{P_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right), \quad (1)$$

де G – масова витрата газу; V_0 – об'єм каліброваної ємності; Δt – час протікання газу через ДП; P_{11} , T_{11} , Z_{11} , P_{12} , T_{12} , Z_{12} – тиск, температура і коефіцієнт стисливості газу в ємності на початку і в кінці витікання газу відповідно.

Цей алгоритм забезпечує розрахунок масової витрати газу і потребує вдосконалення при його застосуванні для дослідження засобів вимірювання об'єму і об'ємної витрати газу. Крім того, для цього типу приладів необхідно враховувати зміну параметрів робочого середовища перед ДП. Тому за участю автора [8] запропоновано враховувати не тільки значення параметрів в ємності, що характеризують роботу установки протягом витікання газу із ємності, але й додатково змінні параметри робочого середовища перед ДП. З цією метою використовується рівняння стану газу, при якому алгоритм розрахунку витрати газу у випробувальній ділянці перед ДП описується такою формулою:

$$Q = \frac{V_0}{\Delta t} \left(\frac{P_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{P_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right) \frac{T_B \cdot K_B}{P_B}, \quad (2)$$

де Q – об'ємна витрата газу на ДП; P_B , T_B , Z_B – тиск, температура і коефіцієнт стисливості газу у випробувальній ділянці перед ДП відповідно.

Далі, використовуючи відому формулу для визначення похибки лічильників газу

$$\delta_L = \frac{V_L - V_V}{V_V} \cdot 100 \quad (3)$$

і враховуючи, що

$$V_V = Q \cdot \Delta t, \quad (4)$$

на базі алгоритму (2) отримуємо такий вираз для розрахунку похибки досліджуваного лічильника у відсотках:

$$\delta_L = \left(\frac{V_L \cdot P_B}{V_0 \cdot T_B \cdot Z_B \cdot K_{PV}} - 1 \right) \cdot 100, \quad (5)$$

$$K_{PV} = \frac{P_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{P_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}}, \quad (6)$$

де V_L , V_V – об'єми газу, які відрховані лічильником і відтворені повірочною установкою відповідно.

Для практичної реалізації алгоритму (5)÷(6) спочатку наповнюють калібровану ємність повітрям

або робочим газом до необхідного тиску. Потім вимірюють абсолютний тиск і температуру та розраховують коефіцієнт стисливості газу стосовно параметрів, що характеризують умови роботи ємності перед витіканням газу із неї, тобто P_{11} , T_{11} , Z_{11} . Далі відкривають подачу робочого газу до випробувальної ділянки і через певний проміжок часу Δt , який відповідає заданій тривалості витікання газу із ємності по випробувальній ділянці через стабілізатор тиску та ДП, знову вимірюють абсолютний тиск P_{12} і температуру T_{12} газу в ємності та коригують значення коефіцієнта стисливості Z_{12} стосовно цих параметрів. Водночас, протягом цієї тривалості протікання повітря або газу у випробувальній ділянці вимірюють абсолютний тиск P_B і температуру T_B на ДП, розраховують коефіцієнт стисливості Z_B для цих умов та фіксують покази відлікового пристрою ДП, які відповідають значенню вимірюваного об'єму V_L .

Потім цикл досліджування продовжують аналогічно описаному вище, але вже за наступний певний проміжок часу Δt або за інші будь-які проміжки часу Δt_1 , $\Delta t_2 \dots \Delta t_n$ до одержання необхідного числа контрольних точок вимірювання. В результаті отримують ряд значень тиску і температури, що характеризують параметри повітря або газу в ємності: P_{11} , $P_{12} \dots P_{1n}$ і T_{11} , $T_{12} \dots T_{1n}$, а також ряд значень, що характеризують роботу ДП: P_{B1} , $P_{B2} \dots P_{Bn}$ і T_{B1} , $T_{B2} \dots T_{Bn}$. За рахунок проведення додаткових обчислень одержують коефіцієнти стисливості газу Z_{11} , $Z_{12} \dots Z_{1n}$ і Z_{B1} , $Z_{B2} \dots Z_{Bn}$ відповідно для умов ємності і для ДП за відповідні проміжки часу Δt_i .

Далі, використовуючи отримані результати, розраховують похибку досліджуваного лічильника за результатом випробувань протягом одного або декількох проміжків часу. При цьому витрату газу через ДП можна або фіксувати, або змінювати на кожному іншому проміжку часу Δt_i .

Алгоритм (2) записаний для випадку стабілізації параметрів тиску P_B і температури T_B на ДП. Це досягається розміщенням на випробувальній ділянці стабілізатора тиску і пристрою задання температури режиму дослідження, функцією якого є стабілізація температури газу перед ДП. Шляхом зміни завдань стабілізатора тиску і пристрою задання температури можна здійснювати градування та перевірку лічильників і витратомірів при різних робочих умовах. Враховуючи ту обставину, що як робоче середовище може бути використаний будь-який газ, в тому числі повітря, інертний чи природний газ, то можливості цього способу градування та перевірки стають ще більш суттєвими. Крім того, для фіксації початку і кінця витікання із ємності певної дози газу відпадає необхідність в зупинці ДП і поповнення ємності газом. Це суттєво підвищує продуктивність способу, так як доповнення ємності можна здійснювати од-

норазово після проведення декількох вимірювальних циклів, число яких визначається геометричними розмірами ємності, початковим робочим тиском в ній, а також типорозмірами ДП і витратами, на яких проводиться їх градування чи повірка.

Поряд з цим описаний спосіб градування та повірки все ж таки характеризуються недоліком, пов'язаним з періодичністю наповнення і випорожнення ємності і обмеженістю тривалості проведення випробувального циклу. Періодичність режиму „наповнення-випорожнення” ємності зумовлена необхідністю періодичного доповнення ємності при спаданні тиску в ній до значення робочого тиску ДП або нижче порогу чутливості стабілізатора тиску, що приводить до зменшення продуктивності градуально-повірочних операцій. Тому з метою ліквідації цих недоліків автором запропоновано одночасно з витіканням газу із ємності здійснювати безперервне доповнення його газом від додаткового джерела стисненого газу безпосередньо за допомогою стабілізатора вхідного тиску і витратоміра критичного витікання газу, де значення стабілізованого вхідного тиску визначають за робочими умовами ДП та витратою газу на ньому [9].

Для розрахунку витрати газу через ДП скористаємося законом збереження маси газу, який стосовно вдосконаленого алгоритму роботи установок PVT-типу можна записати так:

$$M_B = \Delta M_P + M_K, \quad (7)$$

де M_B, M_K – маса газу, що перетекла через досліджуваний витратомір і критичний витратомір відповідно; ΔM_P – зміна маси газу в ємності на початку і в кінці вимірювального циклу.

Здійснивши ділення кожного члена рівняння (7) на час Δt протікання газу через ДП, отримуємо, що:

$$G_B = \frac{\Delta M_P}{\Delta t} + G_K, \quad (8)$$

де G_B, G_K – масова витрата газу через досліджуваний витратомір і критичний витратомір відповідно; Δt – інтервал часу для розрахунку витрати газу.

Використовуючи рівняння стану для реального газу, яке передбачає врахування коефіцієнта стисливості, запишемо вираз для визначення зміни маси газу в ємності за інтервал часу Δt :

$$\Delta M_P = V_0 \cdot \rho_C \cdot \frac{T_C}{P_C} \cdot \left(\frac{P_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{P_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right), \quad (9)$$

де ρ_C – густина газу при стандартних умовах, яким відповідають температура T_C і тиск P_C .

Інші позначення в (9) відповідають прийнятим позначенням в (2).

Витрату газу через критичне сопло визначають згідно такої формули

$$G_K = \mu \cdot c \cdot F \cdot \frac{P_K}{T_K \sqrt{R}}, \quad (10)$$

де μ – коефіцієнт витрати критичного сопла; F – площа отвору сопла; c – функція критичної витрати газу через сопло; R – питома газова постійна робочого середовища; P_K, T_K – значення абсолютного тиску і абсолютної температури ізоентропічно заторможеного газу перед критичним соплом.

Таким чином рівняння (8)...(10) формують алгоритм для розрахунку масової витрати газу через досліджуваний витратомір в залежності від фактичних значень інформативних параметрів ємності, критичного сопла і ДП. При цьому із виразу (8) витікає, що при практичній реалізації алгоритму функціонування повірочної установки тиск в ємності може зростати, спадати або залишатися незмінним, що визначається конкретизацією умов реалізації запропонованого способу. Це свідчить про його універсальність стосовно різних комбінацій інформативних параметрів і режимів відтворення витрат газу. Обов'язковою умовою реалізації запропонованого способу є дотримання необхідного співвідношення між значеннями абсолютних тисків перед критичним витратоміром і у ємності з метою забезпечення критичного режиму течії через критичне сопло (практично це співвідношення повинно бути не менше двох і розраховується згідно фізичних властивостей і температури використовуваного робочого газу перед критичним соплом).

При дослідженні об'ємних витратомірів і лічильників газу значення масової витрати G_B у випробувальній ділянці можна подати через об'ємну витрату газу Q при робочих умовах ДП за допомогою виразу:

$$G_B = Q \cdot \rho_C \cdot \frac{T_C}{P_C} \cdot \frac{P_B}{T_B \cdot Z_B}, \quad (11)$$

де P_B, T_B, Z_B – тиск, температура і коефіцієнт стисливості газу у випробувальній ділянці перед ДП.

Спільний розв'язок рівнянь (8)÷(11) дає можливість отримати алгоритм для розрахунку об'ємної витрати газу через ДП, який описується формулою:

$$Q = \left[\frac{V_0 \left(\frac{P_{11}}{T_{11} \cdot Z_{11}} - \frac{P_{12}}{T_{12} \cdot Z_{12}} \right)}{\Delta t} + \frac{\mu \cdot c \cdot F \cdot P_C \cdot P_K}{\rho_C \cdot T_C \cdot \sqrt{R \cdot T_K}} \right] \cdot \frac{T_B \cdot Z_B}{P_B}. \quad (12)$$

При дослідженні лічильників газу значення відтвореного контрольного об'єму газу розраховують шляхом множення правої частини виразу (12) на час протікання газу через лічильник.

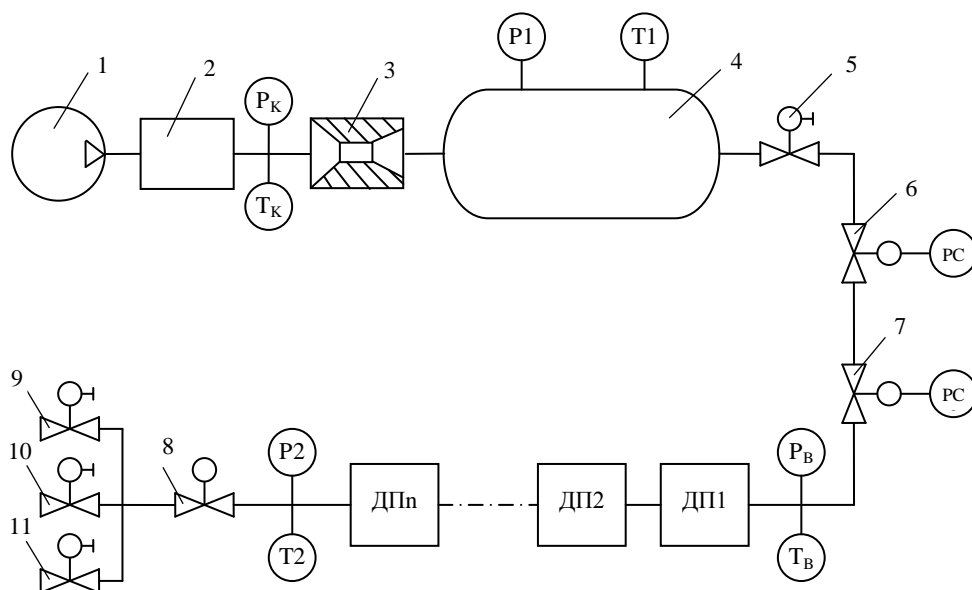
Водночас вираз (12) дає можливість розраховувати невідомі режимні параметри реалізації нового способу градування [9] при заданих значеннях ін-

ших параметрів. Це стосується перш за все визначення необхідного значення вхідного тиску P_K за значеннями робочих умов P_B , T_B , Z_B перед ДП та витратою газу на ньому. При цьому також можна коригувати діапазон зміни робочого тиску в ємності від P_{11} до P_{12} і одночасно виконувати умову вибору необхідної тривалості вимірювального циклу Δt .

Цей спосіб також забезпечує підвищення продуктивності градуувально-повірочних операцій за рахунок вилучення допоміжної технологічної операції періодичного донаповнення ємності, так як запропонований спосіб реалізується як при спаданні тиску в ємності так і при його зростанні, що може

здійснюватися при почерговості дослідження приладів на різних витратах, наприклад, Q_{max} (максимальна витрата), $0,5Q_{max}$, $0,2Q_{max}$, Q_{min} (мінімальна витрата). Крім того, внаслідок запропонованої можливості визначення об'ємної витрати газу через ДП за допомогою однієї багатопараметричної формули можна розраховувати оптимальні параметри практичної реалізації способу градування та перевірки приладів, наприклад, визначення тривалості вимірювального циклу в залежності від робочих параметрів ДП.

Структурна схема установки, яка реалізує цей спосіб градування та перевірки витратомірів і лічильників газу, зображена на рис. 1.



1 – компресор; 2 – стабілізатор роботи; 3 – критичне сопло; 4 – ємність високого тиску; 5 – ручний вентиль; 6, 7 – виконавчі механізми регуляторів високого і низького тиску; 8 – запірний клапан; 9, 10, 11 – задавачі витрати; PC1, PC2 – регулятори високого і низького тиску; P1, P2, P_K, P_B – давачі тиску; T1, T2, T_K, T_B – давачі температури; ДП1, ДП2 ... ДПn – досліджувані прилади (1, 2 ... n-ий)

Рис. 1. Структурна схема перевіркової установки на базі ємності високого тиску

При її функціонуванні спочатку наповнюють калібровану ємність 4 повітрям або робочим газом до необхідного тиску. Потім вимірюють абсолютний тиск P_{11} і температуру T_{11} та розраховують коефіцієнт стисливості газу Z_{11} стосовно параметрів, що характеризують умови роботи ємності перед витіканням газу із неї. Далі задають робочий режим функціонування установки, наприклад, відтворення контрольного об'єму газу шляхом пониження тиску в ємності. Після цього згідно алгоритму (12) для умов ДП по значенню абсолютного тиску P_B і витрати Q розраховують мінімальне значення $P_{K min}$ абсолютного тиску P_K стабілізатора 2 вхідного тиску, при якому тривалість дослідження буде рівною мініальному допустимому значенню тривалості вимірювального циклу Δt_{min} , а тиск в ємності змен-

шиться до допустимого мінімального значення $P_{12 min}$. Потім задають режим роботи стабілізатора 2 згідно умови $P_K > P_{K min}$ і відкривають подачу повітря або робочого газу до випробувальної ділянки з одним або декількома досліджуваними приладами. Через певний проміжок часу $\Delta t = \Delta t_{min}$, який відповідає заданій мінімальній тривалості витікання газу через регулятори тиску 6, 7 та досліджувані прилади ДП1...ДПn знову вимірюють абсолютний тиск P_{12} і температуру T_{12} газу в ємності та коригують значення коефіцієнта стисливості стосовно цих параметрів. Водночас протягом цього часу протікання газу через випробувальну ділянку вимірюють значення абсолютних тисків P_K , P_B і температур T_K , T_B перед критичним витратоміром і на ДП відповідно та розраховують коефіцієнт стисливості Z_B для умов ДП.

Далі, використовуючи рівняння (12), розраховують значення відтворюваної витрати Q через ДП.

При градуванні витратоміра по цьому значенню витрати визначають коефіцієнт перетворення витратоміра, а при його повірці розраховане значення відтворюваної витрати газу порівнюється з сигналами досліджуваного витратоміра, що є підставою для визначення його метрологічних характеристик. При градуванні і повірці лічильників газу додатково здійснюється перемноження розрахованого значення витрати Q на час вимірювання Δt і отримане при цьому значення контрольного об'єму газу V_V є підставою для розрахунку коефіцієнта перетворення лічильника при його градуванні або для визначення згідно (3) метрологічних характеристик лічильника під час повірки.

Після цього цикл дослідження повторюють аналогічно до досягнення в ємності мінімально допустимого значення тиску або змінюють робочий режим функціонування установки, в результаті якого при випробувальному циклі буде наростати тиск в ємності. В останньому випадку цього досягають заданням меншого значення відтворюваної витрати через ДП при незмінному значенні тиску P_K або збільшенням тиску P_K при незмінній відтворюваній витраті на ДП. При цьому для обчислення витрати також використовується алгоритм (12). Після наповнення ємності до максимального робочого тиску $P_{I \max}$ режим роботи установки можна аналогічним чином поміняти на режим спадання тиску в ємності. У випадку незмінності параметрів газу в ємності вимірювання відтворюваної витрати можна здійснювати за допомогою критичного витратоміра, що можна розглядати як частковий випадок функціонування запропонованого способу [9]. В цьому випадку режим дослідження буде відповідати відомому методу дослідження засобів вимірювання за допомогою еталонних пристроїв на базі критичних витратомірів.

Наступним кроком з метою вдосконалення установки РVT-типу можна вважати застосування необхідного взаємозв'язку погодженої дії з відповідним новим обладнанням, що дозволить забезпечити керування та миттєво-порівняльне зняття параметричних характеристик в процесі випробування. Це може бути вирішене за рахунок виконання контрольно-вимірювального обладнання у вигляді єдиного цілісного пристрою – персональної ЕОМ з нормуючими перетворювачами – і запропонованого взаємозв'язку погодженої дії між ними [10]. При цьому реалізується під'єднання додаткового устаткування, зокрема нормуючих перетворювачів через давачі контрольованих параметрів до ємності і ДП, а через виконавчі механізми – до регулятора витрат і запірних клапанів. В результаті стає можливим впо-

рядковане керування процесом пуску і витікання газу із ємності до ДП при заданому тиску перед ним, що зумовлює підвищення продуктивності процесу градування або повірки. Водночас, є можливим проводити миттєво-порівняльне збирання параметричних характеристик – збір та обробку необхідного числа контрольних точок ряду значень параметрів тиску, температури і вологості газу за певний проміжок часу, що зумовлює зменшення похибки вимірювання і підвищення точності повірочної установки.

Для реалізації алгоритмів (5)÷(6), (12) при визначенні похибки ДП і з метою практичного створення контрольно-вимірювального обладнання у вигляді єдиного пристрою у відповідності з [10] необхідно знати числове значення коефіцієнта стисливості Z . Визначення цього параметра є специфічною задачею, точність вирішення якої прямим чином впливає на похибку визначення коефіцієнта стисливості і відповідно на метрологічні характеристики повірочної установки. Визначення цього коефіцієнту є принципово різним для різних робочих середовищ (повітря, природний газ і т.п.). Тому як перший етап вирішення цього питання доцільно здійснити апроксимацію коефіцієнта стисливості повітря як функції від його параметрів, тобто тиску і температури.

Для установок з повітряним робочим середовищем можливе застосування алгоритму обчислення Z на базі стандартних довідкових даних [11] в інтервалі температур (65...873) К і тисків (0,01...228) МПа. Однак цей алгоритм базується на дискретних табличних даних і потребує використання декількох десятків апроксимуючих коефіцієнтів. Тому з метою отримання спрощених поліномних апроксимаційних залежностей Z від робочих тисків і температур, які стосувалися б обмеженого діапазону і водночас мали би достатню точність для застосування в еталонних установках в [12], запропонована спрощена методика визначення коефіцієнта стисливості і здійснено її порівняльний аналіз з [11]. При цьому, хоча результати обчислень по двох методиках відрізняються не більше ніж на $\pm 0,03\%$, все таки вони залишаються табличними, практичне застосування яких пов'язане з інтерполяційними обчисленнями, що в ряді випадків є досить незручним. Це обґрунтовує доцільність отримання аналітичних залежностей.

Враховуючи, що коефіцієнт стисливості повітря Z є функцією двох параметрів і носить монотонно низхідний характер як від зростання тиску P , так і спадання температури T , то вибраний такий вид апроксимуючого рівняння:

$$Z = 1 - K_i(T) \cdot P, \quad (13)$$

де $K_i(T)$ – апроксимуючий коефіцієнт, що визнача-

ється многочленами i -го порядку.

В свою чергу відповідні многочлени першого і другого порядків можна подати виразами:

$$K_1(T) = a_1 + b_1 \cdot T, \quad (14)$$

$$K_2(T) = a_2 + b_2 \cdot T + c_2 \cdot T^2. \quad (15)$$

Практичне знаходження констант a_1, b_1, a_2, b_2, c_2 зводиться до наступного. Спочатку були сформовані шляхом усереднення по двох методиках аналітично обчислені згідно [11] і [12] масиви даних Z і P (в діапазоні $0 \div 1$ МПа) для кожної із температур 250, 270, 290, 310 К. Застосування прикладного програмного пакету NUMERI дало змогу отримати відповідно чотири числових значення коефіцієнта K_1 . Подальша лінійна апроксимація цих значень забезпечила розрахунок коефіцієнтів a_1, b_1 , а нелінійна – коефіцієнтів a_2, b_2, c_2 . Це дало можливість отримати такі дві відповідно лінійні і нелінійні апроксимаційні залежності:

$$Z = 1 - P \cdot (0,045955 - 0,000141 \cdot T), \quad (16)$$

$$Z = 1 - P \cdot (0,126127 - 0,000711 \cdot T + 0,000001 \cdot T^2). \quad (17)$$

Точність апроксимації оцінювалася згідно критерію середнього квадратичного відхилення (СКВ), що подано в табл. 1. Це забезпечує вибір оптимального виду поліномних функцій в залежності від умов повірки ДП і функціонування повірочних установок.

Таблиця 1 – Значення СКВ (%) похибки апроксимації коефіцієнта стисливості повітря в залежності від виду апроксимуючого полінома і температури повітря

Вид апроксимуючого полінома	Температура повітря, К			
	250	270	290	310
Лінійний	0,077	0,083	0,062	0,007
Нелінійний	0,091	0,037	0,013	0,026

Запропоновані напрямки вдосконалення повірочних установок на базі нових алгоритмів, які реалізують можливість градування та повірки витратомірів і лічильників газу можуть знайти застосування при створенні нових типів еталонних установок і, в першу чергу, мобільних з можливістю функціонування на різних середовищах. Практична реалізація таких установок дасть можливість підвищити рівень метрологічного забезпечення засобів обліку природного газу, що буде сприяти зменшенню його втрат і досягнення значної його економії. Дослідний зразок однієї із розглянутих нових повірочних установок, зокрема функціонуючої згідно алгоритму (3)÷(6), вже створено у ВАТ „Івано-Франківськгаз”. В даний час він перебуває на стадії експериментальних техніко-експлуатаційних і метрологічних дослі-

джень.

1. Hayward A.T.J. How to Calibrate Flowmeters // *Engineering*.–1977.–Vol.217.– N8.–P.I–VIII. 2. Pursley W.C. The Calibration of Flowmeters // *Meas. And Contr.*–1986.–Vol. 19.– N5.– P.37–45. 3. Arnberg V. Colorado facility proves high flow rate meter // *Pipe Line Ind.*–1971.–Vol.35.– N3.–P.43–45. 4. Метод измерения массового расхода газа / С.П.Тараненко, В.В.Иващенко, К.П.Подкопаев, М.А.Данилов // *Развитие системы метрологического обеспечения измерения расхода и количества веществ: Сб. трудов / Всесоюз. научн.–техн. конф., г.Казань, 1975 г.– Казань, 1975.– С.35–37. 5. Расходомерная установка / А.И.Гринберг, В.П.Иванчук, С.В.Орчинский, Ю.М.Сергиенки: Экспресс-информация.–О работах НИИ и КБ отрасли. Серия ХМ–10.–№5.– М.:ЦИНТИхимнефтемаш, 1983.– 4с. 6. А.с. 368493 СССР, МКИ G01F25/00. Способ градуировки и поверки расходомеров газа/ А.П.Куришин, Ю.Г.Дегтев (СССР).– №1496426/18–10; Заявл. 21.11.70; Опубл. 26.01.73. -3с. 7. А.с. 546787 СССР, МКИ G01F25/00. Способ градуировки и поверки расходомеров газа/ М.Е.Тырбылев, В.П.Макаренко (СССР).– №2144768/10; Заявл. 16.06.75; Опубл. 15.02.77. -2с. 8. Пат. 54463 Україна, МКВ G01F25/00. Спосіб градування та перевірки витратомірів і лічильників газу/ В.О.Козак, Б.І.Прудніков, О.Є.Середюк, І.С.Петришин, Я.С.Федоришин (Україна). - №99052563; Заявл. 06.05.99; Опубл. 17.03.03. -3с. 9. Деклараційний пат. 62268 А Україна, МКВ G01F25/00. Спосіб градування та вивірення витратомірів і лічильників газу / О.Є. Середюк, (Україна). - №2003021415; Заявл. 18.02.03; Опубл. 15.12.03. - 3с. 10. Пат. 64734 Україна, МКВ G01F25/00. Устаткування для градування та перевірки витратомірів і лічильників газу / Б.І. Прудніков, О.Є. Середюк, (Україна). - №99063426; Заявл. 18.06.99; Опубл. 15.03.04. - 3с. 11. ГСССД 8-79. Плотность, энтальпия, энтропия и изобарная теплоемкость жидкого и газообразного воздуха при температурах 70 – 1500 К и давлениях 0,1 – 100 МПа: Табл. стандартных справочных данных. - М.: Изд-во стандартов, 1980. 12. Середюк О. Воциньский В. Аналіз точності визначення коефіцієнта стисливості повітря в комерційному обліку енергосистем // *Проблеми економії енергії № 2: Вісник ДУ “Львівська політехніка”*. - Львів. – 1999.-С. 157-161.*