

УДК 389:681.121.089

АНАЛІЗ ВПЛИВУ РОБОЧОГО ТИСКУ ЕТАЛОННИХ ДЗВОНОВИХ ВИТРАТОВИМІРЮВАЛЬНИХ УСТАНОВОК НА ЇХ МЕТРОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ

© Середюк О. Є., Чеховський С. А., 2001

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

© Прудніков Б. І., 2001

ВАТ "Івано-Франківськгаз"

Розглянуті технічні характеристики дзвонових витратовимірювальних установок за результатами їх метрологічної атестації. Проаналізований вплив геометричних розмірів дзвона на похибку установок від тиску робочого середовища і запропонований алгоритм кількісної оцінки цієї похибки.

Дзвові витратовимірювальні установки відносяться до найбільш точних засобів вимірювання і відтворення об'ємів і об'ємних витрат газу. Підтвердженням цьому є розробка на їхній базі значної кількості зразкових (еталонних) витратовимірювальних засобів [1, 2], а також створення Державного еталону об'єму та об'ємної витрати газу [3]. Водночас найбільш суттєвим їхнім конструктивним недоліком є обмеженість діапазону робочих тисків до 5-6 кПа, який визначається максимально можливою різницею рівнів затворної рідини у кільцевому резервуарі всередині і зовні дзвона. Зростання робочих тисків збільшує верхню границю відтворюваних витрат, розширює функціональні можливості установок стосовно одночасного градування чи повірки більшої кількості лічильників і витратомірів газу, проведення досліджень приладів із збільшеним перепадом тисків на первинному перетворювачі. Однак при цьому зменшується значення максимального контрольного об'єму газу, який відтворюється дзвоною установкою. Тому доцільним є створення дзвонових установок із змінним робочим тиском, так як функціонування існуючих здійснюється при заздалегідь визначених постійних значеннях робочих тисків, які встановлюються нормативними документами на еталонні витратовимірювальні засоби [4] або технічними умовами на досліджувані робочі витратоміри чи лічильники газу. Метрологічний аналіз дзвонових установок згідно з відомими програмами метрологічної атестації і теоретичними дослідженнями складових їхньої похибки донині здійснюється тільки стосовно непостійності робочого тиску під дзвоном [5, 6] або стосовно забезпечення точності передавання одиниці об'єму від установки до досліджуваного приладу [7].

Вищенаведене вказує на актуальність дослідження впливу робочого тиску під дзвоном установок на їхні метрологічні характеристики.

Робочий тиск P установки визначається такою залежністю [8]:

$$P = F / S, \quad (1)$$

де F – вага дзвона з урахуванням дії архімедової сили і ваги противаги, S – площа внутрішнього перерізу дзвона на межі його занурення в рідину.

Конструктивно до дзвонових установках при їх розробці ставиться мета досягнення постійності відношення F/S , так як площа S внаслідок неподоланих технологічних затруднень (особливо при виготовленні великогабаритних дзвонів) ніколи не може бути ідеально постійною вздовж висоти дзвона. Водночас з аналізу фізичних процесів, що мають місце у витіснювачі дзвонових установок, очевидно є різниця рівнів затворної рідини на внутрішній і зовнішніх поверхнях стінок дзвона, яка пропорційна робочому тиску установки. Так як витіснюваний об'єм визначається різницею об'ємів газу під дзвоном в моменти початку і кінця відліку контрольного об'єму, тобто в моменти різного занурення дзвона у рідину витіснювача, значення робочого тиску будуть змінювати також глибину занурення дзвона при фіксації границь контрольного об'єму. Проаналізуємо кількісно можливий вплив цих змін на значення витіснюваних об'ємів газу.

Як відомо, точність дзвона визначається технологічними можливостями обладнання для його виготовлення, транспортування і монтажу безпосередньо на місці експлуатації. Тому для оцінки точності виготовлення дзвонів скористаємося реальними геометричними

характеристиками установок, що знаходяться в експлуатації. Аналіз виконаємо на базі Державного еталону ДЕТУ-03-01-96, створеного шляхом модернізації установки РКДУ-0,028 [3], трьох робочих еталонів ВАТ “Промприлад” м. Івано-Франківська (установки РКДУ-0,44, РКДУ-0,42 (модернізована установка ГМ-5000), ГМ-2000) [2], а також новоствореного робочого еталону ВАТ “Івано-Франківськгаз” (установка ІФГАЗ-1).

При цьому скористаємося результатами метрологічної атестації цих установок, що наводяться в [9], а також протоколами метрологічних досліджень установки ІФГАЗ-1. Основні технічні характеристики вказаних установок зведені в табл.1, а на рис.1 подана графічна інтерпретація зміни діаметра дзвона вздовж його висоти. При цьому з метою кращого уявлення стабільності геометричних параметрів різновеликих дзвонів осями координат на графіку вибрані порядковий номер контрольного об'єму (i) і відносне відхилення δ_{D_i} діаметра від його

середнього значення \bar{D} . Значення параметрів для табл.1 і графіків на рис.1 обчислювалися за такими формулами:

$$\bar{D} = \frac{1}{N} \sum_1^N D_i, \quad (2)$$

$$\delta_{D_i} = \frac{D_i - \bar{D}}{\bar{D}} \cdot 100\%, \quad (3)$$

$$\sigma_D = \frac{1}{\bar{D}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum_1^N (D_i - \bar{D})^2} \cdot 100\%, \quad (4)$$

де D_i – внутрішній діаметр дзвона, що відповідає його i -му контрольному об'єму, \bar{D} – середнє значення внутрішнього діаметра дзвона для N -ої кількості контрольних об'ємів, δ_{D_i} – відносне відхилення внутрішнього діаметра дзвона для i -го контрольного об'єму, σ_D – середнє квадратичне відхилення (СКВ) діаметра дзвона.

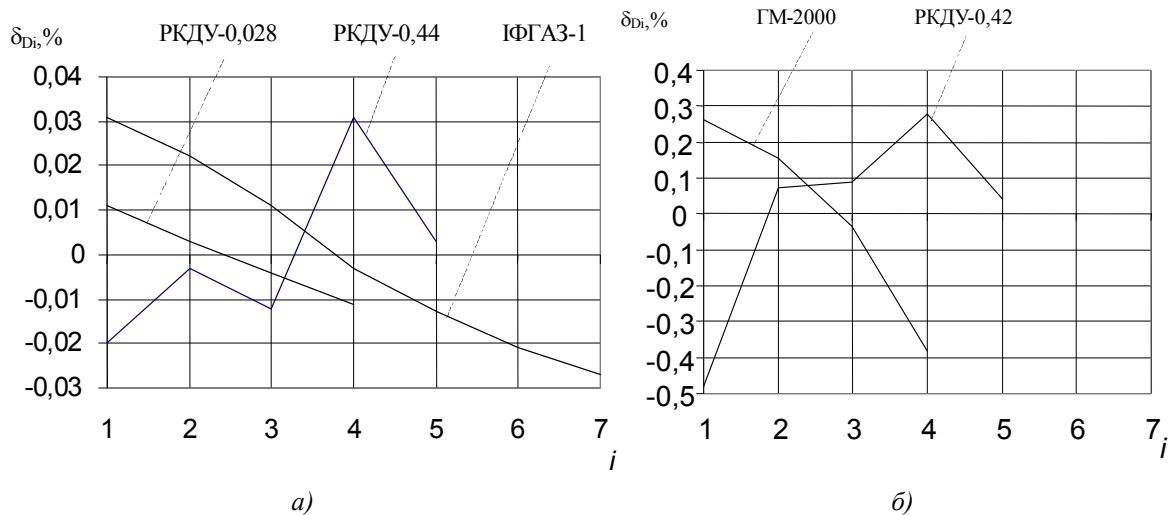


Рис. 1. Залежність зміни діаметра дзвона від порядкового номера фіксованого контрольного об'єму для установок РКДУ-0,028, РКДУ-0,44, ІФГАЗ-1 (а) і установок ГМ-2000, РКДУ-0,42 (б).

Зауважимо, що характеристика σ_D з точки зору метрологічного аналізу у формулі (4) не відповідає СКВ результатів вимірювання діаметра, так як ділення в підкореновому виразі здійснено на N , а не на $(N-1)$. Такий вид формули зумовлений необхідністю порівняння установок з різним числом невеликої кількості контрольних об'ємів. Крім того, параметр \bar{D} в аналізованих установках для всієї висоти дзвона не оцінюється, бо при їх метрологічній атестації визначаються довжини дільниць дзвона, які відповідають кожному фіксованому значенню його контрольних об'ємів. При визначенні об'єму дзвона проводять багаторазові (по висоті і напрямку) вимірювання

його діаметра, після чого знаходять середнє значення \tilde{D}_i для кожного наперед заданого контрольного об'єму V_{ki} і розраховують його висоту H_i на основі такої залежності:

$$V_{ki} = \pi \tilde{D}_i^2 H_i / 4. \quad (5)$$

Рис.1 засвідчує про конкретну форму дзвона, яка в установках РКДУ-0,028, ІФГАЗ-1, ГМ-2000 наближається до конусоподібної, а в установках РКДУ-0,44 і РКДУ-0,42 носить випадковий характер. Цей рисунок також графічно ілюструє місцезнаходження локальних змін діаметра дзвонів.

З табл.1 видно, що всі установки характеризуються непостійністю діаметра дзвона, що приведена до зміни основної допустимої похибки при вимірюваннях об'єму газу в межах від 0,011% (установка РКДУ-0,028) до 0,479% (установка РКДУ-0,42) і компенсується різною висотою

контрольних об'ємів. При цьому відносні зміни діаметра в багатьох випадках перевищують границю основної допустимої похибки установки, що вказує на доцільність визначення причин виникнення похибки внаслідок зміни робочого тиску і кількісної її оцінки.

Таблиця 1 – Основні технічні характеристики еталонних дзвоних витратовимірювальних установок.

Параметр	Тип установки				
	ДЕГУ-03-01-96 (РКДУ-0,028)	РКДУ-0,44	РКДУ-0,42 (ГМ-5000)	ГМ-2000	ІФГАЗ-1
1. Діапазон витрат, м ³ /с (м ³ /год)	1,1·10 ⁻³ - 5,6·10 ⁻² (4-200)	2,8·10 ⁻³ - 0,69 (10-2500)	2,8·10 ⁻³ - 0,42 (10-1500)	1,1·10 ⁻³ - 4,2·10 ⁻² (4-150)	6,9·10 ⁻⁶ - 1,1·10 ⁻² (0,25-40)
2. Робоче середовище	повітря	повітря	повітря	повітря	повітря
3. Робочий тиск, кПа	5,5	5,5	1,5	1,5	3,5
4. Максимальний контрольний об'єм, м ³	1,6	5	5	2	0,175
5. Мінімальний контрольний об'єм V _{ki} , м ³	0,4	1	1	0,4; 0,6	0,025; 0,020; 0,010
6. Середнє значення діаметра дзвона \bar{D} , мм	1198,2	1800,9	2251,1	1064,9	695,5
7. Локальні відхилення діаметра дзвона δ_{Di} , %					
максимальне	0,011	0,031	0,276	0,263	0,031
мінімальне	-0,011	-0,020	-0,479	-0,383	-0,028
8. Середнє квадратичне відхилення діаметра дзвона σ_D , %	8,08·10 ⁻³	0,017	0,253	0,246	0,021
9. Середнє значення висоти дзвона для мінімального контрольного об'єму \bar{H}_i , мм	354,7	392,5	251,3	450,1; 672,1	65,6
10. Границя основної допустимої похибки при вимірюванні об'єму газу, %	НСП*=5·10 ⁻⁴ СКВ*=8·10 ⁻⁴	±0,16	±0,25	±0,28	±0,17

*Невилучена систематична похибка (НСП) і середнє квадратичне відхилення (СКВ) відтворення і вимірювання об'єму газу подані в абсолютних одиницях.

З цією метою для установки ІФГАЗ-1 додатково виконані багаторазові вимірювання діаметра по всій висоті дзвона і побудований графік залежності внутрішнього діаметра дзвона від віддалі h до його торця (рис.2). Однак, враховуючи, що ці вимірювання проводилися з інтервалом 50 мм висоти дзвона, то очевидно є можливість невиявлення локальних відхилень геометричної форми дзвона, які знаходяться між досліджуваними перерізами. Тому додатково за допомогою об'ємного методу вимірювання об'єму дзвона [8] була побудована у формі таблиці градувальна

характеристика витіснюваного контрольного об'єму V_k як функція від координати h висоти дзвона з дискретністю 1мм його переміщення. Далі, розраховуючи рівень рідини у внутрішній частині дзвона при різних значеннях робочого тиску під ним, проведено обчислення за допомогою градувальної характеристики фактичних значень семи фіксованих контрольних об'ємів газу V_{ki} , а також семи значень інтегральних витіснюваних контрольних об'ємів ΣV_{ki} для випадку умовно заданої постійної висоти H_i всіх фіксованих значень

V_{ki} . При знаходженні значень об'ємів ΣV_{ki} застосовувався такий алгоритм:

$$\sum V_{ki} = \sum V_{K(i-1)} + V_{ki}, \quad (6)$$

де ΣV_{ki} , $\Sigma V_{k(i-1)}$ – сумарні об'єми газу, які відтворені установкою при витісненні i -ої і $i-1$ -ої кількості контрольних об'ємів відповідно.

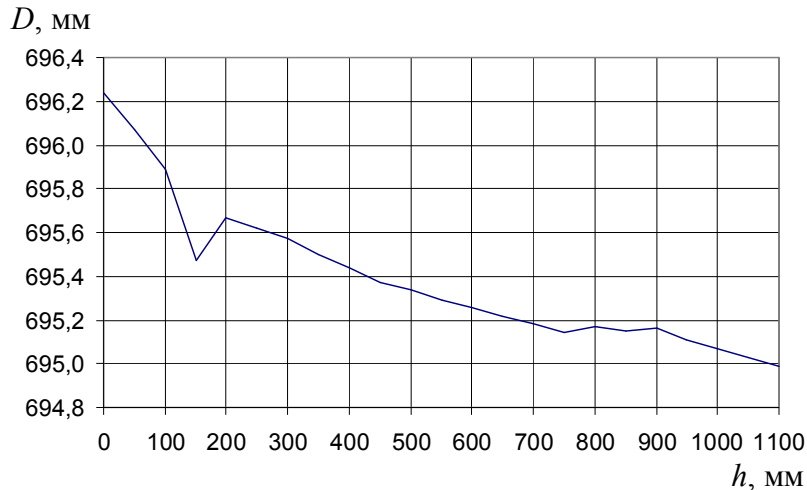


Рис. 2. Залежність внутрішнього діаметра дзвона установки ІФГАЗ-1 від віддалі до його торця.

Результати обчислень об'ємів V_{ki} і ΣV_{ki} при тисках 0; 1; 2; 3 і 4кПа подані в табл.2. При цьому зміна h_e початкового рівня рідини під дзвоном в залежності від робочого тиску P установки розраховувалась за такою формулою:

$$h_e = P / ((S_6 / S_3 + 1) \rho g), \quad (7)$$

де S_6 , S_3 – площа поперечного перерізу у внутрішній і зовнішній частинах кільцевого витіснювача відповідно, ρ – густина рідини у витіснювачі.

Похибки δ_{pi} і $\delta_{p\Sigma i}$ від зміни робочого тиску відповідно для випадків витіснення фіксованих і інтегральних контрольних об'ємів обчислювалися так:

$$\delta_{pi} = \frac{V_{ki} - V_{ki}^0}{V_{ki}^0} \cdot 100\%, \quad (8)$$

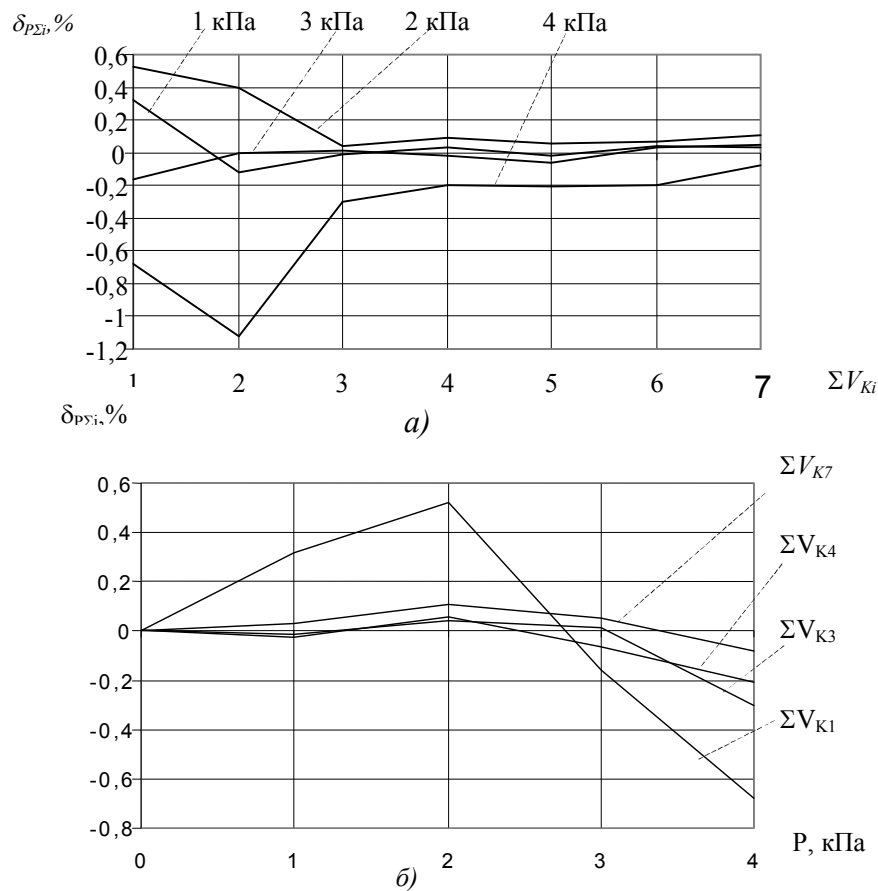
$$\delta_{p\Sigma i} = \frac{\sum V_{ki} - \sum V_{ki}^0}{\sum V_{ki}^0} \cdot 100\%, \quad (9)$$

де V_{ki}^0 , ΣV_{ki}^0 – значення i -го фіксованого і інтегрального контрольних об'ємів при нульовому робочому тиску відповідно; V_{ki} , ΣV_{ki} – значення i -го фіксованого і інтегрального контрольних об'ємів при ненульовому робочому тиску відповідно.

Графічний аналіз отриманих результатів згідно з алгоритмом (9) поданий на рис.3. Із нього слідує,

що при функціонуванні дзвонів витратимірювальних установок можливе виникнення додаткової похибки від зміни робочого тиску. Ця похибка має різні знаки як для різних порядкових контрольних об'ємів, так і для різних робочих тисків. При цьому її чисельне значення може суттєво перевищувати границю основної допустимої похибки установки при відтворенні нею невеликих контрольних об'ємів. Із зростанням значень відтворюваних контрольних об'ємів (рис.3а) похибка суттєво спадає, однак залишається співрозмірною з похибкою установки. Висновку про однозначність взаємозв'язку між досліджуваною похибкою і робочим тиском установки (рис.3б) зробити не можна, так як для одних контрольних об'ємів похибка із зростанням тиску зростає, а для інших спадає або носить випадковий характер. В цілому аналіз змін похибки $\delta_{p\Sigma i}$ засвідчує про неможливість внесення на неї єдиної поправки без конкретизації умов функціонування установки і фактичних геометричних розмірів дзвона. Це обґрунтовує необхідність числової оцінки досліджуваної похибки як додаткової і однієї із можливих серед складових сумарної похибки дзвонів установок.

Як вихідну умову для розрахунку похибки від робочого тиску установки прийемо зміну i -го витіснюваного об'єму внаслідок зміни площі внутрішнього перерізу дзвона на межі його занурення в рідину, що математично можна записати так:



а) при чотирьох постійних значеннях тиску; б) при чотирьох постійних значеннях інтегральних контрольних об'ємів

Рис. 3. Залежність додаткової похибки $\delta_{P\Sigma}$ установки ІФГАЗ-1 від відтворюваних інтегральних контрольних об'ємів і робочих тисків.

$$\delta_{P_i} = \frac{V_{i+1} - V_i}{V_i} \cdot 100\%, \quad (10)$$

коефіцієнтом

$$\delta_{P_i} = 2\delta'_{D_i}, \quad (12)$$

де V_{i+1} і V_i – об'єми двох сусідніх за порядком фіксованих контрольних об'ємів.

$$\text{де } \delta' = \frac{\bar{D}_{i+1} - \bar{D}_i}{\bar{D}_i} \cdot 100\%. \quad (13)$$

Після ділення чисельника і знаменника виразу (10) на висоту H_i контрольного об'єму і з врахуванням рівності розрахункового значення об'ємів V_{i+1} і V_i з достатньою для практики точністю отримаємо, що

$$\delta_{P_i} = \frac{S_{i+1} - S_i}{S_i} \cdot 100\%. \quad (11)$$

Беручи до уваги, що площі S_{i+1} і S_i визначаються як результат проведення опосередкованих вимірювань [10], то формула (11), яка по своїй суті відображає похибку від зміни площі, може бути подана через похибку δ'_{D_i} від зміни діаметра дзвона з подвійним ваговим

Розраховані (12) і (13) значення похибки для i -го контрольного об'єму можуть мати місце при умові, що зміна робочого тиску ΔP від розрахункового приведе до зміни рівня рідини під дзвоном на висоту H_i i -го контрольного об'єму. Тому, застосовуючи метод лінійної інтерполяції для випадків менших змін рівня рідини Δh_B , похибка δ'_{D_i} буде такою:

$$\delta_{P_i} = 2\delta'_{D_i} \Delta h_B / H_i. \quad (14)$$

Враховуючи, що взаємозв'язок між Δh_B і ΔP визначається залежністю (7), запишемо таку кінцеву формулу для обчислення похибки для i -го контрольного об'єму від зміни робочого тиску

установки:

$$\delta_{P_i} = \frac{2}{\rho g K_G} \cdot \frac{\delta'_{D_i}}{H_i} \Delta P, \quad (15)$$

де K_G – коефіцієнт геометричних параметрів установки, який визначається так:

$$K_G = 1 + S_g / S_z. \quad (16)$$

Із виразу (16) слідує, що зменшення похибки δ_{P_i} досягається при збільшенні висоти H_i контрольного об'єму за рахунок надання дзвону форми більш витягнутого циліндра або при зростанні відтвореного контрольного об'єму, що приводить до взаємної компенсації додатних і від'ємних приростів для кожного з фіксованих мінімальних контрольних об'ємів.

Проведені дослідження повніше розкривають особливості функціонування дзвонових витрато-вимірювальних установок і сприяють вирішенню прикладних задач їх оптимального проектування. Отриманий алгоритм (13), (15) і (16) надає можливість розраховувати похибку від зміни робочого тиску для будь-яких значень фіксованих і інтегральних контрольних об'ємів газу. Його практична реалізація дозволяє підняти точність метрологічної атестації еталонних установок, в результаті чого досягається підвищення точності вимірювання витрати і об'єму природного газу.

І. Бродин І.С., Середюк О.Е. Совершенствование алгоритма работы и аппаратного обеспечения

колокольных расходоизмерительных установок// Измерительная техника.- 1989.-№5.- С. 24-26. 2. Колокольная расходоизмерительная установка/ И.С. Бродин, О.Е. Середюк// Проспект МВССО УССР. Ивано-Франковский институт нефти и газа.- Киев: Рэклама, 1989.- 5с. 3. Державний спеціальний еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу/ І.С. Бродин, І.С. Петришин, А.Г. Бестелесний, П.І. Дикий// Український метрологічний журнал.- 1997.- № 3.- С. 31-34. 4. ГОСТ 8.324-78. Счетчики газа. Методы и средства поверки. 5. Середюк О.Е. Математичне моделювання похибки від непостійності тиску в дзвонових витрато-вимірювальних установках// Методи та прилади контролю якості.- 1998.- № 2.- С. 23-27. 6. Петришин І.С., Бестелесний А.Г. Алгоритм оцінки похибок державного спеціального еталона одиниць об'єму та об'ємної витрати газу// Методи та прилади контролю якості.- 1997.- № 1.- С. 75-79. 7. ДСТУ 3607-97. Лічильники газу побутові. Правила приймання та методи випробувань. 8. Павловский А.Н. Измерение расхода и количества жидкостей, газа и пара.- М.: Изд-во стандартов, 1967.- 416с. 9. Разработка технологических средств и методов поверки счетчиков газа на высокие давления: Отчет по НИР/ Ивано-Франковский институт нефти и газа; Рук. И.С. Бродин. Отв. исполн. О.Е. Середюк.- Тема 154/85; Инв. № 0288.0013836. - Ивано-Франковск, 1987.- 168с. 10. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии.- М.: Изд-во стандартов, 1975.- 335с.

УДК 681.121

ТОЧНИЙ ОБЛІК ВИТРАТИ ПРИРОДНОГО ГАЗУ – ЗАПОРУКА ЗМЕНШЕННЯ ЙОГО ВТРАТ

© **Бродин І. С.**, 2001

Івано-Франківський державний технічний університет нафти і газу

Проаналізовано сучасний стан обліку газу на Україні, стан оснащення промислових підприємств та об'єктів побутового призначення сучасними приладами обліку газу. Проаналізовані причини втрат газу, вказані шляхи їх кардинального зменшення. Розглянута роль і значення метрологічного забезпечення витрато-вимірювання.

Україна практично завершила перехід на світові ціни за енергоносії. Однак частина затрат на паливно-енергетичні ресурси в структурі собівартості продукції продовжує зростати. Технічний рівень енерготехнологій та енергообладнання в Україні значно поступається

західноєвропейському. Як наслідок, наприклад, Франція споживає газу в три рази менше, але випускає в п'ять разів більше, ніж Україна товарної продукції.

З урахуванням різкого зростання цін на газ до рівня світових та збільшення його споживання