

УДК 681.121

## АНАЛІЗ СХЕМ ПЕРЕДАЧІ ОДИНИЦІ ОБ'ЄМУ ГАЗУ РОБОЧИМИ ЕТАЛОНАМИ ПРИ ПОВІРЦІ ЛІЧИЛЬНИКІВ ГАЗУ

© Воциньський В. В., 2002

Спеціальне конструкторське бюро засобів автоматизації, м. Івано-Франківськ

*Приведені результати теоретичних і експериментальних досліджень установок з робочими еталонами об'єму для повірки лічильників газу. Доведено, що трубна частина установки, яка має гідравлічні опори, може вносити додаткову похибку при передачі одиниці об'єму газу робочими еталонами при повірці лічильників газу. Запропоновані методи зменшення похибки установок.*

Повірка лічильників газу в експлуатації здійснюється відповідно із затвердженою методикою, застосовуючи при цьому робочі еталони об'єму газу дзвонового типу, або установки для повірки лічильників газу з робочими еталонами турбінного, роторного і барабанного типів. Робочі еталони об'єму газу дзвонового типу відносяться до найбільш точних засобів вимірювання і відтворення об'ємів газу. Підтвердженням цьому є результати дослідження метрологічних характеристик Державного еталону об'єму газу [1]. Разом з тим вітчизняна промисловість випускає установки з робочими еталонами об'єму газу для повірки лічильників газу [2]. Такі установки значно дешевші в порівнянні з робочими еталонами дзвонового типу і тому вони зайняли своє місце в повірочній схемі відтворення об'єму газу.

Діапазон вимірювання установок з робочими еталонами об'єму газу залежить від діапазонів вимірювання кожного з робочих еталонів об'єму. Так дослідження ґрунтовно стверджують про діапазон вимірювання робочих еталонів 1:10 [3]. Тобто характеристика такого робочого еталону в цьому діапазоні має незначні відхилення від коефіцієнтів перетворення  $K$ . Тому установка для повірки лічильників газу УПЛГ-2500 має три робочі еталони з діапазоном вимірювання: ЛГЕ-25 ( $Q=2,5 \dots 25$  м<sup>3</sup>/год); ЛГЕ-250 ( $Q=25 \dots 250$  м<sup>3</sup>/год); ЛГЕ-2500 ( $Q=250 \dots 2500$  м<sup>3</sup>/год). При цьому технічному рішенні сходиність результатів вимірювання між робочими еталонами об'єму при витратах 25 м<sup>3</sup>/год та 250 м<sup>3</sup>/год, а також відтворення їх характеристики у всьому діапазоні вимірювання установки є надзвичайно важливою умовою, яка дає право на створення таких установок.

Якщо передача мірного об'єму кожному із робочих еталонів здійснюється від еталону об'єму газу дзвонового типу і кожному робочому еталону присвоюються коефіцієнти перетворення  $K$  з високою точністю [3], то фактори, які впливають на похибку установок, ще не всі досконало вивчені. Одним із

таких факторів є втрата робочого тиску в трубопроводах. Якщо не врахувати цього фактора, то установка буде мати додаткові похибки вимірювання.

Враховуючи сказане автором нижче приведені теоретичні і експериментальні дослідження по визначенню втрат тиску в трубопроводах установки і методи їх урахування при визначенні похибки установки для повірки лічильників газу.

На рис. 1 зображені гідравлічні втрати в трубопроводах установок.

Для визначення втрати тиску в трубопроводах установки, приведених на рис. 1, використаємо рівняння енергії Бернуллі у формі тисків [4] для двох січень трубопровода:

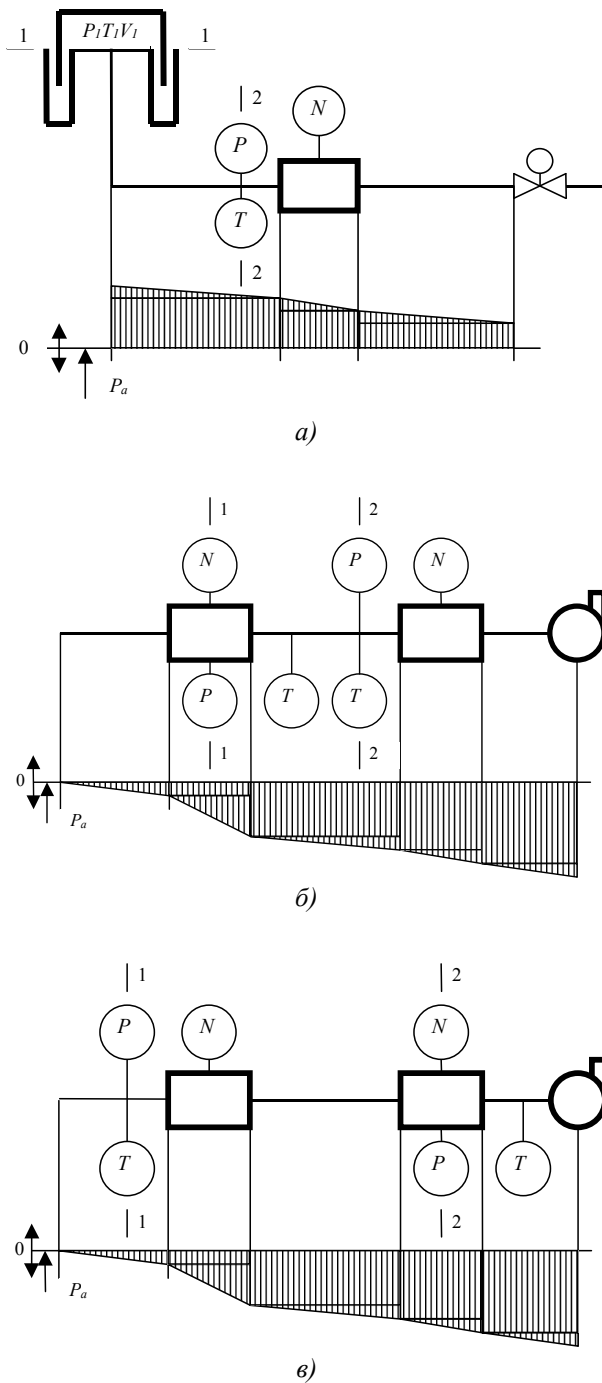
$$\rho_1 \cdot g \cdot z_1 + p_1 + \alpha_1 \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = \rho_2 \cdot g \cdot z_2 + p_2 + \alpha_2 \frac{\rho_2 v_2^2}{2} + p_B, \quad (1)$$

де  $\alpha \frac{\rho v^2}{2}$  - динамічний тиск,  $\rho \cdot g \cdot z$  - гравітаційний тиск,  $p$  - статичний тиск,  $v$  - швидкість потоку газу,  $\rho$  - густина газу,  $z$  - п'єзометрична висота,  $g$  - прискорення вільного падіння, індекси 1 і 2 відносяться до відповідних січень трубопроводів. Втрати тиску  $p_B$  визначаються за виразом:

$$p_B = \sum_i^n \lambda \frac{l}{d} \frac{\rho v^2}{2} + \sum_j^n \zeta \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2)$$

де  $\sum_i^n$  - сума втрат по довжині  $n$  ділянок трубопроводів;  $\sum_j^n$  - сума втрат місцевих опорів по шляху руху газового потоку;  $l, d$  - довжина і діаметр трубопроводу;  $\lambda$  - коефіцієнт опору в прямих відрізках трубопровода;  $\zeta$  - коефіцієнт втрати тиску в місцевому опорі.

Густина газу  $\rho$  є величиною змінною, залежною від температури  $T$  і тиску  $P$  і визначається за формулою [7]:



а) при передачі мірної одиниці об'єму газу робочому еталону від еталону об'єму газу дзвонового типу;  
 б) при повірці лічильників газу на установці УПЛГ-2500 з розташуванням лічильників газу перед робочим еталонном об'єму;  
 в) при повірці лічильників газу на установці УПЛГ-2500 з розташуванням лічильників газу після робочого еталону об'єму

Рис. 1. Схеми передачі мірного об'єму газу робочому еталону і лічильникам газу

$$\rho = \rho_0 \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T} \frac{1}{K}, \quad (3)$$

де  $\rho_0$  - густина газу при стандартних умовах ( $\rho_0 = 1,01325 \cdot 10^5$  Па;  $T_0 = 293,15$  К);  $K$  - коефіцієнт стискуваності газу.

З метою стабільності результатів вимірювання в трубопроводах створюється турбулентний режим газу у зв'язку з чим епюри швидкостей в діапазоні вимірювання будуть дуже близькими, тому в рівнянні (1) значення коефіцієнтів нерівномірності розподілу швидкості можна прийняти рівними, тобто  $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ . В зв'язку з цим швидкість газового потоку можна визначити за відомою формулою:

$$v = \frac{Q}{F} = \frac{V}{\tau F}, \quad (4)$$

де  $Q$  - витрата газу;  $F$  - площа поперечного перерізу трубопроводу;  $\tau$  - час, за який проходить об'єм  $V$  при заданій витраті ( $V = Q\tau$ ).

Згідно умови нерозривності потоку газу для сечення 1-1 і 2-2 справедлива рівність:

$$Q = \rho_1 v_1 F_1 = \rho_2 v_2 F_2. \quad (5)$$

Для кожної із робочих схем (див. рис. 1) рівняння (1) має свій вигляд. Схема рис. 1а застосовується для метрологічної атестації робочих еталонів об'єму газу. З врахуванням рівнянь (5) і (4) об'єм газу, який проходить через робочий еталон об'єму газу при його метрологічній атестації буде рівним:

$$V_2 = \tau F \left[ \frac{2}{\left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{F_2^2}{F_1^2} - 1 \right) \rho_2} \times \right]^{\frac{1}{2}} \times \left[ (p_2 - p_1) + g(\rho_2 z_2 - \rho_1 z_1) + p_B \right] \quad (6)$$

Схеми рис. 1б і рис. 1в застосовані при створенні варіантів установки для повірки лічильників газу типу УПЛГ-2500. По схемі рис. 1б передбачено розміщення лічильників газу перед робочим еталонном об'єму газу, а по схемі рис. 1в - розміщення лічильників газу після робочого еталону об'єму газу. Для схеми установки по рис.1б об'єм газу, який проходить через лічильник буде рівний:

$$V_1 = \tau \cdot F_1 \left[ \frac{2}{\left( 1 - \frac{\rho_1}{\rho_2} \frac{F_1^2}{F_2^2} \right) \rho_1} \left[ (p_2 - p_1) + p_B \right] \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (7)$$

а по рис. 1в об'єм газу  $\omega_2$  буде рівний:

$$V_2 = \tau \cdot F_2 \left[ \frac{2}{\left( \frac{\rho_2}{\rho_1} \frac{F_2^2}{F_1^2} - 1 \right) \rho_2} \left[ (p_2 - p_1) + p_B \right] \right]^{\frac{1}{2}} \quad (8)$$

Відповідно похибка робочого еталону, яка викликана втратами тиску в трубопроводах, може бути визначена за формулою:

$$\gamma = \left( \frac{V_2 - V_1}{V_1} \right) \cdot 100\% . \quad (9)$$

По цій же формулі можна визначити похибку лічильника від втрат тиску в трубопроводах для схеми повірки згідно рис.1б. А для схеми повірки рис.1в ця формула буде мати вид:

$$\gamma = \left( \frac{V_1 - V_2}{V_2} \right) \cdot 100\% . \quad (10)$$

Як відомо із отриманих рівнянь (6), (7) і (8) за один і той же час  $\tau$  через робочий еталон пройде об'єм газу, який не дорівнює витісненому об'єму дзвоном робочого еталону об'єму газу дзвонового типу при метрологічній атестації робочого еталону об'єму газу, а також не однакові об'єми проходять через робочий еталон об'єму і через лічильник газу при його повірці на установці типу УПЛГ-2500. Таке явище пояснюється втратами тиску  $P_B$ , а також п'езометричною висотою  $Z_1$  і  $Z_2$  для робочого еталону об'єму газу дзвонового типу.

Відповідно до отриманих рівнянь автором проведені дослідження схеми рис. 1б. При розрахунках коефіцієнта опору прямих відрізків трубопроводів була використана формула Альтшуля А. Д. [4]:

$$\lambda = 0,11 \left( \frac{68}{Re} + \frac{k_e}{d} \right)^{0,25} , \quad (11)$$

де  $Re$  – число Рейнольдса;  $k_e$  – коефіцієнт еквівалентності шорховатості труб (для трубопроводів із сталі  $k_e=0,1$ ). Втрати тиску в місцевих опорах розраховані по формулі Вейсбаха [6], а коефіцієнт місцевого опору визначений по формулі, приведений в табл. 1.

Елементи місцевого опору установки УПЛГ-2500 зображені на рис. 2.

На рис. 2а зображені елементи трубопроводів, які використовуються для вимірювання витрат від 250 до 2500 м<sup>3</sup>/год; рис. 2б – від 25 до 250 м<sup>3</sup>/год, рис. 2в – від 2,5 до 25 м<sup>3</sup>/год.

Результати розрахунку втрат тиску в місцевих опорах і трубопроводах приведені в табл. 2, де також приведені експериментальні дослідження втрат тиску в трубопроводах. Встановлено, що такі втрати не є значними. По схемі рис. 1а при витраті  $Q=250$  м<sup>3</sup>/год,  $p_1-p_2=920$  Па; по схемі 1в при витраті  $Q=25$  м<sup>3</sup>/год,  $p_1-p_2=200$  Па. Тобто: втрати тиску  $P_B$  близькі до різниці тисків  $p_1-p_2$ . Не важко визначити похибки, створені місцевими опорами і трубопроводами відповідно до формул (9) і (10). Їх значення не будуть перевищувати 0,03...0,11 %.

Таким чином, в результаті проведених теоретичних і експериментальних досліджень доведено,

що при передачі мірного об'єму від робочих еталонів до лічильників газу необхідно врахувати втрати тиску, які викликані місцевими опорами і довжинами трубопроводів. При проектуванні трубопроводів установок необхідно вибирати схеми з меншою кількістю місцевих опорів. Передачу мірного об'єму від державного еталону до робочих еталонів об'єму газу необхідно здійснювати з допомогою трансферних (передавальних) еталонів об'єму на установці УПЛГ-2500.

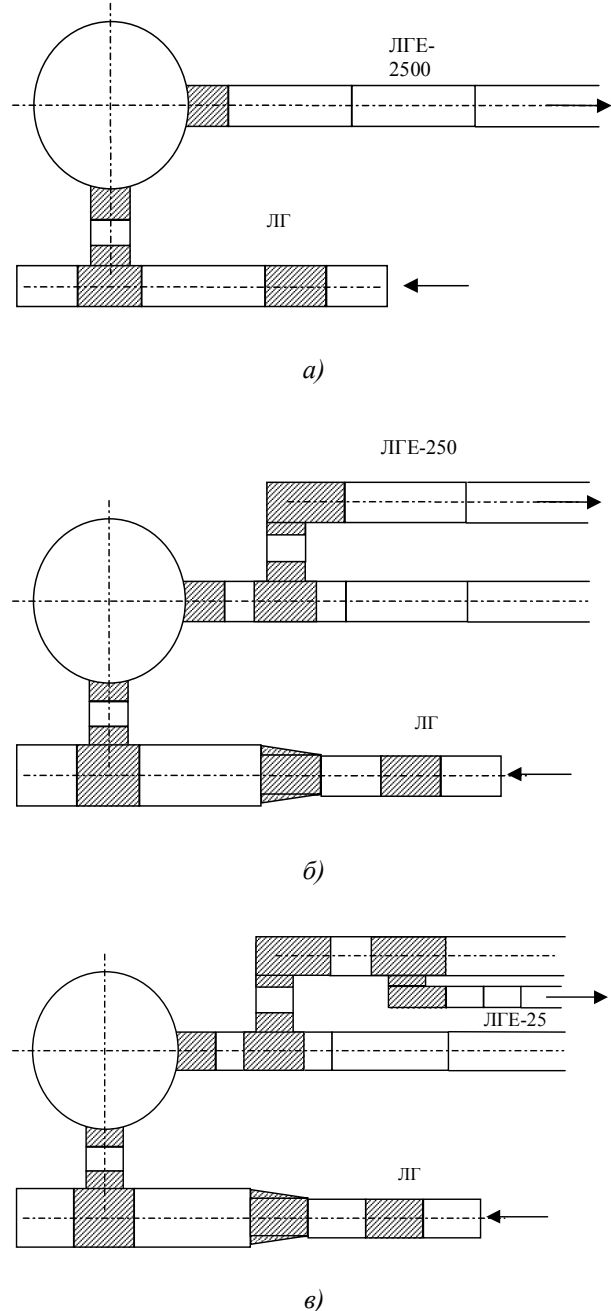
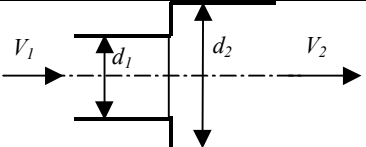
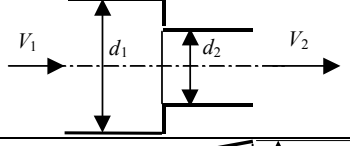
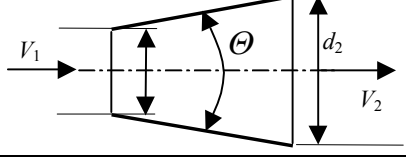
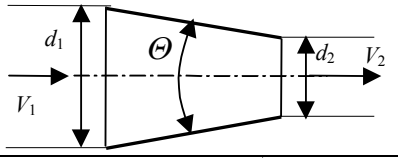
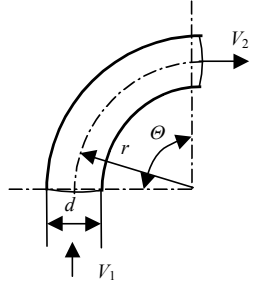
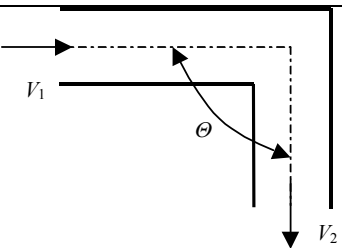
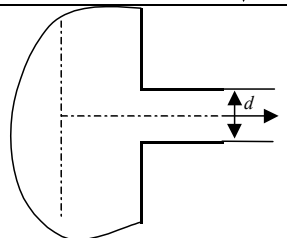
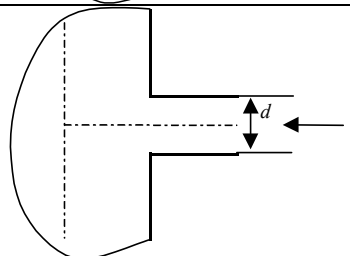


Рис. 2. Схема опорів трубопроводів з місцевими опорами у установці УПЛГ-2500

Таблиця 1 – Коефіцієнти втрати тиску в місцевих опорах

№п/п	Схема місцевого опору	Формула визначення коефіцієнта	Джерело інформації										
1		$\xi_1 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2$	[6]										
2		$\xi_2 = \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \cdot 0,5$	[6]										
3		$\xi_3 = K \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right)^2$	[4]										
		<table border="1" data-bbox="782 750 1228 817"> <tr> <td><math>\Theta</math></td> <td>4</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>30</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td><math>K</math></td> <td>0,08</td> <td>0,16</td> <td>0,35</td> <td>0,8</td> <td>0,9</td> </tr> </table>	$\Theta$	4	8	15	30	60	$K$	0,08	0,16	0,35	0,8
$\Theta$	4	8	15	30	60								
$K$	0,08	0,16	0,35	0,8	0,9								
4		$\xi_4 = K \left(1 - \frac{d_1^2}{d_2^2}\right) \cdot 0,5$	[4]										
		<table border="1" data-bbox="782 907 1228 974"> <tr> <td><math>\Theta/2</math></td> <td>10</td> <td>20</td> <td>30</td> <td>40</td> </tr> <tr> <td><math>K</math></td> <td>0,23</td> <td>0,18</td> <td>0,2</td> <td>0,27</td> </tr> </table>	$\Theta/2$	10	20	30	40	$K$	0,23	0,18	0,2	0,27	
$\Theta/2$	10	20	30	40									
$K$	0,23	0,18	0,2	0,27									
5		$\xi_5 = 0,25,$ при $r/d=2,5; \Theta=90^\circ$	[4]										
6		$\xi_6 = 1,2,$ при $\Theta=90^\circ$	[6]										
7		$\xi_7 = 0,5$	[6]										
8		$\xi_8 = 1,0$	[6]										

Таблиця 2 – Розрахунок втрат тиску в трубопроводах установки УПЛГ-2500

Еталони об'єму газу	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	$d, \text{ м}$	$S, \text{ м}^3$	$V, \text{ м/с}$	$\rho, \text{ кг/м}^3$	$\lambda$	Re	$\frac{\rho \cdot g^2}{2}$	$\sum_i^n$	$\sum_j^n$
ЛПЕ-2500	0,6944	0,2	0,0314	22,116	1,205	0,092	292908	294,7	461	961
	0,0694		0,0314	2,1116			29290	2,958	4,61	9,61
ЛПЕ-250	0,0694	0,08	0,00502	13,832	1,205	0,116	73282	115,27	381	466,7
	0,00694		0,00502	1,3832			7328	1,154	3,81	4,667
ЛПЕ-25	0,00694	0,04	0,00125	5,555	1,205	0,138	14715	18,591	65,84	123,5
	0,000694		0,00125	0,555			1471	0,186	0,65	1,24

1. Бродин І. С., Петришин І. С., Безтелесний А. Г., Дикий П. І. Державний спеціальний еталон одиниць об'єму та об'ємної витрати газу // Український метрологічний журнал. - № 3. - 1997. - С. 31-34. 2. Воцинський В. С., Іроденко В. В., Воцинський В. В. Установка з еталонами об'єму газу типу УПЛГ-2500 // Методи та прилади контролю якості. - № 4. - 1999. - С.104-106. 3. Schmitter D. Verhalten von Turbineradgaszahlern im Hochdruckbereich // Souderdruck aus qwfgas/erdgas. - № 125. - 1984. - Н 8. - S. 311-317. 4. Смыслов В. В. Гидравлика и аэ-

родинамика. К.: Вища школа, 1979. - 336 с. 5. Петришин І. С. Алгоритми досліджень та контролю метрологічних характеристик робочих еталонів об'єму газу // Методи та прилади контролю якості. - №7. - 2001. - С. 97-99. 6. Алешко П. М. Механика жидкості и газа. - Харьков: Высшая школа, 1977. - 320 с. 7. Контроль состава и качества природного газа / В. М. Плотноков, В. А. Подрешиетников, В. В. Радкевич, Л. Н. Тетеревятников - Л.: Недра, 1983. - 192 с.

УДК 621.317.73

## КВАЗІРІВНОВАЖЕНИЙ МІСТ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЧОТИРИЕЛЕМЕНТНИХ ДВОПОЛЮСНИКІВ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕСКАЛЯРНОГО РЕЖИМУ

© Бурбело М. І., Риков К. Ю., 2002

Вінницький державний технічний університет

**Пропонується квазірівноважений міст, в якому використано нескальярний режим для вимірювання параметрів чотириелементних двополюсників. Живлення моста здійснюється синусоїдною напругою двох частот. Стан квазірівноваги досягається двома взаємозалежними регулюваннями. Аналізуються питання збіжності процесу приведення моста до стану квазірівноваги.**

Одними із найбільш ефективних серед засобів вимірювань параметрів багатоелементних двополюсників є квазірівноважені мости [1, 2]. Вони вигідно вирізняються простотою вимірювального процесу, задовільною точністю і знаходять застосування в приладах контролю якості.

В квазірівноважених мостах традиційно використовуються скалярні режими. В таких режимах мостове вимірювальне коло приводиться до стану квазірівноваги регулюванням одного параметра, а фіксація моменту його досягнення здійснюється за одним скалярним критерієм. Однак зі збільшенням числа елементів вимірюваного двополюсника скалярні критерії квазірівноваги ускладнюються, що дещо зменшує ефективність квазірівноважених мостів. Певну зацікавленість викликає застосування

нескалярних режимів, в яких передбачається регулювання одночасно двох параметрів вимірювального кола і використання для направленої їх зміни двох детекторів квазірівноваги.

На рис. 1 зображена структурна схема квазірівноваженого моста з двома взаємозалежними контурами регулювання для вимірювання параметрів ємнісних двополюсників, поданих чотириелементною паралельно-послідовною схемою заміщення.

Міст реалізований за структурною схемою, яка запропонована в роботі [3], із додатково введеним екстремальним детектором і складається із генератора  $\Gamma$  синусоїдної напруги з частотою, що змінюється, зразкових елементів  $G_0, C_0$ , вимірюваного двополюсника з комплексною провідністю  $Y_X$ , пе-