

Висновки

1. Отримані результати підтверджують ефективність запропонованого методу синтезу цифрових систем з об'єктами високого порядку і його переваги порівняно з іншими методами синтезу цифрових систем, наприклад, [9–11].

2. Якість систем з ПД-регулятором істотно вища, ніж систем з П-регулятором у всьому прийнятному діапазоні характеристик об'єкта n і τ/T .

3. Графіки та емпіричні формули можна розглядати, як інженерну методику синтезу і аналізу цифрових автоматичних систем регулювання для широкого класу промислових об'єктів.

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. Пер. с польского. – М., Машиностроение, 1974. – 328 с. 2. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 541 с. 3. Ковела І.М. Параметричний синтез неперервних і цифрових автоматичних систем регулювання з П- та ПД-регуляторами // Вісник Нац. ун-ту “Львівська політехніка” “Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології”. – Львів. 2002. – № 450. – С. 38–50. 4. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 396 с. 5. Дьяконов В.П. Maple-7: учебный курс. – СПб.: Питер, 2002. – 672 с. 6. Черных И.В. SIMULINK: среда создания инженерных приложений. – М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2003. – 496 с. 7. Graphical Analysis 3 [<http://www.vernier.com/soft/ga.html> (“International” page)]. 8. Ануфриев И.Е., Смирнов А.Б., Смирнова Е.Н. MATLAB 7. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 1104 с. 9. Å ström K.-J., Wittenmark B. Computer-Controlled Systems, Third Edition, 1997 by Prentice Hall. 557 p. 10. Панько М.А. Расчет настроек ПИД-регуляторов при цифровой реализации алгоритма регулирования // Теплоэнергетика. – 2004. № 10. С. 28 – 32. 11. Клиначев Н.В. Пример проектирования дискретного ПИД-регулятора с применением инструментария моделирующих пакетов. 2008. http://model.exponenta.ru/z_tf_pid.html.

УДК 681.121.84

Ф.Д. Матіко, Р.М. Федоришин

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

ВПЛИВ РЕЗОНАНСНИХ ЯВИЩ У ПНЕВМАТИЧНИХ ЛІНІЯХ ВИТРАТОМІРІВ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ НА ПОХИБКУ ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ПУЛЬСУЮЧОГО ПОТОКУ

© Матіко Ф.Д., Федоришин Р.М., 2011

Наведено результати моделювання сигналів тиску газу та перепаду тиску на діафрагмі, а також відповідні результати вимірювання витрати та об'єму природного газу за наявності пульсацій потоку газу та виникненні резонансу в імпульсних трубках.

The paper deals with modeling the signals of gas pressure, differential pressure at primary device, gas flow rate and volume in the natural gas flow rate and volume measurement system by means of standard pressure differential device in the conditions of pulsating flow and resonance in pulse tubes.

Постановка проблеми

Завдяки широкому розповсюдженню витратомірів з пристроями звуження потоку, можливість вимірювання за їх допомогою пульсуючих витрат становить великий практичний інтерес. Але далеко не завжди їх застосування для цієї мети дає задовільні результати. Причина

полягає у великій кількості джерел похибок, які в деяких випадках можуть досягти неприпустимо великих значень [1].

Основними джерелами додаткових похибок вимірювання витрати газу за допомогою пристроїв звуження потоку за наявності пульсацій параметрів потоку є: вплив квадратичної залежності між витратою і перепадом тиску, вплив місцевого прискорення, вплив акустичних явищ у вимірювальному трубопроводі, вплив динамічних характеристик сполучних трубок.

Сполучні трубки між ПЗП і дифманометром можуть бути додатковим джерелом похибок під час вимірювання пульсуючих витрат через можливу нерівність опорів обох трубок, а також нелінійністю через можливі акустичні явища в трубках. Під час вимірювання пульсуючих витрат речовина, що перебуває в сполучних трубках, безперервно переміщається в той або інший бік. Тому нелінійні опори спотворюють передачу перепаду тиску тим більше, чим більше несиметричні форми пульсацій. При цьому тиск в кінці трубки може виявитися і меншим, і більшим від середнього.

Навіть, якщо у сполучних трубках відсутні нелінійні опори, вони можуть стати джерелом додаткових похибок внаслідок акустичних явищ, що виражаються в появі хвиль тиску в сполучних трубках і їх віддзеркалень від кінців останніх. Як показали автори [1], сполучні трубки разом із камерами перетворювачів перепаду тиску є коливною системою, в якій можуть виникати резонансні явища. Виникнення резонансних явищ може призводити до значних похибок вимірювання витрати.

Моделювання та дослідження пневматичних ліній, які складаються із сполучних трубок та камер вимірювальних перетворювачів, дозволяє виявити вплив їх конструктивних параметрів на їхні частотні характеристики і, відповідно, оцінити величину додаткових похибок вимірювання витрати для конкретних технологічних умов.

Аналіз останніх досліджень

У джерелах [2, 3] питання впливу конструктивних параметрів сполучних трубок на похибку витратомірів змінного перепаду тиску розглянуто якісно і наведені загальні рекомендації щодо вибору сполучних трубок для вимірювання пульсуючих витрат, однак немає кількісної оцінки цього впливу.

У стандарті [4] розглянуто вимірювання витрати пульсуючого потоку та визначено методику розрахунку додаткового складника невизначеності результату вимірювань кількості середовища, зумовлену наявністю пульсацій потоку. Однак питання впливу параметрів сполучних трубок на додаткову похибку вимірювання витрати також не розглянуте.

Формулювання цілі статті

Метою цієї роботи є визначення впливу резонансних явищ, які виникають в імпульсних трубках, на виміряні значення тиску, перепаду тиску, витрати та об'єму газу в системі обліку зі стандартним пристроєм звуження потоку для різних конструктивних характеристик імпульсних трубок на базі розробленої моделі імпульсної трубки.

Виклад основного матеріалу

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 [4] пульсації потоку умовно поділяють на такі види:

- низькочастотні пульсації – від 10^{-4} до 0,5 Гц;
- середньочастотні пульсації – від 0,5 до 30 Гц;
- високочастотні пульсації – більше ніж 30 Гц.

Залежно від діапазону зміни масштабних і часових параметрів потоку прийнято таку умовну класифікацію режимів протікання середовища: стаціонарний; пульсуючий; змінний; нестаціонарний.

Для стаціонарного режиму протікання середовища значення відносного відхилення миттєвого значення низькочастотних пульсацій перепаду тиску становить $\tilde{\Delta}_{\text{дп}} \leq 0,14$, а значення відносної

середньоквадратичної амплітуди середньочастотних пульсацій перепаду тиску $\tilde{\Delta}p_s \leq 0,1$. Для пульсуючого режиму значення відносного відхилення миттєвого значення низькочастотних пульсацій перепаду тиску становить $\tilde{\Delta}_{\Delta p} \leq 0,14$, а значення відносної середньоквадратичної амплітуди середньочастотних пульсацій перепаду тиску $0,1 < \tilde{\Delta}p_s \leq 0,5$. Для змінного режиму значення відносного відхилення миттєвого значення низькочастотних пульсацій перепаду тиску становить $\tilde{\Delta}_{\Delta p} > 0,14$, а значення відносної середньоквадратичної амплітуди середньочастотних пульсацій перепаду тиску $\tilde{\Delta}p_s \leq 0,1$. Для нестационарного режиму значення відносного відхилення миттєвого значення низькочастотних пульсацій перепаду тиску становить $\tilde{\Delta}_{\Delta p} > 0,14$, а значення відносної середньоквадратичної амплітуди середньочастотних пульсацій перепаду тиску $0,1 < \tilde{\Delta}p_s \leq 0,5$.

Відповідно до ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 [4] метод визначення кількості середовища базується на припущенні, що значення відносної середньоквадратичної амплітуди пульсацій густини (тиску) середовища $\tilde{\rho}_s(\tau)$ і $\tilde{p}_s(\tau)$ не перевищує 0,025. Враховуючи цю умову та умови щодо $\tilde{\Delta}_{\Delta p}$ та $\tilde{\Delta}p_s$, у цій роботі сформовано сигнал зміни тиску газу в трубопроводі та перепаду тиску на діафрагмі для пульсуючого режиму потоку газу.

Автори отримали математичну модель імпульсної трубки для вимірювання тиску газу в трубопроводі та перепаду тиску на діафрагмі [1]. Функція передачі камери вимірювального перетворювача тиску та імпульсної трубки каналом “тиск на вході імпульсної трубки – тиск у камері вимірювального перетворювача тиску” ($P_{BK} - P_K$):

$$W(p) = \frac{1}{T_2 p^2 + T_1 p + 1} \quad (1)$$

Отримана модель є коливною, оскільки ступінь зникання коливань (співвідношення сталих часу) $\xi = T_1 / (2T_2)$ є меншим за одиницю для діаметрів імпульсної трубки $D_{TP} = 6...21$ мм та її довжини $L_{TP} = 1...30$ м [1]. Розраховані значення резонансних частот для різних конструктивних розмірів імпульсної трубки наведені у табл. 1, а на рис. 1 – амплітудно-частотні характеристики (АЧХ) моделі імпульсної трубки.

Таблиця 1

Резонансна частота імпульсної трубки ($f_{рез}$, Гц)

$D_{TP}, \text{мм}$	$L_{TP}, \text{м}$						
	1	5	10	15	20	25	30
6	32,4	14,4	10,2	8,3	7,1	6,4	5,8
9	48,6	21,7	15,4	12,5	10,9	9,7	8,9
12	64,8	29,0	20,5	16,7	14,5	13,0	11,8
15	81,0	36,2	25,6	20,9	18,1	16,2	14,8
18	97,2	43,5	30,7	25,1	21,7	19,4	17,7
21	113,4	50,7	35,9	29,3	25,4	22,7	20,7

З АЧХ моделі імпульсної трубки видно, що за наявності низькочастотних ($f < 6$ Гц) пульсацій тиску газу в трубопроводі, тиск у камері перетворювача тиску повторюватиме тиск газу в трубопроводі. За наявності середньо- і високочастотних пульсацій, тиск у камері перетворювача тиску може бути підсилений внаслідок виникнення явища резонансу у імпульсній лінії.

Для дослідження впливу резонансних явищ у імпульсних трубках на вимірне значення об'єму газу виконано моделювання системи вимірювання витрати і кількості природного газу на базі стандартного звукувального пристрою із застосуванням розробленої моделі імпульсної трубки. Моделювання виконано для параметрів потоку, що відповідають умовам роботи діючої системи обліку природного газу, деякі характеристики якої наведені у табл. 2. Звукувальним пристроєм є камерна діафрагма з кутовим способом відбору тиску.

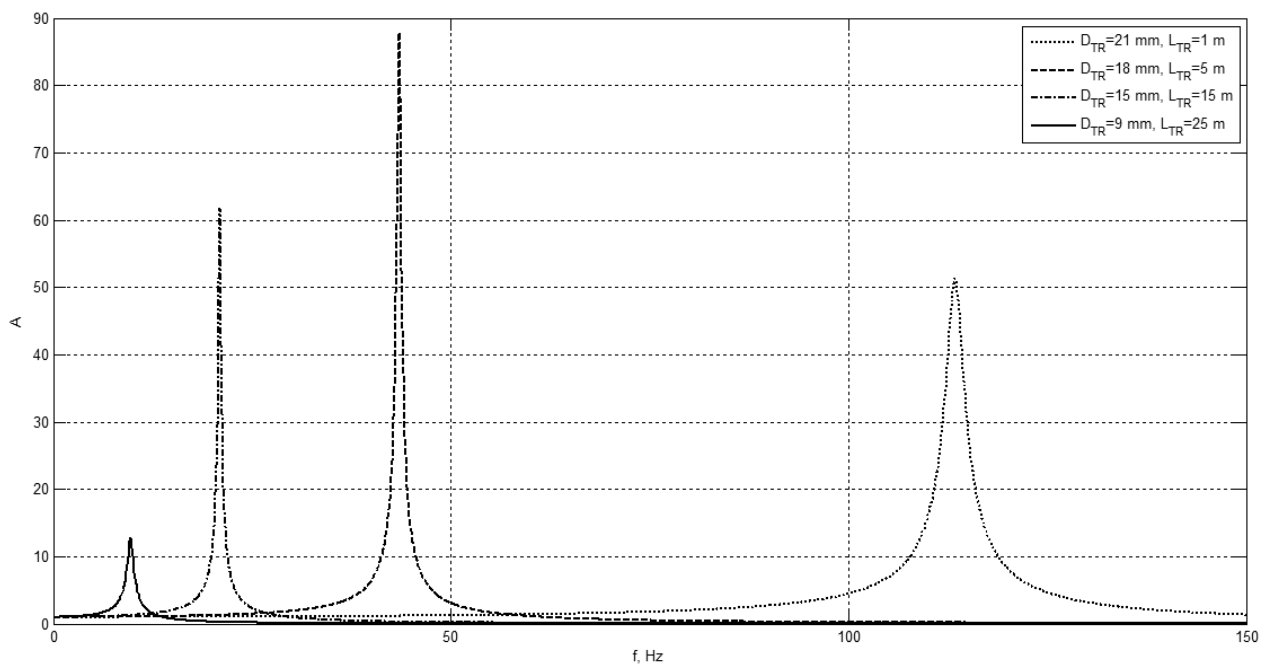


Рис. 1. Амплітудно-частотні характеристики моделі імпульсної трубки для різних конструктивних розмірів трубки

Таблиця 2

Основні параметри системи обліку природного газу

Назва параметра	Позначення	Розмірність	Значення
Абсолютний тиск газу в трубопроводі	p_c	кгс/см ²	3,5
Температура газу в трубопроводі	t_c	°C	+5,6
Густина природного газу при стандартних умовах	ρ_c	кг/м ³	0,717
Діаметр отвору діафрагми при температурі 20 °C	d_{20}	мм	107,525
Внутрішній діаметр трубопроводу при температурі 20 °C	D_{20}	мм	407,94
Граничний перепад тиску на діафрагмі	Δp_{cp}	кгс/м ²	6300
Перепад тиску на діафрагмі при середній витраті газу	Δp_c	кгс/м ²	2500
Максимальна витрата природн. газу, приведена до стандартних умов	$(q_c)_{max}$	м ³ /год	14649
Середня витрата газу, приведена до стандартних умов	$(q_c)_c$	м ³ /год	9524,7

Модельовання пульсацій тиску газу в трубопроводі та перепаду тиску на діафрагмі виконано для випадку, коли причиною виникнення пульсуючих змін витрати є пульсації тиску газу перед діафрагмою (p_1 , в додатній камері діафрагми). Перепад тиску на діафрагмі коливається внаслідок коливань тиску газу перед діафрагмою p_1 .

Для модельовання тиску p_1 в камері перетворювача тиску вибрано імпульсну трубку довжиною 10 м з внутрішнім діаметром 9 мм. Значення сталих часу для цієї імпульсної трубки, обчислені на основі конструктивних параметрів трубки та камери, $T_2=10,5$ мс, $T_1=0,16$ мс, а резонансна частота становить 15,4 Гц (див.табл.1). На вхід моделі імпульсної трубки (див.рис.2) подається синусоїдальний сигнал частотою 10 Гц з амплітудою 20 % від перепаду тиску на діафрагмі 2500 кгс/м², що відповідає середній витраті газу. Такий сигнал відповідає пульсуючому режиму потоку газу. Відносна амплітуда коливань тиску p_1 в додатній камері діафрагми становить

0,014, а відносна середньоквадратична амплітуда – 0,01. Відносна амплітуда коливань перепаду тиску на діафрагмі становить 0,2, а відносна середньоквадратична амплітуда – 0,141.

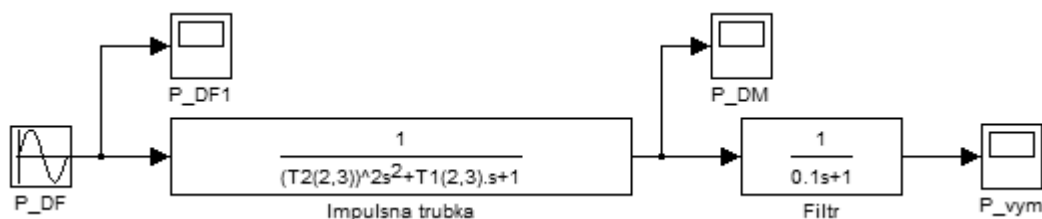


Рис. 2. Модель імпульсної трубки

На рис. 2 зображена структурна схема дослідження моделі імпульсної трубки разом з камерою вимірювального перетворювача (Impulsna trubka). Вихідний сигнал моделі імпульсної трубки поданий на вхід моделі вимірювального перетворювача тиску (Filtr) зі сталою часу 0,1 с. На схемі зроблено такі позначення: P_DF – тиск газу в камері діафрагми, P_DM – тиск газу в камері вимірювального перетворювача тиску газу, P_vym – сигнал вимірюваного значення тиску газу. У результаті моделювання отримано залежності тиску газу та перепаду тиску на діафрагмі від часу, які показані на рис. 3, 4. Символами \circ, \square, Δ на рис.3,4,6 позначено точки, вибрані для розрахунку миттєвих значень витрати газу (табл.3,5).

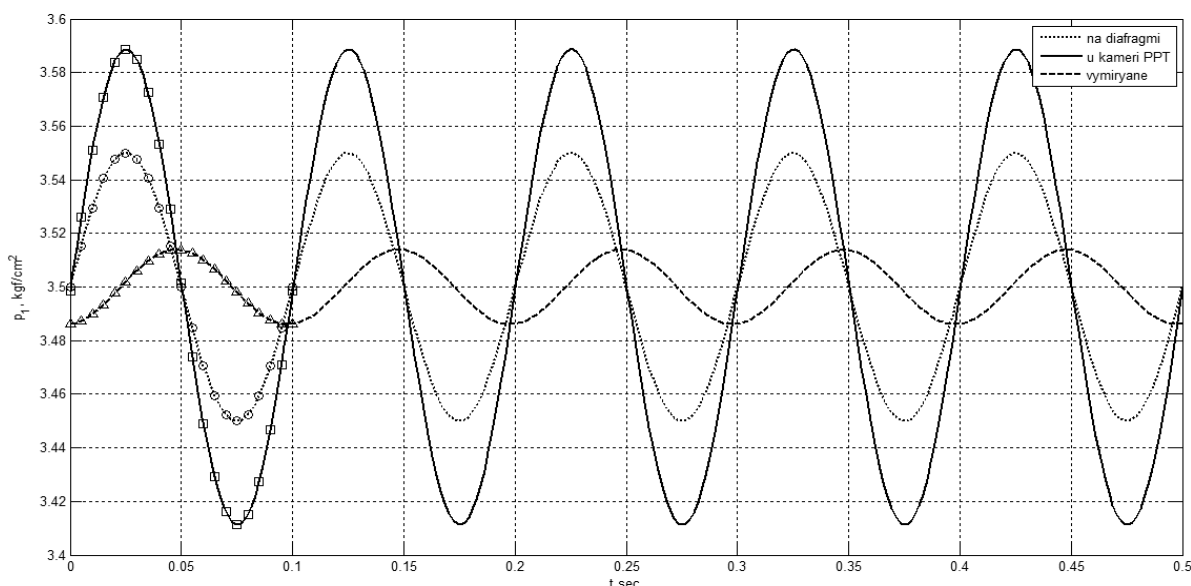


Рис. 3. Залежність тиску газу до діафрагми (p_1) від часу:
 – у додатній камері діафрагми; — — у камері ППТ; --- – вимірюваний сигнал тиску p_1

Із результатів моделювання видно, що амплітуда коливань тиску газу та перепаду тиску на діафрагмі (500 кгс/м^2) підсилюється у камерах перетворювача перепаду тиску до значення 887 кгс/м^2 внаслідок резонансу, що виникає у додатній камері перетворювача різниці тисків. Зсув фази сигналу перепаду тиску в камерах перетворювача різниці тисків по відношенню до перепаду тиску газу на діафрагмі становить 0,3 мс, або $1,08^\circ$. Амплітуда вимірюваного сигналу перепаду тиску на виході вимірювального перетворювача (після динамічного перетворення) становить 140 кгс/м^2 . Зсув фази вимірюваного сигналу перепаду тиску по відношенню до перепаду тиску на діафрагмі становить 23 мс, або $82,8^\circ$.

Для розрахунку витрати газу застосовано САПР “Расход-РУ” – систему автоматизованого проектування та розрахунку витратомірів зі стандартними пристроями звуження потоку [5].

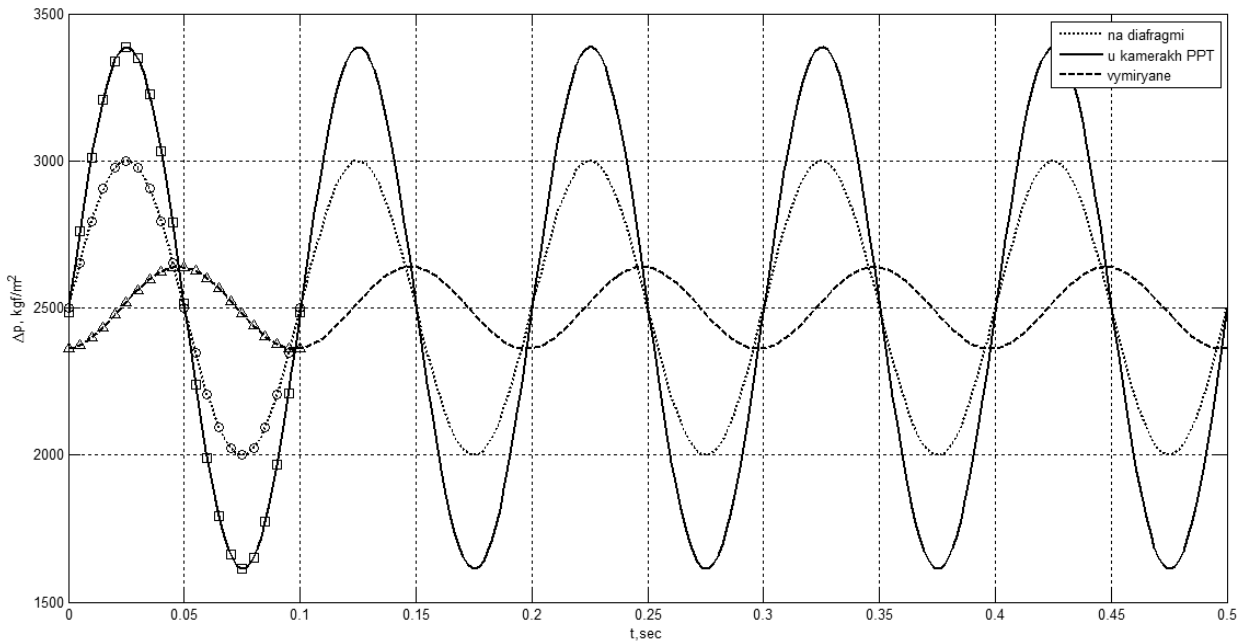


Рис. 4. Залежність перепаду тиску від часу (при пульсації тиску p_1):
 – на діафрагмі; — у камерах ППТ; --- – вимірюваний сигнал перепаду тиску

Витрата газу при середньому значенні тиску газу $3,5 \text{ кгс/см}^2$ і середньому перепаді тиску на діафрагмі 2500 кгс/м^2 становить $9524,7 \text{ м}^3/\text{год}$ за стандартних умов (с.у.). Результати розрахунку миттєвих значень витрати газу (при пульсації тиску p_1) наведені у табл. 3 та на рис. 5.

Таблиця 3

Результати розрахунку миттєвих значень витрати газу (при пульсації тиску p_1)

$t, \text{ мс}$	$p_{11}, \text{ кгс/см}^2$	$p_{12}, \text{ кгс/см}^2$	$p_{13}, \text{ кгс/см}^2$	$\Delta p_1, \text{ кгс/м}^2$	$\Delta p_2, \text{ кгс/м}^2$	$\Delta p_3, \text{ кгс/м}^2$	$q_{c1}, \text{ м}^3/\text{год}$ (за с.у.)	$q_{c2}, \text{ м}^3/\text{год}$ (за с.у.)	$q_{c3}, \text{ м}^3/\text{год}$ (за с.у.)
0	3,500	3,498	3,486	2500,0	2484,4	2361,9	9524,7	9493,3	9248,9
5	3,516	3,526	3,488	2654,5	2759,3	2374,7	9825,9	10024	9275,8
10	3,529	3,551	3,490	2793,9	3008,8	2399,8	10089	10486	9325,5
15	3,541	3,571	3,494	2904,5	3208,5	2434,6	10296	10843	9395,9
20	3,548	3,584	3,498	2975,5	3338,8	2475,9	10426	11071	9477,7
25	3,550	3,589	3,502	3000,0	3387,0	2519,5	10470	11154	9563,2
30	3,548	3,585	3,506	2975,5	3348,4	2561,2	10426	11087	9644,5
35	3,541	3,573	3,510	2904,5	3226,7	2596,9	10296	10875	9714,5
40	3,529	3,553	3,512	2793,9	3034,0	2623,2	10089	10531	9764,4
45	3,516	3,529	3,514	2654,5	2788,9	2637,3	9825,9	10080	9792,4
50	3,500	3,502	3,514	2500,0	2515,6	2638,1	9524,7	9556,1	9793,8
55	3,485	3,474	3,513	2345,5	2240,7	2625,3	9216,6	9001,2	9769,6
60	3,471	3,449	3,510	2206,1	1991,2	2600,2	8929,9	8470,7	9720,4
65	3,460	3,429	3,507	2095,5	1791,5	2565,4	8696,6	8023,6	9653,5
70	3,452	3,416	3,502	2024,5	1661,2	2524,1	8542,7	7719,5	9571,5
75	3,450	3,411	3,498	2000,0	1613,0	2480,5	8490,0	7603,9	9486,2
80	3,452	3,415	3,494	2024,5	1651,6	2438,8	8542,7	7696,6	9403,7
85	3,460	3,427	3,490	2095,5	1773,3	2403,1	8696,6	7981,5	9331,7
90	3,471	3,447	3,488	2206,1	1966,0	2376,8	8929,9	8416,1	9279,7
95	3,485	3,471	3,486	2345,5	2211,1	2362,7	9216,6	8939,6	9250,4
100	3,500	3,498	3,486	2500,0	2484,4	2361,9	9524,7	9493,3	9248,9

У табл. 3 зроблено такі позначення: p_{11} – тиск p_1 у додатній камері діафрагми; p_{12} – тиск p_1 у додатній камері перетворювача тиску/різниці тисків; p_{13} – вимірне значення тиску p_1 (після динамічного перетворення); Δp_1 – перепад тиску в камерах діафрагми; Δp_2 – перепад тиску в камерах перетворювача тиску/різниці тисків; Δp_3 – вимірне значення перепаду тиску (після динамічного перетворення); q_{c1} – витрата газу, обчислена за значеннями p_{11} і Δp_1 ; q_{c2} – витрата газу, розрахована за значеннями p_{12} і Δp_2 ; q_{c3} – витрата газу, розрахована за значеннями p_{13} і Δp_3 .

На рис. 5 символами $\circ, \square, \triangle$ позначено точки, отримані під час розрахунку миттєвих значень витрати газу (табл. 3).

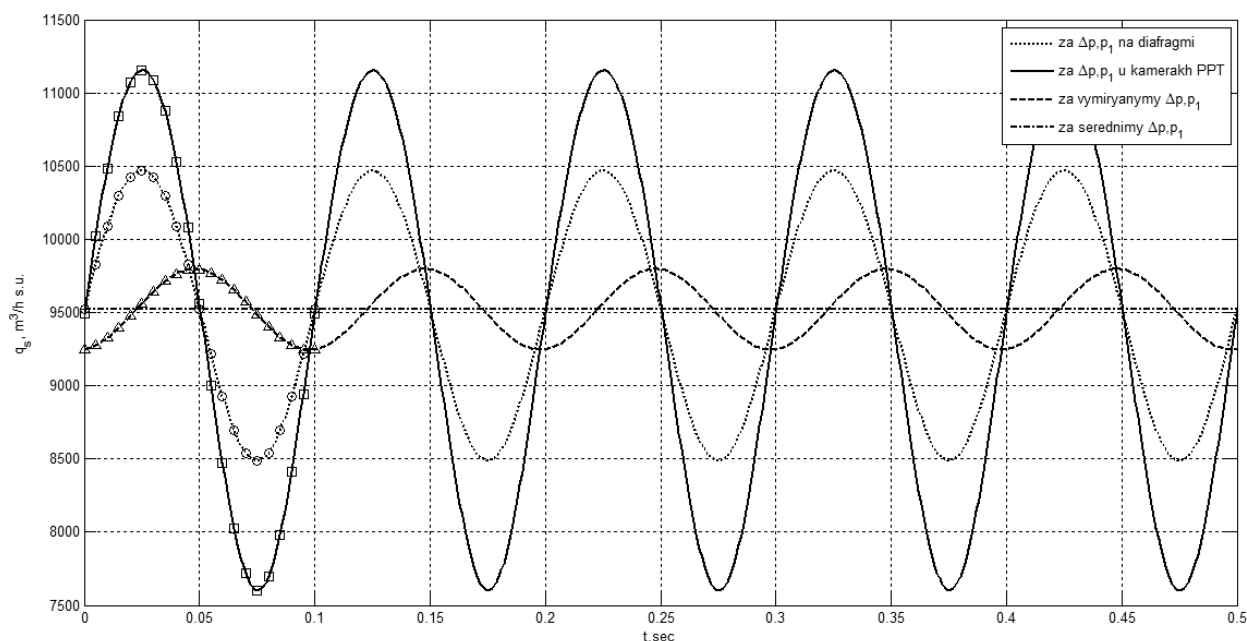


Рис. 5. Залежність витрати газу від часу (при пульсації тиску p_1), за значеннями перепаду тиску і тиску: – на діаграмі; — у камерах ППТ; --- за вимірюваними сигналами перепаду тиску і тиску; за середніми значеннями перепаду тиску (2500 кгс/м^2) і тиску ($3,5 \text{ кгс/см}^2$)

Отримані значення витрати природного газу (при пульсації тиску p_1) були проінтегровані для визначення об'єму газу за період часу 1 год. Результати інтегрування наведені у табл. 4.

Таблиця 4

Результати розрахунку об'єму газу за 1 год. (у разі пульсації тиску p_1)

Назва		Познач.	Значення	$V_i - V_1$	$(V_i - V_1)/V_1 \cdot 100\%$
Об'єм газу (м^3 за с.у.), при визначенні витрати газу за	значеннями Δp і p_1 на діаграмі	V_1	9502,77	-	-
	значеннями Δp і p_1 у камерах ППТ	V_2	9452,66	-50,11	-0,53
	вимірними значеннями Δp і p_1 (на виході перетворювачів)	V_3	9523,17	+20,40	+0,21
	середніми значеннями Δp і p_1	V_4	9524,70	+21,93	+0,23

Як точне значення об'єму розглядалося значення об'єму газу V_1 , отримане під час інтегрування витрати газу, визначеної за сигналами зміни Δp і p_1 у камерах відбору тиску до та після діафрагми.

Із отриманих результатів видно, що об'єм газу V_2 , отриманий під час інтегрування витрати газу, визначеної за значеннями Δp і p_1 у камерах перетворювача тиску/різниці тисків, є на 0,53 % меншим за об'єм газу V_1 . Об'єм газу V_3 , отриманий при інтегруванні витрати газу, визначеної за вимірними значеннями Δp і p_1 (за сигналами на виході вимірювальних перетворювачів), є на

0,21 % більшим за об'єм газу V_1 . Об'єм газу V_4 , отриманий під час інтегрування витрати газу, визначеної за середніми значеннями $\Delta p = 2500$ кгс/м² і $p_1 = 3,5$ кгс/см² упродовж часу інтегрування, є на 0,23 % більшим за об'єм газу V_1 . Об'єми газу V_3 і V_4 є приблизно рівними і відрізняються між собою на 0,02 %.

Пояснити отримані відхилення об'ємів можна на основі залежностей, запропонованих в [6]. Зокрема, математичне сподівання витрати, що вимірюється за умов змінних параметрів потоку, визначається із рівняння

$$E_d(Q_C) = k \sqrt{\frac{E(\Delta P) \cdot E(P)}{E(T)}} \left(1 - \frac{\tilde{\sigma}^2(\Delta P)}{8} - \frac{\tilde{\sigma}^2(P)}{8} + \frac{3\tilde{\sigma}^2(T)}{8} \right), \quad (2)$$

де $E(\Delta P)$, $E(P)$ і $E(T)$ – математичні сподівання вимірювальних параметрів потоку відповідно ΔP , P і T ; $E_d(Q_C)$ – дійсне значення математичного сподівання витрати Q_C , зведеної до стандартних умов, $\tilde{\sigma}^2(\Delta P)$, $\tilde{\sigma}^2(P)$ і $\tilde{\sigma}^2(T)$ – відносні дисперсії вимірюваних параметрів потоку.

Із (5) видно, що коливання параметрів ΔP і P (тобто зростання значень їх дисперсій) зменшують дійсне значення $E_d(Q_H)$, а коливання температури T збільшують $E_d(Q_H)$.

Коли витрата визначається за сигналами Δp і p_1 у камерах вимірювальних перетворювачів тиску та перепаду тиску, то амплітуда і, відповідно, дисперсія цих сигналів є завищеною внаслідок впливу резонансу у імпульсних лініях та камерах перетворювачів. Отже, врахування завищених дисперсій цих сигналів приведе до заниження вимірюваного значення витрати і об'єму V_2 .

Сигнали на виході вимірювальних перетворювачів тиску та перепаду тиску є фільтрованими (усередненими) оскільки моделлю перетворювачів у цій роботі є аперіодичний фільтр із сталою часу 0,1с. Амплітуда і, відповідно, дисперсія цих сигналів є заниженою відносно їх дійсних значень, що спостерігаються у камерах відбору тиску біля діафрагми. Тому значення об'єму газу, отримане на основі вихідних сигналів вимірювальних перетворювачів V_3 , є завищеним відносно значення V_1 , що отримане на основі дійсних сигналів тиску та перепаду тиску.

Висновки

Результати моделювання імпульсних ліній витратомірів змінного перепаду тиску в умовах пульсації потоку газу показують, що амплітуда коливань тиску (перепаду тиску) у камерах вимірювального перетворювача тиску/різниці тисків може бути підсилена по відношенню до амплітуди коливань тиску (перепаду тиску) в камерах діафрагми внаслідок резонансу, що виникає в імпульсній трубці. Амплітуда вимірюваного сигналу тиску (перепаду тиску) на виході перетворювача тиску/перепаду тиску може істотно відрізнятись як від амплітуди сигналу в камерах діафрагми, так і в камерах перетворювачів тиску/перепаду тиску.

Для усунення впливу резонансних явищ в імпульсних трубках та зменшення додаткової похибки вимірювання об'єму газу, зумовленої високочастотними пульсаціями потоку, рекомендується застосовувати імпульсні трубки меншого діаметра і більшої довжини, тоді високочастотні пульсації будуть відфільтровані імпульсною трубкою. За наявності низько- і середньочастотних пульсацій потоку рекомендується застосовувати імпульсні трубки більшого діаметра і меншої довжини, тоді тиск у камері перетворювача тиску/різниці тисків повторюватиме відповідний тиск газу в камері діафрагми. Однак обов'язковою умовою зменшення похибки вимірювання витрати пульсуючого потоку є застосування малоінерційних перетворювачів перепаду тиску та тиску.

1. Федоришин Р. М., Грень Я.В., Матіко Ф. Д. Моделювання динамічних характеристик пневматичних ліній витратомірів змінного перепаду тиску // Вісник Нац. ун-ту "Львівська політехніка": Теплоенергетика. Інженерія доквілля. Автоматизація. – 2009. – № 659. – С. 73–78.
2. ISO/TR 331 3:1998 Measurement of fluid flow in closed conduits — Gui delines on th e effects of flow pulsations on flow -measurement instruments.
3. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества: Справочник. – 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1989.

– 701 с. 4. ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2007 Вимірювання витрати та кількості рідини й газу із застосуванням стандартних звужувальних пристроїв. Частина 5. Методика виконання вимірювань. – К.: Держспоживстандарт України. 5. Пистун Є.П., Лесовой Л.В., Матіко Ф.Д., Марковський Д.І., Лесовой Р.Л. Комп'ютерна програма САПР “Расход-РУ”: Посібник користувача. – Львів: Вид-во ЗАТ “Інститут енергоаудиту та обліку енергоносіїв”, 2007. – 127 с. 6. Пистун Е.П. О погрешностях определения среднесуточного значения расхода газа, измеряемого методом переменного перепада давления / Е.П. Пистун // Республиканский межведомственный научно-технический сборник. Контрольно-измерительная техника. – Львов: Вища школа, 1985. – Вып.37. – С.11–14.

УДК 681.121.84

Л.В. Лесовой

Національний університет “Львівська політехніка”,
кафедра автоматизації теплових і хімічних процесів

РОЗРАХУНОК ВИТРАТИ СУХОЇ ЧАСТИНИ ВОЛОГОГО ГАЗУ ЗА МЕТОДОМ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

© Лесовой Л.В., 2011

Розроблені основні засади вимірювання витрати сухої частини вологого газу, нові математичні моделі розрахунку перепаду тиску на пристрої звуження потоку, коефіцієнта розширення сухої частини вологого газу та рівняння для розрахунку витрати сухої частини вологого газу.

The paper developed the basic principles of flowrate measurement of dry part of humid gas, developed new mathematical models for calculating differential pressure in the primary device, the equation for the expansibility factor of the dry part of humid gas, the equation for calculating the flowrate of dry part of humid gas.

Постановка проблеми

Економія паливно-енергетичних ресурсів, до яких належить природний газ, вологий нафтовий газ, коксовий газ тощо, неможлива без правильного розрахунку їх витрати та кількості. Під час вимірювання витрати та кількості плинних енергоносіїв найбільш широко застосовують метод змінного перепаду тиску зі стандартними пристроями звуження потоку. За допомогою цього методу можна вимірювати не тільки витрату і кількість сухого газу, але також витрату і кількість сухої частини вологого газу. У багатьох країнах світу здійснюють оплату не за кількість газу, який проходить у трубопроводі круглого перерізу, а за його енерговміст. Збільшення вологості у газі зменшує його питому теплоту згорання, а отже, і витрату енерговмісту газу. Витрата енерговмісту газу залежить від витрати газу. У багатьох країнах світу виконують розрахунки не за кількість газу, яку отримав споживач, а за його енерговміст. Тому проблема вимірювання витрати та кількості сухої частини вологого газу є актуальною проблемою сьогодення.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

Рівняння для розрахунку значень витрати сухої частини вологого газу, які застосовувались і застосовуються тепер, наведені у РД50-213–80 [1], у Міждержавному стандарті ГОСТ8.586.5–2005 [2] та у Національному стандарті України ДСТУ ГОСТ 8.586.5:2009 [3].

Але ці рівняння мають деякі недоліки: