

8. Borovytsky V.N. Primenenie prostranstvennoj modulyacii osvesheniya v opticheskoy mikroskopii/ V.N. Borovytsky, V.V. Chorna // Optiko-elektronnyye pribory i komponenty v lazernykh i energeticheskikh tekhnologiyah. – 2011. – № 2. – pp. 158-166.
9. Banch H. Optical sections by means of "structures illumination", background and application of fluorescence microscopy / Hubert Banch, Jorg Schaffer // Photonik International. – 2006.
10. Krizek P. Spatial light modulator in fluorescence microscopy / Pavel Krizek, Guy M. Hagen // Microscopy: Science, Technology, Application and Education. – Vol. 3. – FORMATEX. – 2010. – pp. 1366-1377.
11. Robert H. Webb. Confocal optical microscopy. – Rep. Prog. Phys. 59. – IOP Publishing Ltd – 1996. – pp. 427–471.
12. Denis Semwogerere, Eric R. Weeks. Confocal Microscopy. – Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering. – Taylor & Francis. – 2005. – DOI: 10.1081/E-EBBE-120024153.
13. Nicolas George. Confocal microscope systems – a comparison of technologies. – Bioscience Technology – Tools & Techniques. – № 11. – 2003.
14. Shkljarsky V.I. Osoblivosti roboti televizijnogo skanuvalnogo optichnogo mikroskopa u kadrovomu rezhimi vimiryuvannya shvidkosti ruhu mikroobjekta/ V.I. Shkljarsky, Y.M. Matieshin // Visnuk Nacionalnogo universitetu "Lvivska politexnika" "Radioelektronika ta telekomunikacii". – 2008. – №618. – pp. 22-30.
15. Balanuk Y.V. Skanuvalnij televizijnij optichnij ultrafioletovij mikroskop dlya doslidzhennya biologichnih mikroobjektiv / Y.V. Balanuk, A.D. Pedan, V.I. Shkljarsky // Visnuk Nacionalnogo universitetu "Lvivska politexnika" "Radioelektronika ta telekomunikacii". – 2009. – №645. – pp. 243-252.
16. Chorna V.V. Sravnitelnyj analiz sovremennyh golograficheskikh i interferencionnyh mikroskopov / V.V. Chorna, V.N. Borovytsky // Izmeritel'naya i vychislitel'naya tekhnika v tekhnologicheskikh processah. – № 2. – 2010. – ISSN 2219-9365.
17. Lukasheva N.N. Prizhiznennaya otrazhatelnaya konfokalnaya lazernaya skaniryushchaya mikroskopiya: istoriya sozdaniya, princip raboty, vozmozhnosti primeneniya v dermatologii/ Lukasheva N.N., Tkachenko S.B., potekaev N.N., Kuzmina T.S., Vasilevskaja E.A. // Klinicheskaya dermatologiya i venerologiya. – № 5. – 2008. – pp. 10-15.
18. GOST 2789-73. Sherohovatosť poverhnosti. Parametry i harakteristiki. – M. – 1973.
19. Anuriev V.I. Spravochnik konstruktora-mashinostroitel'ya. – M.: Mashinostroenie. – 2001.
20. W. B. Amos, J. G. White. How the Confocal Laser Scanning Microscopy entered Biological Research. – Biology of the Cell. – 2003. – № 97. – pp. 335-342.

Рецензія/Peer review : 5.1.2015 р. Надрукована/Printed :24.1.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.377.39

С.Й. ШАМАНСЬКИЙ, С.В. БОЙЧЕНКО
Національний авіаційний університет, Київ

РОЗРАХУНОК МЕТРОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛІЧИЛЬНИКА СТІЧНИХ ВОД ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

В статті запропоновано принципову схему вимірювання кількості стічних вод за допомогою лічильника кількості рідини, побудованого на поєднанні стандартного звужуючого пристрою (стандартної діафрагми) як первинного перетворювача та обчислювального пристрою (інтегратора). Розраховано також метрологічні характеристики запропонованого лічильника.

Ключові слова: звужуючий пристрій, лічильник стічних вод, похибка вимірювання, стандартна діафрагма

S. I. SHAMANSKYI, S. V. BOICHENKO
National Aviation University, Kyiv

CALCULATION OF METROLOGICAL PERFORMANCE OF A SEWAGE WATER METER WITH THROTTLE DEVICE

There are proposed basic principles of measurement of sewage water amount with new sewage water meter in this paper. The meter is based on a combination of a standard throttle device (standard diaphragm) as a sensor and a calculation device (integrator). Metrological performance of the proposed sewage water meter is also estimated.

Keywords: measurement accuracy, throttle device, sewage water meter, standard diaphragm.

Вступ

Недостатньо очищені стічні води, що скидаються сьогодні системами водовідведення у поверхневі та підземні потоки, є джерелом механічних, хімічних та біологічних забруднень останніх [1]. Важливою передумовою життя заходів з підвищення екологічної безпеки водовідвідних систем є вимірювання витрат стічних вод. Це дає можливість забезпечення більш надійного моніторингу негативних впливів на гідросферу та екологічного навантаження на неї.

Постановка задачі

Методів та приладів вимірювання витрати рідини існує досить багато. Є і такі, що можуть бути застосовані в системах водовідведення [2]. Однак на сьогодні завдання організації обліку стічних вод в цих системах ускладнюється відсутністю простих та надійних лічильників кількості рідини, які здатні з достатнім рівнем точності вимірювати кількість та витрати забруднених рідин [3]. Будь-який лічильник кількості складається з первинного перетворювача (витратоміра) та обчислювача (інтегратора). У цьому контексті серед значного різноманіття витратомірів, що використовуються для визначення витрати та кількості рідких середовищ, важливе місце займають витратоміри змінного перепаду тиску, а саме з використанням стандартних звужуючих пристроїв як первинних перетворювачів [4]. Вони мають такі переваги як: можливість проводити вимірювання витрати будь-яких, у тому числі багатофазних середовищ при будь-яких тисках та температурах; можливість застосування стандартних вторинних приладів з

індивідуальним виготовленням лише звукуючого пристрою; відсутність необхідності повірки цих приладів на зразкових витратомірних установках при застосуванні стандартних звукуючих пристроїв (що є особливо важливим при вимірюванні великих витрат у трубопроводах великих діаметрів). Наявність цих переваг дає можливість застосовувати їх для вимірювання витрат забруднених рідин, у тому числі стічних вод. Одним з найбільш розповсюджених стандартних звукуючих пристроїв на сьогодні є стандартна діафрагма (тонкий диск з отвором меншого діаметру ніж діаметр труби, вісь якого співпадає з віссю труби). Відсутність частин, що рухаються, робить такий витратомір надійним в експлуатації протягом тривалого часу [5, 6]. Але через те, що як вторинні прилади використовують переважно показуючі та реєструючі дифманометри, кількість рідини, що проходить за певний проміжок часу необхідно підраховувати вручну за діаграмами витрати.

У цій статті пропонується модель лічильника кількості стічних вод, що базується на використанні інтегруючого перетворювача як вторинного пристрою у комбінації зі стандартною діафрагмою для обліку кількості пройдені через нього стічної води в автоматичному режимі. В статті розраховано також метрологічні характеристики такого лічильника кількості.

Отримані результати

В запропонованій моделі лічильника вимірювання кількості стічних вод проводиться інтегруючим перетворювачем за величиною витрати, яка визначається первинним перетворювачем. Сам первинний перетворювач складається з діафрагми, корпусу дифкамери, імпульсних трубок, підвідної та відвідної ділянки трубопроводу, дифманометра. Перетворювання виконуються з нормованою відповідно [7] величиною похибки вимірювання параметрів потоку і самого пристрою.

Підвідна та відвідна ділянки трубопроводу виконані із сталевих цільнозварних труб, внутрішня поверхня яких знаходиться в хорошому стані (абсолютна еквівалентна шорсткість стінок знаходиться в інтервалі $k = 0,04 \div 0,1$ мм). Для розрахунків приймаємо більше значення ($k = 0,1$ мм). Діафрагма з гострою крайкою, встановлена в стандартній дифкамері з кутовим (камерним) відбиранням імпульсу тиску, діаметром умовного проходу $D = 50$ мм, діаметр отвору діафрагми $d = 40$ мм.

Модуль діафрагми (відносна площа) m визначається як відношення площі отвору діафрагми до площі поперечного перерізу умовного проходу трубопроводу

$$m = \frac{\pi \cdot d^2}{4} : \frac{\pi \cdot D^2}{4}, \quad (1)$$

$$m = \frac{3,14 \cdot 40^2}{4} : \frac{3,14 \cdot 50^2}{4} = 0,64.$$

В загальному випадку об'ємна витрата рідини при використанні діафрагми з кутовим відбиранням тиску визначається за формулою [2]

$$Q = \alpha_y \cdot \varepsilon \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4} \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho}} \quad [m^3/c], \quad (2)$$

де α_y – коефіцієнт витрати, для діафрагм з кутовим відбором перепаду тиску;

ε – коефіцієнт розширення середовища (якщо рідину розглядати як нестискувану, то $\varepsilon = 1$);

d – діаметр отвору звукуючого пристрою (діафрагми), мм;

ρ – густина вимірюваного середовища (рідини), кг/м³;

ΔP – перепад тиску на діафрагмі, виміряний дифманометром, Па.

При використанні для вимірювання перепаду тисків рідини до та після діафрагми мембранного дифманометра витрата рідини може визначатися за формулою

$$Q_p = 0,01252 \cdot \alpha_y \cdot K_i^2 \cdot d_{20}^2 \sqrt{\frac{\Delta P'}{\rho}}, \quad (3)$$

де K_i – поправковий коефіцієнт, що враховує теплову деформацію матеріалу діафрагми;

d_{20} – діаметр отвору діафрагми при температурі 20 °С, мм;

$\Delta P'$ – номінальний виміряний дифманометром перепад тиску, кг/м².

Середньодобова витрата рідини в цьому випадку визначається за формулою

$$Q_c = 0,24 \cdot C_Q \cdot N_{II} \cdot K_i^2 \cdot k_{re} \cdot K_p, \quad (4)$$

де C_Q – стала витратоміра, яка визначається за формулою $C_Q = 0,01252 \cdot \alpha_y \cdot d_{20}^2 \sqrt{\Delta P'_{np}}$, в якій α_y – коефіцієнт витрати, що визначається при для числа Рейнольдса $Re = 10^6$; $\Delta P'$ – найбільший перепад тиску на звукуючому пристрої, що відповідає максимальній витраті рідини.

N_{II} – планіметричне число, отримане за відрахуваннями пропорційного планіметра;

k_{re} – коефіцієнт корекції витрати на число Рейнольдса;

K_p – коефіцієнт корекції витрати, що залежить від зміни густини рідини.

Для подальших розрахунків похибок вимірювання витрати необхідним є визначення коефіцієнту витрати α_y . Щоб вибрати формулу для визначення цього коефіцієнта для неовної діафрагми з кутовим відбором перепаду тиску та з негострою (притуплюною) вхідною крайкою необхідно перевірити виконання умови ($m \geq 0,13$)

$$\frac{k}{D} \times 10^4 \leq 3,9 + 10^3 \times \exp(-14,2\sqrt{m}). \quad (5)$$

У нашому випадку ліва частина нерівності складає $0,1/50 \times 10^4 = 20$, тоді як права дорівнює $3,9 + 10^3 \times \exp(-14,2\sqrt{0,64}) = 3,912$. Оскільки умова не виконується, необхідним є врахування шорсткості стінок трубопроводу k введенням додаткового коефіцієнта. Оскільки діаметр отвору діафрагми не перевищує 125 мм [7] враховуємо поправковий множник на притуплення гострої вхідної крайки діафрагми. З врахуванням цього коефіцієнт витрати можна розраховувати за формулою

$$\alpha_y = \frac{1}{\sqrt{1-m^2}} \times \left[0,5959 + 0,0312m^{1,05} - 0,184m^4 + 0,0029m^{1,25} \left(10^6 / Re \right)^{0,75} \right] \times K_u \times K_n, \quad (6)$$

де K_u, K_n – поправкові коефіцієнти, що враховують шорсткість стінок труби та притуплення вхідної крайки діафрагми.

За даними [7, додаток 2] добуток коефіцієнтів шорсткості та притуплення вхідної крайки для діафрагм зовнішнім діаметром $D = 50$ мм та $m = 0,64$ складає $K_u \times K_n = 1,0313$.

Як видно з формули, α_y залежить від числа Рейнольдса, тобто від витрати рідини. За рекомендаціями [5, 7] мінімальне значення числа Рейнольдса для діапазону модулів діафрагми $0,59 < m \leq 0,64$ потрібно приймати $Re_{min} = 2 \cdot 10^4$. Максимальне значення в усіх випадках слід приймати $Re_{max} = 10^8$.

Результати розрахунку коефіцієнта витрати для різних чисел Рейнольдса Re і відповідно різних швидкостей руху рідини V та її витрат Q наведено в таблиці 1. Швидкість та витрата розраховані з умови протікання води температурою $20^\circ C$ кінематичною в'язкістю $1,01 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}^2$.

Швидкість розраховано за формулою

$$V = \frac{Re \cdot \nu}{D}, \quad [\text{м/с}], \quad (7)$$

де ν – кінематична в'язкість рідини, $\text{м}^2/\text{с}^2$.

Витрату розраховано за формулою

$$Q = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \times V, \quad [\text{м}^3/\text{с}]. \quad (8)$$

Таблиця 1

Результати розрахунку коефіцієнта витрати для різних чисел Рейнольдса

№ n/n	Re	V, м/с	Q, м ³ /с × 10 ⁻³	α_y
1	2 × 10 ⁴	0,404	0,79325	0,8265
2	3 × 10 ⁴	0,606	1,18988	0,8155
3	5 × 10 ⁴	1,010	1,98313	0,8057
4	105	2,020	3,96626	0,7971
5	106	20,20	39,6626	0,7868

За умови, що температура стічної води, що транспортується, може змінюватися у межах від $5^\circ C$ до $40^\circ C$, а зміна робочого тиску не перевищує 1 МПа, то густина води змінюється від $1000,4 \text{ кг}/\text{м}^3$ до $992,25 \text{ кг}/\text{м}^3$, і коефіцієнт динамічної в'язкості відповідно змінюється від $151,6 \times 10^{-6} \text{ кгс}/\text{см}^2$ до $66 \times 10^{-6} \text{ кгс}/\text{см}^2$.

Для розрахунку похибки вимірювання запропонованим лічильником при використанні його для обліку кількості стічних вод вважаємо, що складові похибки не мають кореляційного зв'язку і є незалежними одна від одної, а закон розподілу складових похибок є нормальним. Максимальну похибку вимірювання приймаємо рівною максимальній похибці однократного вимірювання при довірчій ймовірності 0,95, при цьому $\delta = 2\sigma$.

Середньоквадратичну похибку вимірювання витрати визначаємо відповідно до [7] за формулою

$$\sigma_Q = \left[\sigma_{\alpha_y}^2 + \sigma_{k_{Re}}^2 + 0,25\sigma_{\Delta P}^2 + 0,25\sigma_{\rho}^2 \right]^{1/2}, \quad (9)$$

де $\sigma_{\alpha_y}, \sigma_{k_{Re}}, \sigma_{\Delta P}, \sigma_{\rho}$ – середньоквадратичні відносні похибки відповідних величин: коефіцієнта витрати, коефіцієнта корекції витрати на число Рейнольдса, вимірювання перепаду тиску дифманометром та визначення густини вимірюваної рідини.

В цій формулі замість $\sigma_{\sqrt{\Delta P}}^2$ прийнято $0,25\sigma_{\Delta P}^2$ через те, що похибка вимірювання визначається не від максимальної витрати, а від максимального перепаду тиску [7].

Оскільки модуль діафрагми знаходиться в діапазоні $0,36 < m \leq 0,64$ то середньоквадратичну відносну похибку коефіцієнта витрати визначаємо як для діафрагми з кутовим способом відбору перепаду тиску (без врахування впливу шорсткості стінок труби та притуплення вхідної крайки діафрагми) за формулою

$$\sigma_{\alpha_y} = \left[\left(0,5\sqrt{m} \right)^2 + \sigma_{\alpha_d}^2 + \sigma_{\alpha_D}^2 \right]^{1/2}. \quad (10)$$

де σ_{α_d} та σ_{α_D} – похибки, що виникають через допустимі відхилення діаметрів отвору діафрагми d та трубопроводу D .

Похибку через відхилення діаметра діафрагми визначаємо за формулою

$$\sigma_{\alpha_d} = 2\sigma_d \left(1 + \frac{m^2}{\alpha_y} \right), \quad (11)$$

де σ_d – допустима похибка виготовлення діаметра отвору (для діафрагм $\sigma_d = 0,035$).
Похибку через відхилення діаметра трубопроводу визначаємо за формулою

$$\sigma_{\alpha_D} = 2\sigma_D \frac{m^2}{\alpha_y}, \quad (12)$$

де σ_D – допустима похибка виготовлення діаметра трубопроводу (приймаємо $\sigma_D = 0,15$).

Для врахування впливу шорсткості стінок труби та притуплення вхідної крайки діафрагми вводим у формулу похибки визначення коефіцієнтів шорсткості стінок σ_{K_w} та притуплення крайки діафрагми σ_{K_n} .
З врахуванням цього замінюємо похибку коефіцієнта витрати σ_{α_y} на σ'_{α_y}

$$\sigma'_{\alpha_y} = \left[\sigma_{\alpha_y}^2 + \sigma_{K_w}^2 + \sigma_{K_n}^2 \right]^{1/2}. \quad (13)$$

Для розрахунку σ_{K_w} , а також для вибору формули для розрахунку σ_{K_n} розраховуємо значення параметра t [7]

$$t = \frac{D}{10^3} = \frac{50}{10^3} = 0,05. \quad (14)$$

Похибку коефіцієнта шорсткості стінок розраховуємо за формулою

$$\sigma_{K_w} = 1,67m + (0,081 - t) \times (66,3t^2 - 33,7t + 6,9). \quad (15)$$

$$\sigma_{K_w} = 1,67 \cdot 0,64 + (0,081 - 0,05) \times (66,3 \cdot 0,05^2 - 33,7 \cdot 0,05 + 6,9) = 1,23560.$$

Оскільки параметр $t \leq 0,2$ розраховуємо коефіцієнт притуплення крайки за формулою

$$\sigma_{K_n} = -0,833m + 1,67t^2 - 7,5t + 1,77. \quad (16)$$

$$\sigma_{K_n} = -0,833 \cdot 0,64 + 16,7 \cdot 0,05^2 - 7,5 \cdot 0,05 + 1,77 = 0,90363$$

Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки коефіцієнта витрати для різних чисел Рейнольдса Re наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки коефіцієнта витрати для різних чисел Рейнольдса Re

Re	α_y	σ_{α_d}	σ_{α_D}	σ_{α_y}	σ'_{α_y}
2×10^4	0,8265	0,10469	0,14868	0,43939	1,59258
3×10^4	0,8155	0,10516	0,15068	0,44018	1,59280
5×10^4	0,8057	0,10559	0,15251	0,44092	1,59301
10^5	0,7971	0,10597	0,15416	0,44158	1,59319

Коефіцієнт корекції витрати на число Рейнольдса може бути визначений за формулою

$$k_{Re} = \frac{C + B \left(10^6 / Re \right)^{0,75}}{C + B}, \quad (17)$$

де C та B – коефіцієнти, що визначаються за формулами [7]

$$C = \left(0,5959 + 0,0312 \cdot m^{1,05} - 0,184 \cdot m^4 \right) \frac{1}{\sqrt{1 - m^2}}, \quad (18)$$

$$B = \frac{0,0029 \cdot m^{1,25}}{\sqrt{1 - m^2}}, \quad (19)$$

$$C = \left(0,5959 + 0,0312 \cdot 0,64^{1,05} - 0,184 \cdot 0,64^4 \right) \frac{1}{\sqrt{1 - 0,64^2}} = 0,76077,$$

$$B = \frac{0,0029 \cdot 0,64^{1,25}}{\sqrt{1 - 0,64^2}} = 1,54591 \cdot 10^{-3}$$

Середньоквадратичну відносну похибку коефіцієнта коригування витрати залежно від числа Рейнольдса визначаємо за формулою

$$\sigma_{K_{Re}} = (1 - k_{Re}) \cdot \sigma_{\mu}, \quad (20)$$

де σ_{μ} – похибка визначення в'язкості середовища.

Враховуючи можливу зміну динамічної в'язкості стічної води при зміні її температури та тиску у прийнятих межах, відносна похибка визначення її в'язкості, нормована до мінімального значення складе

$$\sigma_{\mu} = \frac{151,6 \cdot 10^{-6} - 66 \cdot 10^{-6}}{66 \cdot 10^{-6}} = 1,29697.$$

Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки коефіцієнта коригування витрати на число Рейнольдса Re наведено в таблиці 3.

Таблиця 3

Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки коефіцієнта коригування витрати на число Рейнольдса

Re	k_{Re}	$\sigma_{k_{Re}}$
2×10^4	1,03610	-0,04682
3×10^4	1,02610	-0,03385
5×10^4	1,01715	-0,02224
10^5	1,00938	-0,01217

Середньоквадратичну відносну похибку показуючого дифманометра з класом точності встановленим по перепаду тиску визначаємо за формулою

$$\sigma_{\Delta P} = 0,5 \cdot \frac{\Delta P_{PP}}{\Delta P} \cdot S_{\Delta P}, \quad (21)$$

де $S_{\Delta P}$ – клас точності приладу;

ΔP_{PP} – максимальний перепад тиску на діафрагмі.

Перепади тиску визначаємо з формули об'ємної витрати рідини в загальному випадку

$$\Delta P = \frac{Q^2 \cdot 4^2 \cdot \rho}{\alpha_y^2 \cdot \pi^2 \cdot d^4 \cdot 2}, \quad [Па]. \quad (22)$$

У випадку використання дифманометрів «Сапфір 22 ДД» касами точності $S_{\Delta P} = 0,4, 0,25$ та $0,15$ і максимальним перепадом тиску 10 $кПа$. Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки дифманометра наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки дифманометра

Re	ΔP	$\sigma_{\Delta P}$		
		$S_{\Delta P} = 0,4$	$S_{\Delta P} = 0,25$	$S_{\Delta P} = 0,15$
2×10^4	291,15	6,869311	4,29332	2,575992
3×10^4	672,88	2,972298	1,857686	1,114612
5×10^4	1 914,07	1,044894	0,653059	0,391835
10^5	7 825,59	0,255572	0,15973	0,095839

Середньоквадратичну відносну похибку визначення густини рідини визначаємо за табличними значеннями за формулою

$$\sigma_{\rho} = 50 \cdot \frac{\Delta \rho_{ном}}{\rho_{ном}}, \quad (23)$$

де $\Delta \rho_{ном}$ – максимальна абсолютна похибка значення густини рідини, визначеної за таблицями (дорівнює половині одиниці останнього розряду в табличному значенні, $\Delta \rho_{ном} = 0,05$ $кг/м^3$);

$\rho_{ном}$ – номінальне значення рідини (для $20^{\circ}C$ густина води $\rho_{ном} = 998,2$ $кг/м^3$)

$$\sigma_{\rho} = 50 \cdot \frac{0,05}{998,2} = 0,0025.$$

Розрахунок середньоквадратичної похибки вимірювання витрати рідини при використанні дифманометрів з різним класом точності зводимо до таблиці 5.

Таблиця 5

Результати розрахунку середньоквадратичної відносної похибки вимірювання витрати

Re	$Q, м^3/с \times 10^{-3}$	σ'_{α_y}	$\sigma_{k_{Re}}$	$\sigma_{\Delta P}$			σ_{ρ}
				$S_{\Delta P} = 0,4$	$S_{\Delta P} = 0,25$	$S_{\Delta P} = 0,15$	
2×10^4	0,79325	1,59258	-0,04682	6,869311	4,29332	2,575992	0,0025
3×10^4	1,18988	1,59280	-0,03385	2,972298	1,857686	1,114612	0,0025
5×10^4	1,98313	1,59301	-0,02224	1,044894	0,653059	0,391835	0,0025
10^5	3,96626	1,59319	-0,01217	0,255572	0,15973	0,095839	0,0025
2×10^4	0,79325	3,78621	2,67332	2,04876			
3×10^4	1,18988	2,17872	1,84416	1,68782			
5×10^4	1,98313	1,67664	1,62628	1,60517			
10^5	3,96626	1,59835	1,59524	1,59396			

Вид обчислювального перетворення визначається необхідною точністю вимірювання. Процес вимірювання витрати рідини здійснюється з порівняно невисокими вимогами до точності. За таких умов це перетворення може реалізовуватися за формулою

$$Q = \sum_{i=1}^n K_i \sqrt{\Delta P_i / \rho} \quad (24)$$

де K – постійний коефіцієнт, який визначається за формулою

$$K = 0,01252 \cdot \alpha'_y \cdot K'_i \cdot d_{20}^2 \quad (25)$$

Структурна схема обчислювального перетворювача представлена на рис. 1.

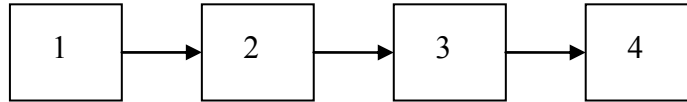


Рис. 1 Структурна схема обчислювача: 1 – Масштабний перетворювач; 2 – Функціональний перетворювач; 3 – Суматор; 4 – Індикатор.

Величина сумарної відносної похибки перетворення такого перетворювача визначається середньоквадратичним відхиленням результатів операцій, що виконуються його окремими елементами.

Як масштабний перетворювач може використовуватися недорогий прецизійний попередній підсилювач постійного струму з диференційними виходами, побудований на інтегральній мікросхемі, наприклад К140УД13, у якого відповідно до технічних умов (ТУ 11-БКО.348.095-07У85) середньоквадратичне відхилення вихідного сигналу не перевищує $\sigma_{МП} = 0,0025\%$.

Відносна похибка функціонального перетворення, сумачі та індикації даних може бути представлена формулою

$$\sigma_\phi = \sqrt{\sigma_{АЦП}^2 + \sigma_{ОП}^2 + \sigma_{ИД}^2} \quad (26)$$

де $\sigma_{АЦП}$ – середньоквадратична похибка аналого-цифрового перетворення (для перетворювачів, що серійно випускаються така похибка знаходиться у межах 0,1 – 0,5 %);

$\sigma_{ОП}$ – середньоквадратична похибка обчислювального перетворення, яка визначається похибкою квантування та числом операцій (при використанні десятирозрядної шини даних після виконання ста обчислювальних операцій, що є абсолютно достатнім для обчислення миттєвої об’ємної витрати, величина похибки не перевищує 0,001 %);

$\sigma_{ИД}$ – середньоквадратична похибка індикації даних (при цифровій індикації похибка відсутня, тобто $\sigma_{ИД} = 0$).

Отже похибка функціонального перетворення складе

$$\sigma_\phi = \sqrt{0,5^2 + 0,001^2 + 0^2} = 0,5.$$

Результуюча похибка обчислювача з врахуванням похибки масштабного перетворювача складе

$$\sigma_{ОБ} = \sqrt{\sigma_{МП}^2 + \sigma_\phi^2} = \sqrt{0,5^2 + 0,0025^2} = 0,5.$$

Розрахунок результуючої похибки вимірювання $\sigma_{ВИМ}$ кількості рідини при різних витратах та з використанням дифманометрів різного класу точності наведено в таблиці 6.

Таблиця 6

Результати розрахунку результуючої відносної похибки вимірювання кількості рідини

$Q, \text{ м}^3/\text{с} \times 10^{-3}$	σ_Q			$\sigma_{ОБ}$	$\sigma_{ВИМ}$		
	$S_{\Delta P}=0,4$	$S_{\Delta P}=0,25$	$S_{\Delta P}=0,15$		$S_{\Delta P}=0,4$	$S_{\Delta P}=0,25$	$S_{\Delta P}=0,15$
0,79325	3,78621	2,67332	2,04876	0,5	3,819	2,719	2,109
1,18988	2,17872	1,84416	1,68782	0,5	2,235	1,911	1,760
1,98313	1,67664	1,62628	1,60517	0,5	1,749	1,701	1,681
3,96626	1,59835	1,59524	1,59396	0,5	1,675	1,672	1,671

Висновки

Використання запропонованої моделі лічильника кількості рідини дозволяє вимірювати кількості стічних вод з досить невеликою похибкою. При використанні на трубопроводах $D = 50 \text{ мм}$ діафрагми з отвором $d = 40 \text{ мм}$ та дифманометра з класом точності 0,4 в робочому діапазоні похибка вимірювання знаходиться в межах 1,7 – 2,3 %, в перехідному діапазоні витрат похибка знаходиться у межах 4%. При використанні дифманометра з класом точності 0,25 похибка робочого діапазону не перевищує 2%, а перехідного діапазону знаходиться у межах 3%. Використання дифманометрів з класом точності 0,15 очевидно не є доцільним, оскільки суттєво не зменшує похибку вимірювання.

Література

1. Кравченко В. С. Водопостачання та каналізація: Підручник. – К.: Кондор. – 2003. – 288 с.

2. Шафрановский М. Н., Озеров А. В. Средства учета в системах канализации. Три метода измерения расхода сточных вод // Водоснабжение и санитарная техника, № 4, 1999 – С. 28-29.
3. Большаков В. Б., Косач Н. И. Стан та перспективи розвитку метрологічного забезпечення вимірювань витрати рідини // Проблеми обліку теплоти та води в Україні. Матеріали III ювілейної міжнародної науково-практичної конференції присвяченої 100-річчю УкрЦСМ – заснуванню метрологічної служби в м. Києві: 4-6 червня 2002 р.: тези доп., Київ. – 2002. – С. 38-48.
4. Шаманський С. Й. Облік стічних вод витратомірами змінного перепаду тиску // Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Міжнародна науково-практична конференція: 29-30 листопада 2012 р.: тези доп., Львів. – 2012. – С. 280–281.
5. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение, 1975. – 776 с.
6. Пистун Е. П., Лесовой Л. В. Уточнение коэффициента истечения стандартных диафрагм расходомеров переменного перепада давления // Датчики и системы. – 2005. – №5 – С. 14-16.
7. РД 50-213-80 Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. М.: «Издательство стандартов», 1985. – 319 с.

References

1. Kravchenko V. S. Vodopostachannya ta kanalizacija: Textbook. – K.: Kondor. – 2003. – 288 p.
2. Shafranovskiy M. N., Ozerov A. V. Sredstva ucheta v sistemah kanalizacii. Tri metoda izmerenija raschoda stochnyh vod // Vodospabzhenije i sanitarnaja tehnika, № 4, 1999 – P. 28-29.
3. Bolshakov V. B., Kosach N. I. Stan ta perspektyvy rozvytku metrologichnogo zabezpechennja vymirjuvan vytraty ridyny // Problemy obliku teploty ta vody v Ukraini. Materials of the 3-d International Theoretical and Practical conference dedicated to 100-th anniversary UkrCSM – foundation of metrological service in Kiev: 4-6 of June 2002: proceedings, Kiev. – 2002. – P. 38–48.
4. Shamanskyi S. I. Oblik stichnyh vod vytratomiramy zminnogo perepadu tysku // Ecologichna bezpeka jak osnova stalogo rozvytku suspilstva. International theoretical and practical conference: 29-30 of November 2012: proceedings, Lviv. – 2012. – P. 280–281.
5. Kremlevskiy P. P. Raschodomery i schetchiki kolichestva. L.: Mashinostroenie, 1975. – 776 p.
6. Pistun E. P., Lesovoi L. V. Utochnenije koefficienta istechenija standartnyh diafragm rashodomerov peremennogo perepada davlenija // Datchiki i sistemy. – 2005. – №5 – P. 14-16.
7. RD 50-213-80 Pravila izmerenija raschoda gazov i zhidkostej standartnymi suzhajushchimi ustroystvami. M.: «Izdatelstvo standartov», 1985. – 319 p.

Рецензія/Peer review : 6.1.2015 р. Надрукована/Printed :24.1.2015 р.
Стаття рецензована редакційною колегією

УДК 621.9.08: УДК 658.52

А.И. ШВАЧКА, Е.В. ЧЕРНЕЦКИЙ, О.Ю. ОЛЕЙНИК

ДВНЗ «Украинский государственный химико-технологический Университет», г Днепропетровск

ОЦЕНКА ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ ВНЕШНИХ ТЕПЛОВЫХ ПОТЕРЬ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ В СОСТАВЕ АСУ ТП

Исследовано влияние методов измерения внешних тепловых потерь в системе водяного охлаждения доменной печи на точность получаемых значений. Выполнена оценка доверительных границ результатов измерения тепловых потерь в системе водяного охлаждения доменной печи. Проведен анализ различных методов измерения тепловых потерь и разработаны рекомендации для повышения точности измерений.

Ключевые слова: погрешность измерения, точность измерения, тепловые потери, информационно-измерительные системы, расхода хладагента

A.I. SHVACHKA, E.V. CHERNECKIY, O.JU. OLEINIK
Ukrainian state University of chemical technology", the city of Dnepropetrovsk

ASSESSMENT OF MEASUREMENT ERROR OF EXTERNAL THERMAL LOSSES WITH THE USE OF AUTOMATED PROCESS CONTROL SYSTEM

The influence of methods of measuring external heat losses in the system water-cooled blast furnace on the accuracy of the obtained values. To estimate the confidence limits of results of measurements of the heat loss in the cooling system of the blast furnace. The analysis of different methods of measuring thermal losses and developed recommendations to improve the measurement accuracy.

Keywords: measurement error, measurement accuracy, heat loss, information-measuring system, refrigerant flow

Введение

Эффективное управление невозможно без надежной информации о текущих и будущих условиях, о внутреннем состоянии системы [1]. Никакие самые точные модели и алгоритмы управления не смогут обеспечить успех без надежных исходных данных. Поэтому, важно оценить качество исходной информации, используемой для управления, объективную возможность и технологическую целесообразность его повышения и последствия, вызываемые неточностью исходной информации.

Академик А.С. Некрасов отмечает [2], что переработка информации, необходимая для принятия решения, отстает от темпов производственного процесса, поэтому отмечен разрыв между производством и управлением. При создании информационной системы управления энергетическим хозяйством необходима стандартная форма документов, методов их обработки а также следует руководствоваться основными принципами рационализации: минимум первичной информации; максимум производной вторичной