

# КОНТРОЛЬ ЯКОСТІ, ІНФОРМАЦІЙНІ І ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 621.383

А. Р. Завербний, Р. М. Шеремета, Ю. В. Кодра  
Національний університет “Львівська політехніка”

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПНЕВМАТИЧНОЇ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ КЕРАМІЧНИХ СОПЕЛ РОЗПИЛЮВАЧІВ

© Завербний А. Р., Шеремета Р. М., Кодра Ю. В., 2019

Керамічні сопла застосовують у різних типах розпилювачів рідин і суспензій, зокрема у технологічному обладнанні для нанесення покриттів, у сільськогосподарських машинах для внесення рідких мінеральних добрив і отрутохімікатів.

Керамічні сопла виготовляють методом лиття із шлікера із подальшим спіканням.

При спіканні відбувається усадка виробу до 20 %. У зв'язку із цим виникає необхідність у контролі параметрів виробу, зокрема геометричних і у даному випадку – контроль витрат рідини через отвір сопла.

Наведено порівняльну характеристику прямих та непрямих методів контролю витрат рідини через сопла розпилювачів з погляду точності вимірювання витрат і можливості автоматизації процесу контролю. Найприйнятнішими за точністю, яка забезпечується, і можливості автоматизації є методи ротаметричного і манометричного контролю як по воді, так і по повітрю.

Запропоновано пневматичний манометричний метод контролю витрат рідини через сопла розпилювачів, що забезпечує можливість автоматизації процесу за мінімальних затрат часу і високої продуктивності контролю. Цей метод значною мірою відповідає економічним і екологічним вимогам.

Для досліджень вибрано диференціальну пневмовимірвальну систему, за якою менша відносна похибка вимірювання і яка дає можливість використання багатограничних пневмоелектроконтактних перетворювачів, які повністю відповідають вимогам поставленої задачі – автоматизації процесу контролю і сортування сопел.

У результаті проведених досліджень рекомендовано оптимальне значення робочого тиску пневмовимірвальної системи, який становить 0,15 мПа. Діаметри вхідних дроселів пневмоелектроконтактних перетворювачів визначали за умовою отримання максимальної крутизни статичної характеристики пневмовимірвальної системи.

Визначено значення діаметрів вхідних дроселів пневмоелектроконтактних перетворювачів, що застосовуються у пневмовимірвальних манометричних системах автоматичного контролю сопел розпилювачів, а також передавальні відношення цих систем. Рекомендовано значення діаметрів вхідних дроселів для різних типорозмірів сопел.

Ключові слова: розпилювачі рідини, керамічне сопло, пневматичний контроль витрат, манометрична система, дросель, пневмоелектроконтактний перетворювач.

Ceramic nozzles are used in various types of dispensers of liquids and suspensions, in particular in technological coating equipment, in agricultural machines for the introduction of liquid mineral fertilizers and pesticides.

Ceramic nozzles are made by casting from a slicer with subsequent sintering.

During the sintering, the shrinkage of the product is up to 20 %. In this connection, it is necessary to control the parameters of the product, in particular geometric and in this case-control of the flow of liquid through the nozzle hole.

The comparative characteristic of direct and indirect methods of control of liquid flow through nozzles of sprayers is given in terms of accuracy of measurement of expenses and possibilities of automation of control process. The most acceptable by accuracy which is provided and automation capabilities are the methods of rota-metric and manometric control both in water and air.

The pneumatic manometric method of controlling liquid flow through the nozzle sprayers is proposed, providing the possibility of automation of the process with minimal time and high control efficiency. This method is largely consistent with economic and environmental requirements.

For conducting research, a differential pneumatic measuring system was selected, in which is a smaller relative error of measurement and which allows to use of multi-boundary pneumatic-electrical contactors, which fully meet the requirements of the task - automation of the process of control and sorting of nozzles.

As a result of the conducted researches, the optimal value of the working pressure of the pneumatic measuring system, which is 0.15 mPa, is recommended. The diameters of the input chokes of the pneumoelectrocontact converters were determined from the condition of obtaining the maximum steepness of the static characteristics of the pneumatic measuring system.

The value of the diameters of the input throttles of the pneumatic electric contact transducers, used in the pneumatic measuring manometric systems for the automatic control of sprayer's nozzles, and the transmission ratios of these systems are determined. The value of the diameters of the input chokes for different sizes of nozzles are recommended.

**Key words:** liquid sprayers, nozzle, pneumatic control of charges, manometric system, throttle, pneumatic contact transducer.

**Постановка проблеми.** Керамічні сопла (рис. 1) застосовують у різних типах розпилювачів рідин і суспензій, зокрема у технологічному обладнанні для нанесення покриттів (наприклад, ізоляційних, декоративних, емісійних тощо), у сільськогосподарських машинах для внесення рідких мінеральних добрив і отрутохімікатів.

Керамічні сопла порівнянно із соплами, що виготовляють із металічних і полімерних матеріалів, мають значно більший термін експлуатації.

Керамічні сопла виготовляють методом лиття із шлікера із подальшим спіканням. Шлікер являє собою суміш керамічного порошку, замішаного на восково-парафіновому зв'язуючому, нагрітому до 90 °С. Після формування виробу спочатку випалюють зв'язуюче при температурі 300 °С, а потім кераміку спікають при температурі 1400...1600 °С.

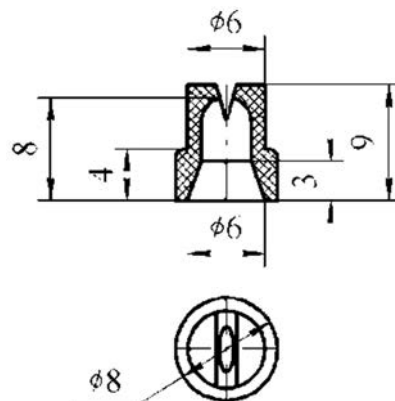


Рис. 1. Ескіз сопла розпилювача

При спіканні відбувається усадка виробу до 20 %. У зв'язку із цим виникає необхідність у контролі параметрів виробу, зокрема геометричних і у даному випадку – контроль витрат рідини через щілину сопла.

**Аналіз публікацій** показав, що із можливих методів контролю витрат щілинних сопел слід виділити прямий і групу непрямих. Прямий метод контролю витрат полягає у безпосередньому оцінюванні кількості рідини, яка протікає через контрольоване сопло за одиницю часу. Виміривши кількість пролітої рідини, можна визначити витрати. Вказаний метод дозволяє найбільш точно і об'єктивно виміряти величину витрат сопла. Поряд з високою точністю згаданий метод практично не піддається автоматизації, а в ручному виконанні є трудомістким, вкрай непродуктивним і не може бути рекомендований до застосування в умовах масового і багатосерійного виробництва.

Непрямі методи контролю основані на вимірюванні непрямих витрат з використанням манометричних і ротаметричних систем. Вони поступаються прямому методу за точністю, але значно легше піддаються автоматизації.

Найбільш прийнятним за забезпеченням точності і можливості автоматизації є манометричний метод контролю витрат як по воді, так і по повітрю.

**Метою роботи** є визначення діаметрів вхідних дроселів пневмоелектроконтактних перетворювачів, що застосовуються у пневмовимірювальних манометричних системах автоматичного контролю сопел розпилювачів

**Виклад основного матеріалу.** На рис. 2 наведено схему пневмовимірювальної системи манометричного типу. Стиснене повітря через фільтр-вологівідділювач 1 стабілізатор 2 тиску повітря і вхідний дросель 3 надходить у вимірювальну камеру 4, із якої через контрольоване сопло 9 виходить в атмосферу.

Залежно від величини прохідного перерізу контрольованого сопла в камері 4 встановлюється певний тиск, який називається вимірювальним. За постійних значень робочого тиску (тиск перед вхідним дроселем) і площі прохідного перерізу вхідного дроселя вимірювальний тиск, який визначається манометром 5, є мірою прохідного перерізу контрольованого сопла. За відомої залежності витрат від площі перерізу контрольованого сопла вимірювальний тиск є мірою витрат повітря. За наявності каліброваних сопел із відомими витратами по воді можна перевести витрати води у відповідні витрати повітря.

Обмежувальним фактором є і те, що за широкого діапазона і непостійної форми перерізу контрольованого сопла коефіцієнт витрат, ймовірно, не буде постійною величиною.

Тому чітко визначити залежність тиску у вимірювальній камері від геометричних розмірів сопла (площі прохідного перетину) дещо складно.

Статичну характеристику пневмовимірювальної системи манометричного типу графічно зображено на рис. 2, б. Крутизна кривої (тангенс кута нахилу) характеризує передавальне відношення або чутливість пневмовимірювальної системи:

$$i = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta p}{\Delta F} = \frac{p_{e2} - p_{e1}}{F_{\max} - F_{\min}}, \quad (1)$$

де  $F_{\max}$  і  $F_{\min}$  – площі прохідного перетину сопел із діаметрами, відповідно,  $d_{\max}$  і  $d_{\min}$ .

У пневмовимірюваннях використовують як звичайні манометричні (рис. 1. 3), так і диференціальні системи. Звичайні системи простіші за конструкцією, однак вони мають низку недоліків.

Відносну похибку, спричинену коливаннями робочого тиску (похибкою стабілізатора), визначають за виразом:

$$|e| = \frac{dp_e}{dp_e} = \frac{dp_p}{p_p} \cdot \frac{p_e}{dp_e}, \quad (2)$$

де  $|e|$  – відносна похибка;  $dp_p$  – похибка вимірювального тиску;  $dp_e$  – границя вимірювання, виражена в одиницях тиску;  $\delta p_p$  – похибка робочого тиску.

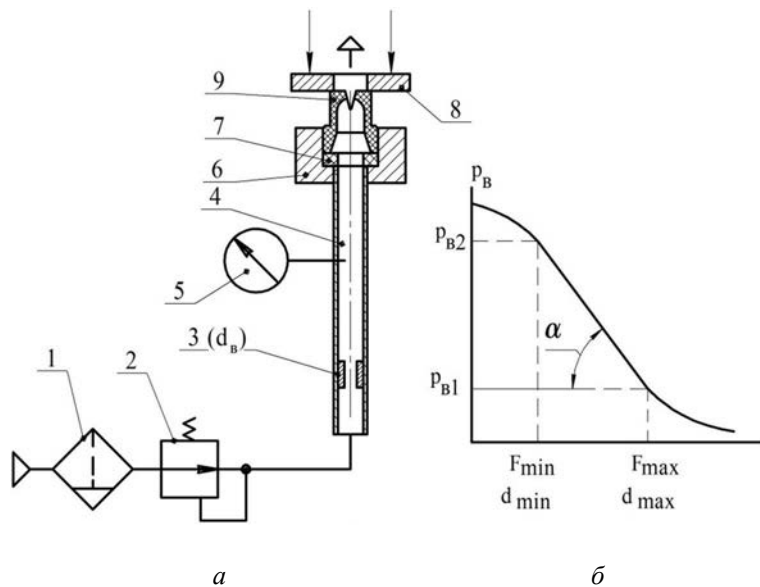


Рис. 2. Принципова схема пневмовиміральної системи:  
 а – манометричного типу та б – її статична характеристика:  
 1 – фільтр-вогровідділювач; 2 – стабілізатор тиску; 3 – вхідний дросель;  
 4 – вимірвальна камера; 5 – манометр; 6 – оснастка; 7 – ущільнювач;  
 8 – притискач; 9 – сопло (об'єкт контролю).

Для диференціальної системи контролю

$$|e|_g = \frac{dp_p}{p} \cdot \frac{\Delta p_g}{dp_g} \quad (3)$$

Після порівняння виразів (2) і (3), за інших однакових умов, випливає, що відносна похибка диференціальної схеми, яка виникає від коливань робочого руху, значно менша від похибки недиференціальної схеми. Крім цього, в диференціальних схемах можна використати багатограничні пневмоелектроконтактні перетворювачі, які повністю відповідають вимогам поставленої задачі – автоматизації процесу контролю витратних параметрів і сортування сопел.

Передавальне відношення пневмовиміральної системи у всіх випадках прямо пропорційне величині робочого тиску, тому перевагу слід віддати системі високого тиску. Із рекомендованих значень високого тиску слід вибрати тиск 0,15–0,2 МПа.

Контрольоване сопло має складний контур прохідного перерізу – це просторова крива – лінія перерізу сфери із плоским клином. Якщо площу його прохідного перерізу наближено можна визначити, то коефіцієнт втрат залишається невідомим. Визначити його значення експериментально, враховуючи широкий діапазон розмірів і форм, недоцільно через значну трудомісткість.

Тому діаметри  $d_v$  вхідних дроселів для всіх чотирьох типорозмірів контрольованих сопел доцільно визначити безпосередньо експериментальним шляхом за умови отримання максимальної крутизни статичної характеристики пневматичної системи.

Для визначення діаметрів вхідних дроселів використано лабораторну установку за типовою схемою диференційної пневмовиміральної системи манометричного типу (рис. 3). З метою наближення роботи системи до реальних умов (в автоматичному режимі) установка змонтована на базі диференційного сифонного пневмоелектроконтактного перетворювача моделі 324-5.

Для визначення вимірального тиску використано вірцевий манометр моделі 11202 з умовною шкалою класу точності 1,6.

Для підготовки стисненого повітря використовується блок фільтра зі стабілізатором тиску повітря моделі 337, тип ФСВ6, налаштований на робочий тиск (тиск на виході), що дорівнює 0,15 МПа.

Вихідним матеріалом для задавання витрат повітря через систему були спеціально підібрані і прокалібровані по воді сопла, параметри яких за витратами перекривали сумарний діапазон витрат за всіма розмірними групами.

Першим етапом є балансування перетворювача при діаметрі входних сопел 0,5 мм (воно виконується кожного разу при зміні входних дрeselів).

Для цього на вимірювальну позицію встановлювали сопло 9 із прохідним перерізом, який відповідає номінальним витратам 1-го типорозміру, герметизували контакт основи сопла з пневмопроводом (поз. 7 і 8) і здійснювали його продування. Дроселем протитиску зрівнювали тиск в обох лініях перетворювача – стрілку приладу 2 встановлювали на нульову поділку шкали.

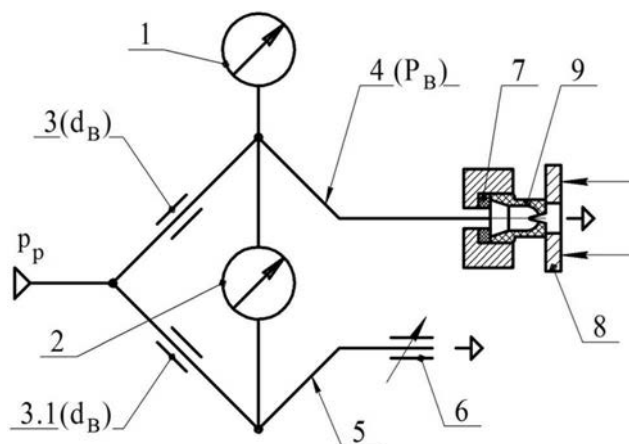


Рис. 3. Розрахункова схема пневмовимірювальної системи манометричного типу:

1 – манометр вірцевий; 2 – шкала перетворювача; 3 і 3.1 – входні дреселі;

4 – вимірювальна камера; 5 – камера протитиску; 6 – дресель протитиску;

7 – ущільнювач; 8 – притискач; 9 – сопло (об'єкт контролю)

Потім продувались відібрані калібровані сопла всіх розмірних груп і фіксувався тиск у вимірювальній камері. Оскільки значення вимірювального тиску використовували для порівняльного аналізу, його фіксували в одиницях шкали зразка манометра (од. МО). 1 од. МО = 0,65 кПа.

Потім змінювали входні дреселі (в експерименті використовували сопла діаметром 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 1,0; 1,1; 1,24; 1,3; 1,5) і повторювались описані вище операції з соплами 2-го, 3-го, 4-го типорозміру з фіксацією тиску у вимірювальній камері. Отримані результати дозволили побудувати графічну залежність вимірювального тиску повітря від витрат води через сопла (рис. 4).

Рекомендовані значення діаметрів входних дрeselів для кожного типорозміру контрольованих сопел приведені в табл. 1.

Таблиця 1

#### Рекомендовані значення діаметрів входних дрeselів для перетворювачів.

Типорозмір	Витрати по воді л/хв.			Діаметр входного дреселя, мм	Порівнювана чутливість $\frac{\Delta p}{\Delta Q}$ , кПа / $\frac{\text{дм}^3}{\text{хв}}$
	Мін.	Ном.	Макс.		
1	0,53	0,63	0,72	0,6	45
2	0,85	1,00	1,15	0,7	35
3	1,36	1,60	1,84	1,0	28
4	2,12	2,50	2,88	1,3	20

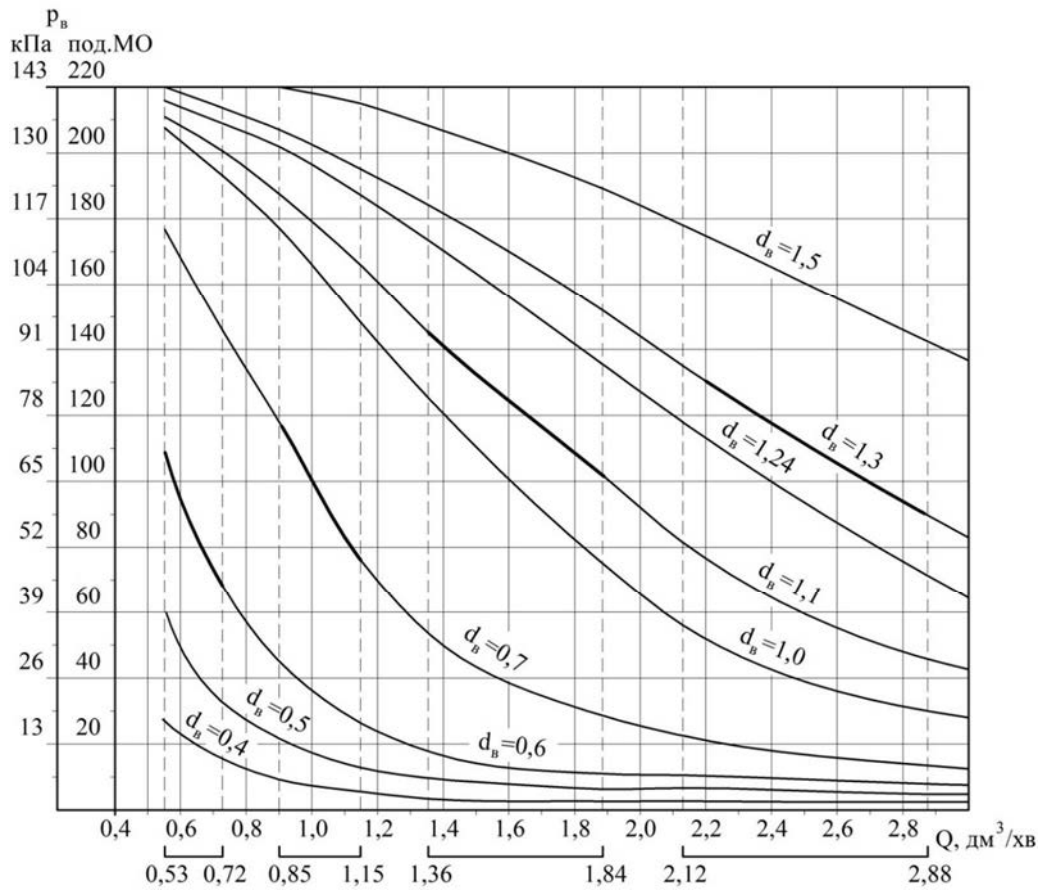


Рис. 4. Залежність вимірювального тиску  $p_g$  повітря від витрат  $Q$  води через сопла за різних значень діаметрів  $d_0$  вхідних дроселів

Залежності передавального відношення системи від діаметра вхідного дроселя наведено на рис. 5.

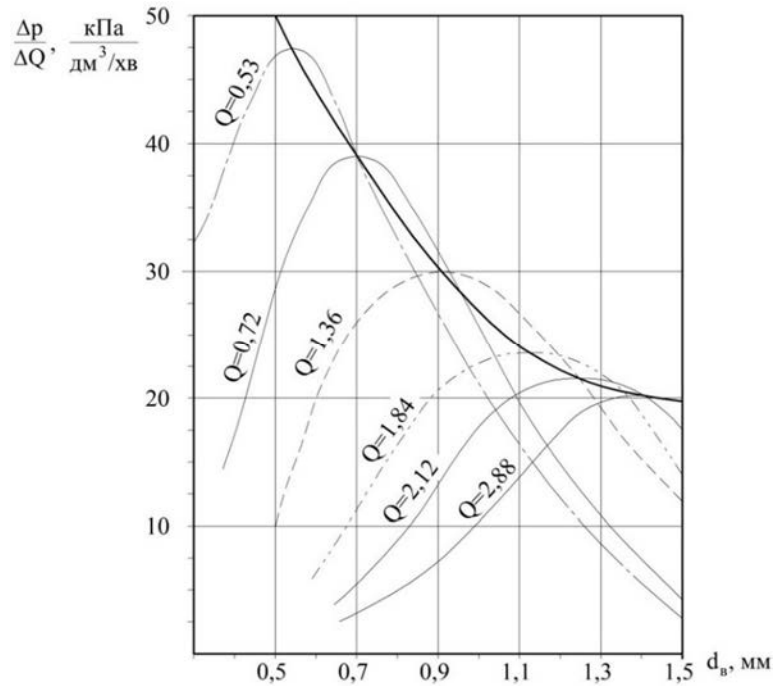


Рис. 5. Залежність передавального відношення  $\Delta p/\Delta Q$  від діаметра  $d_0$  вхідного дроселя пневматичної вимірювальної системи

## Висновки

Із огляду і аналізу методів контролю випливає:

– найточнішими є методи безпосереднього контролю витрат рідини за умови, що підтримується постійним тиск рідини до сопла, час контролю, забезпечується необхідна герметичність і достовірність збирання пролітої рідини. Важливе значення в цьому випадку має і суб'єктивний фактор, як при контролі стабільності параметрів, так і при визначенні кількості пролітої через сопло рідини. Однак ці методи важко піддаються автоматизації;

– найбільш прийнятними щодо забезпечення точності контролю і можливості автоматизації є методи ротаметричного і манометричного контролю як по воді, так і по повітрю;

– перевагу слід віддати пневматичній манометричній системі контролю, яка забезпечує необхідну точність, порівняно просто автоматизується і значною мірою відповідає економічним і екологічним вимогам.

У результаті проведених експериментальних досліджень визначено оптимальні значення діаметрів вхідних дроселів для пневмопереворювачів у пневмовимірювальних манометричних системах автоматичного контролю сопел розпилювачів, а також визначено передавальні відношення цих систем. Рекомендовано до застосування оптимальні значення діаметрів вхідних дроселів для відповідних типорозмірів сопел.

1. Кодра Ю. В., Стоцько З. А. *Контрольно-вимірювальні пристрої технологічних машин: навч. посібник / за ред. З. А. Стоцька.* – Львів: Видавництво Національного університету “Львівська політехніка”, 2008. – 312 с. 2. Безвесільна О. М. та ін. *Методи вимірювання витрат рідини та конструкції витратомірів // Вісник інженерної академії України “Стандартизація, метрологія і сертифікація”.* – № 3–4. – 2013. – С. 216–222 3. Бабіченко А. К. *Промислові засоби автоматизації. Ч. 1 [Текст] : / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов, В. І. Молчанов, М. О. Подустов, О. В. Пугановський, В. І. Вельма.* – Харків : НТУ “ХПІ”, 2003. – 470 с. 4. Бабіченко А. К. *Промислові засоби автоматизації. Ч. 2 [Текст] / А. К. Бабіченко, В. І. Тошинський, В. С. Михайлов, В. І. Молчанов, М. О. Подустов, О. В. Пугановський, В. І. Вельма.* – Харків : НТУ “ХПІ”, 20013. – 658 с. 5. А. с. № 1482634, СССР. *Устройство для контроля работы распылителей опрыскивателя.* / Абубикеров В. А. и др. // *Открытия, изобретения.* – № 20. 1989. – 3 с. 6. А. С. № 1747888, СССР, *Пневматический прибор для безконтактного измерения линейных размеров.* / Ю. В. Кодра, З. А. Стоцько, А. Р. Завербный, М. В. Крупа // *Открытия, изобретения.* – № 26. – 1992. – С. 3. 7. Волосов С. С., Педь Е. И., *Приборы для автоматического контроля в машиностроении. М. Машиностроение, 1970, стр. 310.* 8. Головка Д. Б. та ін. *Основи метрології та вимірювань / Головка Д. Б., Рего К. Г., Скрипник Ю. О. Київ “Либідь”, 2001 – 408 с.* 9. Гребень Ю. И. и др. *Активный пневматический контроль толщины покрытий. Автоматизация производственных процессов в приборостроении и машиностроении. // Научно-технический сборник Львовского политехнического института.* – 1973. – Вып. 13. – С. 148–151. 10. *Преобразователь пневмоэлектроконтактный. Модель 324-5. Тип. з-да “Калибр”, 1986. – 44 с.* 11. ДСТУ 3215-95. *Метрологія. Метрологічна атестація вимірювальної техніки. Організація та порядок проведення.* – К.: Держстандарт України, 1995. 12. Безвесільна О.М. та ін. *Технологічні вимірювання та прилади. Перетворюючі пристрої приладів.* – Житомир: ЖДТУ, 2012. – 812 с.