

Передбачуваний винахід належить до вимірювальної техніки і може бути використаний для атестації, градування і повірки витратомірів, що працюють в умовах турбулентного потоку рідин і газів.

Відомий спосіб визначення витрати рідини в трубопроводі великого діаметра (Патент РФ №2018786, кл. G01F1/34, БВ №16, 1994), що включає виміри перепадів тиску на ділянці трубопроводу, що містить відвідну лінію, за точкою приєднання відвідної лінії, послідовно при відкритій і закритій відвідній лінії, вимір витрати - Q у відвідній лінії і визначення витрати в трубопроводі великого діаметра за формулою

$$Q = \frac{Q_2}{1 - \sqrt{\lambda / \lambda_1 \cdot \Delta h_1 / \Delta h}},$$

де  $\lambda$ ,  $\lambda_1$  - коефіцієнти гідравлічного опору ділянки трубопроводу відповідно із закритою і відкритою відвідною лінією;

$\Delta h$ ,  $\Delta h_1$  - перепади тисків, що вимірюються відповідно при закритій і відкритій відвідній лінії.

Даний спосіб визначення витрати рідини в трубопроводі великого діаметра також, як і спосіб градування витратомірів, що заявляється, призначений для визначення витрати середовища в трубопроводі, що відрізняється за діаметром від трубопроводу, на який розрахований витратомір, і включає вимір витрати середовища. Однак відсутність подачі регульованого по витраті потоку середовища, витрата якого вимірюється, через послідовно встановлені в еталонному трубопроводі контрольний витратомір і витратомір, що градується, і зразкову установку подачі робочого середовища, фіксації показань контрольного витратоміра і відповідних їм показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, при кожнім з "n" стабільних значень витрати середовища з діапазону виміру витратоміра, що градується, визначення коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища, витрата якого вимірюється, і положень датчика витратоміра, що градується, в еталонному і робочому трубопроводах щодо їхніх внутрішніх стінок, обчислення для кожного з зафіксованих показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, витрати середовища в робочому трубопроводі по приведених формулах не дозволяє побудувати градувальну характеристику для використання витратоміра в трубопроводах, що відрізняються за діаметром від того, на який він розрахований без перерахування, виготовлення, установки і градування нової відвідної лінії.

Відомий спосіб градування первинних перетворювачів витрати типу "напірна трубка, що осереднює" (А.с. СРСР №1425456, кл. G01F25/00, БВ №35, 1988), що полягає у визначенні градувального коефіцієнта за результатами виміру швидкості потоку в дискретних точках і величини перепаду тиску в трубці, при цьому швидкість потоку вимірюють у місцях розташування отворів відбору тиску в напірній трубці, що осереднює, потім формують співвідношення з цими отворами вільні струмені зі швидкостями, рівними, тим, що вимірювалися, після чого вимірюють перепад тиску в трубці і розраховують градуваний коефіцієнт.

Даний спосіб градування первинних перетворювачів витрати типу "напірна трубка, що осереднює" також, як і спосіб градування витратомірів, що заявляється, призначений для визначення витрати середовища в трубопроводі, що відрізняється за діаметром від трубопроводу, на який розрахований витратомір, і включає вимір швидкості потоку середовища. Однак відсутність подачі регульованого по витраті потоку середовища, витрата якого вимірюється, через послідовно встановлені в еталонному трубопроводі контрольний витратомір і витратоміри, що градується, фіксації показань контрольного витратоміра і відповідних їм показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, при кожнім з "n" стабільних значень витрати середовища з діапазону виміру витратоміра, що градується, визначення коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища, витрата якого вимірюється, і положень датчика витратоміра, що градується, в еталонному і робочому трубопроводах щодо їхніх внутрішніх стінок, обчислення для кожного з зафіксованих показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, витрати середовища в робочому трубопроводі по наведеній формулі веде до підвищеної трудомісткості відомого способу і не дозволяє побудувати градувальну характеристику для використання відомого витратоміра в трубопроводах, що відрізняються за діаметром від того, на який він розрахований.

Найбільш близьким за технічною сутністю є спосіб градування лічильника рідини і газу (Патент РФ №2010185, кл. G01F25/00, БВ №5, 1994), що полягає в подачі потоку робочого середовища через послідовно з'єднані лічильник, що повіряється, контрольний лічильник і зразкову трубопоршньову установку і зворотні показань шкали контрольного лічильника і зразкової трубопоршньової установки і шкал лічильника, що повіряється, з контрольним, при цьому попередньо подають потоки еталонних середовищ з різними фізичними характеристиками в повному діапазоні шкали контрольного лічильника, звіряють показання цієї шкали зі шкалою зразкової трубопоршньової установки і фіксують сімейство градувальних характеристик контрольного лічильника, подачу робочого середовища через послідовно з'єднані лічильник, що повіряється, контрольний лічильник і зразкову трубопоршньову установку роблять у вузькому діапазоні шкали контрольного лічильника і визначають поточні значення коефіцієнтів лічильника, що повіряється, і контрольного лічильника і встановлюють відповідність останнього градувальній характеристиці з фіксованого сімейства, а дослідження лічильника, що повіряється, у повному діапазоні його шкали роблять при подачі потоку робочого середовища по обвідній лінії зразкової трубопоршньової установки.

Даний спосіб градування лічильника рідини і газу також, як і спосіб градування витратомірів, що заявляється, включає подачу регульованого по витраті потоку середовища, витрата якого вимірюється, через послідовно встановлені в еталонному трубопроводі контрольний витратомір і витратоміри, що градується, і зразкову установку подачі робочого середовища, фіксацію показань контрольного витратоміра і відповідних показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, при кожнім з "n" стабільних значень витрати середовища з діапазону виміру витратоміра, що градується, і побудову градувальної характеристики витратоміра, що градується. Однак відсутність визначення коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища, витрата якого вимірюється, і положення датчика витратоміра, що градується, в еталонному і робочому трубопроводах щодо їхніх внутрішніх стінок, обчислення для кожного із зафіксованих показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, витрати середовища в робочому трубопроводі по наведеній формулі

обмежує функціональні можливості відомого способу, призначеного для градування і повірки витратомірів, що встановлюються тільки в трубопроводах одного діаметра, а градування і перевірку витратомірів, призначених для роботи на трубопроводах, діаметр яких відрізняється від діаметра трубопроводу еталонної установки, в даний спосіб не можна здійснити.

В основу передбачуваного винаходу поставлена задача розширення функціональних можливостей способу градування витратомірів шляхом одержання можливості проводити на еталонній установці градування витратомірів, призначених для роботи на трубопроводах, діаметр яких відрізняється від діаметра еталонного трубопроводу.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі градування витратомірів, що полягає в подачі потоку робочого середовища, витрата якої вимірюється, через послідовно встановлені в еталонному трубопроводі пристрій подачі робочого середовища, регульований по витраті, контрольний витратомір і витратомір, що градується, фіксації

показань контрольного витратоміра -  $Q_i^3$  ( $i=1,2,\dots,n$ ) і відповідних показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, -  $N_i$  при кожнім з "n" стабільних значень витрати середовища з діапазону виміру витратоміра, що градується, і побудові граду ю вальної характеристики витратоміра, що градується, відповідно до винаходу додатково визначають коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, витрата

якого вимірюється, і положення кінців датчика витратоміра, що градується, в еталонному трубопроводі -  $Y_1^3$  і  $Y_2^3$  щодо його внутрішньої стінки, установлюють витратомір, що градується, у робочий трубопровід, визначають

положення кінців датчика витратоміра, що градується, -  $Y_1^p$  і  $Y_2^p$ , щодо внутрішньої стінки робочого трубопроводу, обчислюють для кожного із зафіксованих показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що

градується, -  $N_i$  витрату середовища в робочому трубопроводі -  $Q_i^p$  за формулою

$$Q_i^p = V_{cpi}^p S_p$$

де  $S_p$  - площа поперечного перетину робочого трубопроводу;

$V_{cpi}^p$  - середня швидкість потоку середовища в робочому трубопроводі при витраті  $Q_i^p$ , при цьому  $V_{cpi}^p$  визначають шляхом розв'язання рівняння

$$V_{si}^3 = V_{si}^p,$$

де  $V_{si}^3$  - місцева швидкість потоку середовища при перебуванні витратоміра, що градується, в еталонному трубопроводі при показанні -  $N_i$  на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується,

$V_{si}^p$  - місцева швидкість потоку середовища при перебуванні витратоміра, що градується, в робочому трубопроводі при показанні -  $N_i$  на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується,

і градувальну характеристику будують по отриманих парах значень - витрати в робочому трубопроводі -  $Q_i^p$  і відповідного йому показання на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, -  $N_i$ .

Уведення визначення коефіцієнта кінематичної в'язкості середовища, витрата якого вимірюється, і положення датчика витратоміра, що градується, в еталонному й у робочому трубопроводах щодо внутрішньої стінки кожного з них, обчислення для кожного з зафіксованих показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що

градується, -  $N_i$  витрати середовища в робочому трубопроводі -  $Q_i^p$  по наведених формулах як функції витрати середовища, що вимірюється витратоміром, що градується, в еталонному трубопроводі при тому ж значенні показання на виході аналогоцифрового перетворювача -  $N_i$  і побудова градувальної характеристики по отриманих парах значень витрати в робочому трубопроводі і показання на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, дозволяє одержати градувальну характеристику витратоміра, що градується, в робочому трубопроводі за результатами його градування в еталонному трубопроводі на еталонній градувальній установці і тим самим істотно розширити функціональні можливості запропонованого способу градування витратомірів, тому що для градування немає необхідності шукати еталонну градувальну установку, діаметр трубопроводу якої дорівнював би діаметру робочого трубопроводу, у якому повинен працювати витратомір, що градується.

На кресленнях наведені:

фіг.1 - узагальнена схема еталонної градувальної установки;

фіг.2 - поперечний розріз трубопроводу (це може бути й еталонний і робочий трубопровід), на якому показані відстані кінців датчика витратоміра від внутрішньої стінки трубопроводу.

Еталонна градувальна установка, що реалізує пропонований спосіб, складається з вхідного трубопроводу 1, призначеного для подачі середовища, витрата якої повинна вимірюватися, пристрою регульованої подачі робочого середовища 2, еталонного трубопроводу 3, контрольного витратоміра 4, що встановлений в еталонному трубопроводі 3, витратоміра, що градується, 5, що також встановлений в еталонний трубопровід 3 послідовно з контрольним витратоміром 4. При установці витратоміра в трубопровід його датчик установлюється по радіусу у трубі трубопроводу.

Пропонований спосіб градування витратомірів призначений для градування і повірки витратомірів, що працюють в умовах турбулентного потоку, що встановлюються в трубопроводах (робочі трубопроводи), діаметри яких відрізняються від діаметра еталонного трубопроводу, на якому проводять первинне градування витратоміра.

Пропонований спосіб заснований на тім, що витратомір вимірює швидкість потоку в точці установки датчика витратоміра - місцеву швидкість потоку середовища -  $V_m$ . Тому при установці того самого витратоміра спочатку в одному, наприклад еталонному трубопроводі, а потім в іншому, наприклад робочому трубопроводі, що мають різні

діаметри, якщо місцеві швидкості потоку середовища в точках, у яких знаходився датчик витратоміра в еталонному -  $V_{m0}$  і в робочому -  $V_{mp}$  трубопроводах будуть однакові, то будуть однакові і показання на виході аналогоцифрового перетворювача-Н витратоміра.

При цьому місцева швидкість потоку середовища в точці, що знаходиться на відстані  $y$  від внутрішньої стінки трубопроводу, і середня швидкість потоку середовища зв'язані співвідношенням

$$V_m = V_{cp} \cdot W,$$

де  $V_{cp}$  - середня швидкість потоку середовища, тобто швидкість потоку в точці середньої швидкості, що знаходиться на відстані  $0,121D$  від внутрішньої стінки трубопроводу;

$D$  - внутрішній діаметр трубопроводу;

$W$  - коефіцієнт зміни швидкості потоку робітничого середовища в залежності від відстані датчика від внутрішньої стінки труби трубопроводу і від властивостей середовища,

$$W = \begin{cases} 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda} - \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda} \ln \frac{0.5D}{y}, & \text{при } y_0 \leq y \leq 0.5D \\ V_{cp} \frac{y}{y_0}, & \text{при } y \leq y_0 \end{cases}$$

$$y_0 = \frac{20\sqrt{2}}{\sqrt{\lambda}} \frac{v}{V_{cp}},$$

$\alpha$  - коефіцієнт, що характеризує зміну швидкості потоку в залежності від середовища, що транспортується, для природного газу, наприклад  $\alpha = 0,4$ ;

$\lambda$  - коефіцієнт, що характеризує властивості середовища, витрата якого повинна вимірюватися витратоміром, що градується,

$$\lambda = \begin{cases} 0.0032 + \frac{0.221}{Re^{0.237}}, & \lg Re \geq 4.5 \\ \frac{0.3164}{Re^{0.25}}, & \lg Re < 4.5 \end{cases}$$

$$Re = \frac{V_{cp} D}{v} \quad - \text{число Рейнольдса};$$

$v$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища.

Таким чином, число Рейнольдса є лінійною функцією середньої швидкості -  $Re = f_1(V_{cp})$ , а коефіцієнти  $\lambda$  і  $W$  є нелінійними функціями середньої швидкості -  $\lambda = f_2(V_{cp})$ ,  $W = f_3(V_{cp})$ .

Однак у реальних умовах датчик витратоміра перекриває деякий перетин труби трубопроводу і тому далі під місцевою швидкістю розуміється усереднена швидкість потоку -  $V_s$ , обумовлена, з одного боку, його середньою швидкістю -  $V_{cp}$ , а, з іншого боку, лінійними розмірами датчика і його розташуванням у трубопроводі й яка обчислюється за формулою:

$$V_s = \frac{1}{\pi(y_2 - y_1)(2R - y_1 - y_2)} \int_0^{2\pi} \int_{y_1}^{y_2} V_m(R - y) dy d\varphi = \frac{V_{cp}}{\pi(y_2 - y_1)(2R - y_1 - y_2)} \int_0^{2\pi} \int_{y_1}^{y_2} W(R - y) dy d\varphi,$$

де  $R$  - внутрішній радіус труби трубопроводу;

$y_1$  - відстань від стінки труби до нижнього кінця датчика;

$y_2$  - відстань від стінки труби до верхнього кінця датчика;

$y$  - координата по осі датчика;

$\varphi$  - циліндрична координата в перетині трубопроводу.

При інтегруванні і виконанні інших розрахунків використовується тільки значення  $W$  для  $y_0 \leq y \leq 0.5D$ , тому що для відомих теплових датчиків значення  $y_1 \gg y_0$ .

Для усередненої місцевої швидкості  $V_s$  потоку середовища виконуються всі співвідношення, наведені вище для місцевої швидкості потоку в точці -  $V_m$ .

Після інтегрування одержуємо такий вираз для усередненої місцевої швидкості:

$$V_s = \frac{2R^2 V_{cp}}{(y_2 - y_1)(2R - y_1 - y_2)} (D_{11} - D_{12} - D_{21} + D_{22}),$$

$$D_{11} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda} \left( \ln \frac{y_2}{R} - 1 \right) \right] \frac{y_2}{R}$$

$$D_{12} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda} \left( \ln \frac{y_1}{R} - 1 \right) \right] \frac{y_1}{R}$$

$$D_{21} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda} \left( \ln \frac{y_2}{R} - 0.5 \right) \right] \left( \frac{y_2}{R} \right)^2$$

$$D_{22} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda} \left( \ln \frac{y_1}{R} - 0.5 \right) \right] \left( \frac{y_1}{R} \right)^2$$

З отриманого виразу видно, що усереднена місцева швидкість також є нелінійною функцією тільки середньої швидкості -  $V_s = f_4(V_{cp})$

Тому що об'ємна витрата середовища визначається за формулою  $Q = V_{cp} S$ , де  $S$  - площа поперечного перетину трубопроводу, то, вимірюючи витрату середовища в еталонному трубопроводі за допомогою контрольного витратоміра і, зафіксувавши показання на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, і, знаючи коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища і місце розташування датчика витратоміра в еталонному трубопроводі при вимірюванні витрати, можна розрахувати місцеву швидкість потоку в місці перебування датчика витратоміра, що градується, в еталонному трубопроводі, далі, знаючи місце розташування датчика витратоміра в робочому трубопроводі після його установки, можна визначити середню швидкість потоку середовища в робочому трубопроводі при тому показанні на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, шляхом розв'язання рівняння, у якому прирівняні місцеві швидкості потоку в еталонному й у робочому трубопроводах, і обчислити по середній швидкості потоку середовища в робочому трубопроводі витрату середовища в робочому трубопроводі, за значенням витрати середовища в робочому трубопроводі і показанню аналогоцифрового перетворювача, якому він відповідає для всіх значень витрати середовища, зафіксованих при перебуванні витратоміра в еталонному трубопроводі, будують градувальну характеристику витратоміра для робочого трубопроводу.

Спосіб градування витратомірів реалізується в такий спосіб.

Попередньо визначають коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, витрата якого вимірюється, і діапазон виміру витрати середовища витратоміра, що градується, в еталонному трубопроводі. Коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища, витрата якого вимірюється, визначають або шляхом виміру, якщо є відповідний прилад, або визначають лабораторним шляхом склад середовища, по якому по довіднику визначають цей коефіцієнт

Діапазон виміру витрати витратоміра, що градується, в еталонному трубопроводі визначають, виходячи з діапазону виміру середовища в робочому трубопроводі, по формулах

$$Q_{\min}^{\ell} = Q_{\min}^p \left( \frac{D_3}{D_p} \right)^2 ;$$

$$Q_{\max}^{\ell} = Q_{\max}^p \left( \frac{D_3}{D_p} \right)^2 ;$$

де  $D_p$  - внутрішній діаметр робочого трубопроводу, м;

$D_3$  - внутрішній діаметр еталонного трубопроводу, м;

У діапазоні виміру витрати середовища в еталонному трубопроводі вибирають «п» значень витрати  $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ , розподілених, наприклад, рівномірно в діапазоні.

Для градування витратоміра 5 його встановлюють в еталонний трубопровід 3 і визначають відстані -  $y_1^3$  і  $y_2^3$  від кінців датчика витратоміра 5 до внутрішньої стінки еталонного трубопроводу по його радіусі, що проходить через точку перебування датчика витратоміра 5. У вхідний трубопровід 1 подають робоче середовище, за допомогою пристрою регульованої подачі робочого середовища 2 утворюють по контрольному витратоміру 4 витрату робочого середовища в еталонному трубопроводі 3, що дорівнює  $Q_1$ , і фіксують показання аналогоцифрового перетворювача -  $N_1$  витратоміра, що градується, 5.

Далі за допомогою пристрою регульованої подачі робочого середовища 2 утворюють по контрольному витратоміру 4 послідовно витрати робочого середовища в еталонному трубопроводі 3, що дорівнюють  $Q_2, Q_3, \dots, Q_n$  і при кожній з них фіксують показання аналогоцифрового перетворювача  $N_2, N_3, \dots, N_n$  витратоміра, що градується,

5. По отриманих парах значень - витрати робітничого середовища в еталонному трубопроводі 3 -  $Q_i^3$  де  $i = 1, 2, \dots, n$ , і показання на виході аналогоцифрового перетворювача  $N_i$  може бути побудована градувальна характеристика витратоміра, що градується, 5 для робочого трубопроводу, діаметр якого дорівнює діаметру еталонного трубопроводу 3. Для випадків, коли діаметр робочого трубопроводу відрізняється від діаметра еталонного

трубопроводу 3, витратомір, що градується, 5 встановлюють у робочий трубопровід і визначають відстані -  $y_1^p$  і  $y_2^p$  від кінців датчика витратоміра 5 до внутрішньої стінки робочого трубопроводу по його радіусу, що проходить через точку перебування датчика. Після цього обчислюють для кожного із зафіксованих при перебуванні витратоміра 5 в еталонному трубопроводі 3 показань на виході аналогоцифрового перетворювача витратоміра, що градується, 5 -

$N_i$  витрату середовища в робочому трубопроводі -  $Q_i^p$  у такий спосіб:

1. Обчислюють середню швидкість потоку середовища в еталонному трубопроводі 3 для кожного значення витрати середовища -  $Q_i^3$  за формулою

$$V_{cpi}^3 = \frac{Q_i^3}{S};$$

2. Обчислюють число Рейнольдса для потоку середовища в еталонному трубопроводі 3 для кожної витрати середовища -  $Q_i^3$  за формулою

$$Re_i^3 = \frac{V_{cpi}^3 D_3}{\nu},$$

де  $D_3$  - діаметр еталонного трубопроводу;

$\nu$  - коефіцієнт кінематичної в'язкості середовища,

3. Обчислюють коефіцієнт, що характеризує властивості потоку середовища, витрата якого вимірюється в еталонному трубопроводі 3, для кожного значення витрати середовища -  $Q_i^3$  за формулою

$$\lambda_i^3 = \begin{cases} 0.0032 + \frac{0.221}{(Re_i^3)^{0.237}}, \lg(Re_i^3) \geq 4.5 \\ \frac{0.3164}{(Re_i^3)^{0.25}}, \lg(Re_i^3) < 4.5 \end{cases}$$

4. Обчислюють усереднене значення місцевої швидкості потоку робочого середовища в еталонному трубопроводі 3 -  $V_s^3$  у залежності від відстаней  $y_1^3$  і  $y_2^3$  за формулою

$$V_{si}^3 = \frac{2R^2 V_{cpi}^3}{(y_2^3 - y_1^3)(2R - y_1^3 - y_2^3)} (D_{11} - D_{12} - D_{21} + D_{22}),$$

$$D_{11} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} \left( \ln \frac{y_2^3}{R_3} - 1 \right) \right] \frac{y_2^3}{R_3}$$

де -

$$D_{12} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} \left( \ln \frac{y_1^3}{R_3} - 1 \right) \right] \frac{y_1^3}{R_3}$$

$$D_{21} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} \left( \ln \frac{y_2^3}{R_3} - 0.5 \right) \right] \left( \frac{y_2^3}{R_3} \right)^2$$

$$D_{22} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^3} \left( \ln \frac{y_1^3}{R_3} - 0.5 \right) \right] \left( \frac{y_1^3}{R_3} \right)^2$$

5. Визначають середню швидкість потоку середовища в робочому трубопроводі -  $V_{cpi}^p$  для кожного значення показання на виході аналогоцифрового перетворювача -  $N_i$ , вирішуючи чисельними методами, наприклад, методом січних, рівняння

$$V_{si}^3 = V_{si}^p,$$

у якому  $V_{si}^3$  є числовою величиною, а  $V_{si}^p$  - усереднена місцева швидкість потоку в робочому трубопроводі, яка дорівнює

$$V_{si}^p = \frac{2R_p V_{cpi}^p}{(y_2^p - y_1^p)(2R_p - y_1^p - y_2^p)} (D_{11} - D_{12} - D_{21} + D_{22}),$$

$$D_{11} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} \left( \ln \frac{y_1^p}{R_p} - 1 \right) \right] \frac{y_1^p}{R_p}$$

де -

$$D_{12} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} \left( \ln \frac{y_1^p}{R_p} - 1 \right) \right] \frac{y_1^p}{R_p}$$

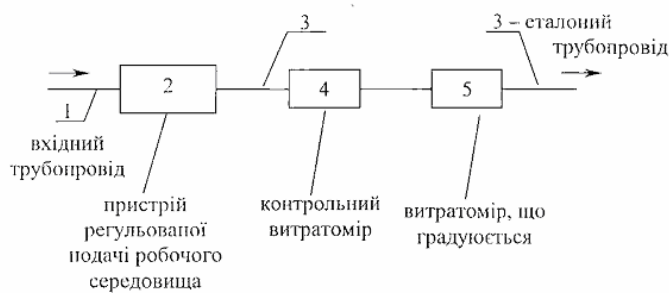
$$D_{21} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} \left( \ln \frac{y_{p2}^p}{R_p} - 0.5 \right) \right] \left( \frac{y_{p2}^p}{R_p} \right)^2$$

$$D_{22} = \left[ 1 + \frac{1.875}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} + \frac{0.5}{\alpha \sqrt{2}} \sqrt{\lambda_i^p} \left( \ln \frac{y_{p1}^p}{R_p} - 0.5 \right) \right] \left( \frac{y_{p1}^p}{R_p} \right)^2$$

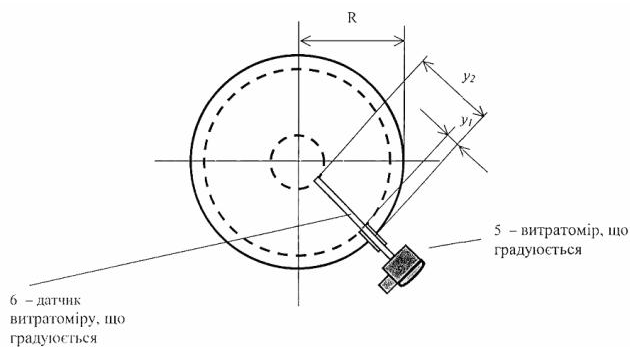
6. Обчислюють витрату середовища в робочому трубопроводі -  $Q_i^p$  для кожного показання на виході аналогоцифрового перетворювача -  $N_i$  за формулою  $Q_i^p = V_{срі}^p S_p$ ,  
де  $S_p$  - площа поперечного перетину робочого трубопроводу;

$V_{срі}^p$  - середня швидкість потоку середовища в робочому трубопроводі при витраті  $Q_i^p$ ,

По отриманих парах значень витрати в робочому трубопроводі -  $Q_i^p$  і відповідного йому показання на виході аналогоцифрового перетворювача -  $N_i$  будують градувальну характеристику витратоміра, що градується, 5.



Фиг.1



Фиг.2