

КИЇВСЬКИЙ ІНЖЕНЕРНО-БУДІВЕЛЬНИЙ ІНСТИТУТ

На правах рукопису

Бутенко Олександр Григорович

ВИЗНАЧЕННЯ ВИТРАТИ ГАЗУ В ТРУБАХ ПРЯМОКУТНОГО
ПЕРЕРІЗУ ЗА ДОПОМОГОЮ ОСЕРЕДНЮЮЧИХ НАПІРНИХ
ТРУБОК

05.23.16 - Гідравліка і інженерна гідрологія

Автори

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата технічних наук

Київ 1993

Робота виконана в Одеському політехнічному інституті

Науковий керівник кандидат технічних наук,
професор О.М.Цабієв

Офіційні опоненти доктор технічних наук, старший
науковий співробітник С.І.Кріль
кандидат технічних наук,
доцент М.О.Єзерський

Провідна установа ВЕО "Одесаенерго"

Захист відбудеться "23." *серпень* 1993 року
о *13.* годині на засіданні спеціалізованої ради К 058.05.08
в Київському інженерно-будівельному інституті за адресою:
252037, Київ-37, Повітрофлотський проспект, 31

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці КІВІ

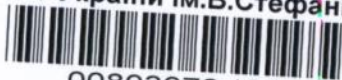
Автореферат розісланий "27." *квітень* 1993 року

Вчений секретар спеціалізованої ради,
канд. техн. наук, професор

В.Ф.Накорчевський

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00803076 (0)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Останні десятиліття нашого сторіччя характеризуються значним погіршенням екологічної обстановки як у великих промислових регіонах, так і на планеті в цілому. Основними забруднювачами повітряного басейну є підприємства енергетичних, металургійних і хімічних галузей. В одній з постанов Верховної Ради України говориться про необхідність "розширення НДР по природоохоронним заходам і впровадження НДР в народне господарство ... зменшення до 1995 року обсягів промислових викидів шкідливих речовин в атмосферу до нормативних вимог ..."

У цей час ведуться роботи по створенню автоматизованих систем контролю забруднення атмосфери викидами промислових підприємств. Невід'ємним елементом таких систем є витратомірні пристрої для визначення обсягу викидів. Разом з тим, аналіз літературних джерел і досвіду експлуатації промислових підприємств, в першу чергу ТЕС, свідчить, що в цей час практично немає первинних перетворювачів, які могли б успішно працювати в заданих умовах. Основними перешкодами використання широко розповсюджених методів вимірювання витрати для контролю промислових викидів у атмосферу є форма поперечного перерізу газоходів (у більшості випадків вона прямокутна), наявність у вимірюваному середовищі завислих частинок, недостатні для стабілізації полів швидкостей довжини прямолінійних ділянок. За цих причин пряме вимірювання витрати газів, що протікають у прямокутних каналах, в цей час практично не ведеться.

Аналіз конструкцій існуючих перетворювачів витрати показав, що перспективним представляється перетворювач витрати типу осереднюючої напірної трубки (ОНТ), реалізуючої принцип "площа-швидкість".

Мета роботи полягає у визначенні закономірностей взаємодії потоку, що протікає у каналі прямокутного перерізу, з ОНТ. Встановлення цих закономірностей дозволяє розробити методику вимірювання витрати в прямокутних каналах.

Виходячи з поставленої цілі, основними задачами роботи були:

- знаходження оптимальних геометричних параметрів і метрологічних характеристик ОНТ, виявлення факторів, визначаючих величину коефіцієнту перетворювача;

- дослідження особливостей роботи ОНТ на ділянках гідродинамічної стабілізації, розробка методів оцінки ступеня деформації епюри швидкостей та встановлення залежності коефіцієнту перетворювача від ступеня деформації;
- отримання залежності коефіцієнта перетворювача від гідравлічного коефіцієнта тертя λ і експериментальна перевірка отриманих результатів;
- розробка методики розрахунку параметрів ОНТ для каналів прямокутного перерізу.

Об'єкт досліджень. Об'єктом досліджень є стабілізований і деформований потоки, що протікають в каналах прямокутного перерізу, і процес їх взаємодії з перетворювачем витрати типу ОНТ. Експериментальні дослідження виконані в лабораторії кафедри гідравліки і гідромашин Одеського політехнічного інституту.

Наукова новизна. Визначені конструктивні параметри ОНТ, працюючої в прямокутному каналі. Встановлена залежність коефіцієнта перетворювача φ від співвідношення сторін перерізу каналу і числа Рейнольдса. Отримані рівняння регресії, які описують роботу ОНТ, розташовану за двома поворотами на 90° . Розроблено критерій деформації епюри швидкостей у створі, що дає змогу оцінювати значення коефіцієнта перетворювача ОНТ, працюючої на ділянці гідродинамічної стабілізації потоку. На цій основі розроблено спосіб отримання бажаної величини коефіцієнту перетворювача. Розрахунковим шляхом отримана залежність коефіцієнта перетворювача від гідравлічного коефіцієнта тертя. Досліди на трубах зі штучною шорсткістю підтвердили розрахункові результати. Запропоновано спосіб розрахунку коефіцієнта Дарсі прямокутних каналів методом послідовних наближень.

Практична цінність роботи полягає в знаходженні закономірностей взаємодії ОНТ з потоком, що протікає в прямокутному каналі, а це дозволяє використовувати її в якості засобу вимірювання витрати.

Впровадження результатів роботи здійснено на Одеській ТЕЦ шляхом установки первинних перетворювачів на двох газоходах котла N 10. Досвід експлуатації підтвердив основні результати роботи.

Апробація роботи. Результати роботи повідомлені і схвалені на науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу ОПІ 1989...1992 рр., 6-тій Всесоюзній науково-тех-

нічній конференції "Розвиток систем метрологічного забезпечення вимірювань витрати і кількості речовин" (ВНДІВ, м. Казань), 1991 р., науково-технічній конференції "Досконалення засобів вимірювання витрати рідини, газу і пари" (м. Санкт-Петербург) 1992 р.

Публікації. Матеріали, відображаючі основні положення дисертації, опубліковані в п'яти роботах.

Обсяг роботи. Дисертація викладена на 193 сторінках машинописного тексту і складається із вступу, п'яти глав, висновку, переліку літератури і додатків. Робота ілюстрована 18 таблицями і 65 малюнками. Список використаної літератури складає 111 найменувань, у тому числі 13 іноземних джерел.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

На початку роботи проводиться аналіз існуючих методів і приладів для вимірювання витрати в напірних трубопроводах. Розглянута робота термоанемометрів, звукових пристроїв, акустичних, віхревих, іонізаційних, міткових, лазерних і концентраційних витратомірів. Показано, що незважаючи на позитивні якості кожного із методів, застосування їх для вимірювання витрати газів, що протікають в каналах прямокутного перерізу, викликає значні труднощі. Перспективним первинним перетворювачем визнана осереднююча напірна трубка, яка є циліндричним зондом, вздовж однієї з твірних якого виконано ряд отворів. Внаслідок нерівномірності епюри швидкостей у внутрішній порожнечі перетворювача устанавлюється течія з приєднанням (через центральні отвори) і відділенням витрати (через периферійні). В результаті взаємодії контролюемого потоку з перетворювачем у його торці встановлюється тиск, близький до середнього повного тиску потоку. Інформаційний сигнал формується в результаті віднімання в дифманометрі від повного тиску статичного, відбираемого зі стінок каналу. Витрата, м³/с, визначається із співвідношення

$$Q = \psi A \sqrt{\frac{2 \Delta p}{\rho}}, \quad (1)$$

де A - площа поперечного перерізу трубопровода, м²;

Δp - перепад тиску, створюваний ОНТ, Па;

ρ - густина вимірюемого середовища, кг/м³;

ψ - коефіцієнт перетворювача (основна метрологічна характеристика ОНТ).

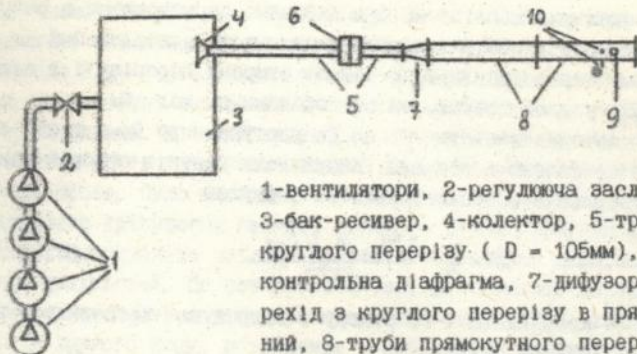
Безсумнівними позитивними якостями ОНТ є простота її виготовлення, монтажу і експлуатації, незначний гідравлічний опір і невисока вартість. Крім того, реалізуючи принцип "площа-швидкість", ОНТ здатна в комплекті зі стандартними вторинними приладами здійснювати безперервне вимірювання витрати і, тим самим, бути частиною системи автоматизованого контролю і регулювання витрати.

Проведені раніше дослідження ОНТ були направлені на використання її в трубах круглого перерізу. Задача вимірювання витрати за допомогою ОНТ в каналах прямокутного перерізу до цього часу не ставилась. Тому для відповіді на питання про можливість використання ОНТ для роботи в цих умовах була потрібна постановка спеціальних досліджень, направлених на вивчення закономірностей взаємодії первинного перетворювача з потоком, що протікає в каналі.

Спочатку ставилась задача експериментального визначення оптимальних геометричних параметрів ОНТ і факторів, що впливають на коефіцієнт перетворювача. Для проведення експериментів створено аеродинамічний стенд (мал. 1) і виготовлені труби прямокутного перерізу з співвідношенням сторін $a/b = 0,25; 0,50; 0,75$ і $1,00$. Засобом контрольного вимірювання витрати служила стандартна діафрагма (6), розрахована і змонтована у повній відповідності до вимог РД 50-213-80. Повітрянодувні засоби дозволяли проводити досліди при швидкостях $40 \dots 50$ м/с, що забезпечувало роботу перетворювача в автомобільній по числу Рейнольдса області. Коефіцієнт перетворювача розраховувався як відношення масових витрат, визначених по діафрагмі і по ОНТ. Похиба вимірювань складала $1,86\%$.

Оскільки статичний тиск ($P_{ст}$) безпосередньо приймає участь у формуванні вихідного сигналу ОНТ, то було вивчено питання про положення точки відбору цієї величини. Було досліджено розподілення статичного тиску поблизу обтікаемого циліндра, розташованого в прямокутному каналі. Отримані результати показали, що статичний тиск по периметру перерізу розподіляється нерівномірно (причому збільшення ступеня витягнутості каналу веде до зростання цієї нерівномірності), а присутність в потоці циліндра не впливає на величину $P_{ст}$ у випадку віддалення точки відбору $P_{ст}$ від створу установ-

Схема експериментального стенду



1-вентилятори, 2-регулююча заслінка, 3-бак-ресивер, 4-колектор, 5-труба круглого перерізу ($D = 105\text{мм}$), 6-контрольна діафрагма, 7-дифузор-перехід з круглого перерізу в прямокутний, 8-труби прямокутного перерізу, 9-пристрій для установки ОНТ, 10-штуцери відбору статичного тиску.

Мал. 1

ки ОНТ вверх по потоці на величину двох гідравлічних діаметрів ($D_r = a \cdot b / (a + b)$, де a і b - менша і більша сторони перерізу каналу відповідно).

Крім визначення положення точки відбору статичного тиску, необхідно було знайти раціональне розташування первинного перетворювача в каналі, вибрати спосіб розташування отворів на його твірній і знайти потрібну їх кількість. Для цього проведена серія дослідів, в ході яких випробувались ОНТ, розташовані: а) по серединному перпендикуляру до меншої сторони перерізу, б) по серединному перпендикуляру до більшої сторони перерізу, в) "хрестом" (варіанта "а" і "б" одночасно), г) по діагоналі. Розглядалися три варіанти відбору $P_{ст}$: а) у точці, де воно дорівнює середньому по перерізу, б) у точці, розташованій на середині більшої із сторін перерізу, в) осереднення тиску, відбираемого в двох точках, розташованих на серединах більшої і меншої сторін (у всіх трьох випадках віддалення площини відбору $P_{ст}$ від створу розміщення ОНТ складало $2 D_r$). Досліджувались два варіанти розміщення отворів: рівномірне і в центрах рівновеликих площ. Результати експериментів, які проводилися на трубах з різним співвідношенням сторін, подавалися у вигляді залежностей $\varphi = f(Re)$. Ці досліді дозволили знайти оптимальні геометричні параметри ОНТ.

Для подальших досліджень був вибраний перетворювач з розміщенням отворів в центрах рівновеликих площ, розташований по серединному перпендикуляру до меншої сторони перерізу і з відбором P_{cr} у двох точках, як це показано на мал. 2.

Автомодельність φ по Re настає при $Re=1,1 \cdot 10^5$ і її поріг не залежить від a/b . Координати центрів отворів такого перетворювача розраховуються за формулою

$$b = \frac{b}{4} \frac{\sqrt{i} + \sqrt{i-1}}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

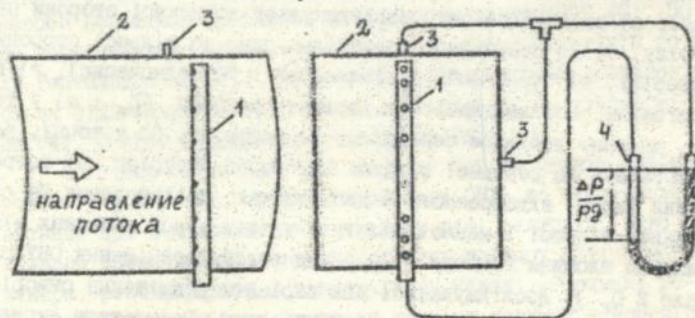
де b - координата 1-го отвору (відрахунок проводиться від центру ОНТ);

n - кількість отворів на половині перетворювача;

i - порядковий номер отвору.

Для оцінки впливу кількості отворів на роботу ОНТ експериментальні дані були оброблені методом дисперсійного аналізу, суть якого полягає в розкладенні загальної дисперсії на складові, кожна з яких характеризує вплив того чи іншого фактора. Розглядалися три фактори: співвідношення сторін каналу, спосіб розміщення отворів і їх кількість на половині перетворювача (n). Кожен з факторів варіювався на двох рівнях. Значимість впливу факторів і ефектів їх взаємодії перевірялась по критерію Фішера шляхом порівняння його з табличним значенням. Для факто-

Схема установки ОНТ



1-ОНТ, 2-прямокутний канал, 3-штуцери відбору P_{cr} ,
4-дифманометр.

ра "число отворів" критерій Фішера $F = 0,06$, у той час як табличне значення при рівні значимості $0,05$ і 24 ступенях свободи $F_{0,95} = 4,26$. Таким чином, отримані результати свідчать про статистичну незначимість впливу величини n на коефіцієнт перетворювача. В такій ситуації, з практичної точки зору, слід зупинити вибір на можливо меншій кількості отворів, тобто двох. Проте, було висказане, а потім експериментально підтверджене припущення про те, що ОНТ з двома отворами на половині максимально чутлива навіть до невеликої деформації поля швидкостей. Це пов'язано з тим, що в такому перетворювачеві недостатньо добре реалізуються осереднюючі властивості. З другого боку, збільшення n небажане з конструктивної точки зору. Керуючись цими міркуваннями вибір був зупинений на ОНТ з чотирма отворами на половині. Відносний діаметр отворів $\bar{d}_o = d_o / d_{\text{онт}}$, як показали експериментальні дані, повинен знаходитися в межах $0,18 \dots 0,25$. В цьому випадку величина \bar{d}_o не впливає на вихідний сигнал.

Для умов стабілізованого потоку отримана залежність, зв'язуюча величину коефіцієнта перетворювача з співвідношенням сторін перерізу, що має вигляд

$$\psi_{\text{ст}} = 0,207 a/b + 0,100(a/b)^2 + 0,919. \quad (3)$$

Враховуючи, що задача вимірювання витрати може ставитися і для деформованого потоку, цей випадок розглянуто окремо.

Оскільки величина вихідного сигналу, а отже і ψ , залежить від розподілу швидкостей в перерізі, то очевидно, що деформація поля швидкостей призводить до зміни основного параметру ОНТ - ψ . Це підтверджено експериментами з ОНТ, розташованими за регулюючою заслінкою і дифузорами. Причому для різних значень a/b і виду місцевих опорів відрізняються як характер кривих виходу ψ на величину, характерну для стабілізованого потоку ($\psi_{\text{ст}}$), так і необхідна для цього довжина прямолінійної ділянки L . Крім того, не вдалося встановити чіткої залежності між коефіцієнтом перетворювача і найбільш розповсюдженими параметрами, що використовуються для оцінки ступеня деформації потоку. Огляд літературних даних по цьому питанню дозволив з великої кількості відомих критеріїв деформації поля швидкостей знайти найбільш підходящий за своїм фізичним змістом до принципу роботи ОНТ. Він

представляє собою відношення кінетичного моменту системи місцевих швидкостей в створі до середнього кінетичного моменту

$$K' = \frac{M_c}{M_{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^n u_i r_i}{V_{cp} R_{cp}}, \quad (4)$$

де u_i - місцева швидкість у i -тій точці;

r_i - радіус i -тої точки;

R_{cp} - радіус середньої по епюрі швидкості;

V_{cp} - фіктивна середня швидкість, що обчислюється як площа епюри, розділена на площу перерізу трубопроводу.

Для прямокутного каналу коефіцієнт K , визначений по епюрі швидкостей в створі установки ОНТ, розраховується по співвідношенню

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n u_i b_i}{V_c b_{cp}}, \quad (5)$$

де u_i - швидкість в точці з координатою b_i ;

b_i - координата центру i -го отвору;

V_c - середня швидкість потоку в створі, яка визначається як площа епюри, розділена на довжину створу;

b_{cp} - координата точки середньої швидкості в створі для стабілізованого потоку.

При роботі ОНТ в стабілізованому потоці, течія в його внутрішньому середовищі симетрична відносно центру перетворювача і тиски, відбираемі з обох торців, однакові. Спотворення епюри в створі порушує цю симетрію. Тому тиски в торцях перестають бути рівними і пророчити їх величини досить важко. Для виключення цієї невизначеності можна розділити внутрішню порожнечу пробкою на дві однакові ізольовані половини. В цьому випадку кожна половина працює самостійно і реагує на спотворення "своєї" частини епюри. Сигнали, відбираемі з торців половин, будуть різними і відповідно будуть різними коефіцієнти напівтрубок. При вимірюванні по половинах ОНТ доцільно використовувати для розрахунку витрати середні арифметичні перепадів напівтрубок. Це рішення достатньо просто реалізується за допомогою стандартних приладових засобів.

Експериментальним шляхом установлені залежності коефіцієнту напівтрубки від коефіцієнту деформації K . Дані отримані для труб з чотирма співвідношеннями сторін для таких місцевих опорів: дифузорові різноманітної форми, заслінок в поступально перемішувачимся і обертаючимся регулюючим ор-

ганом, поворотів на 90° , які лежать як у одній площині, так і у взаємно перпендикулярних площях. Результати апроксимовані виразом:

$$\varphi = A_1 K^2 + A_2 K + A_3 \quad (6)$$

Вони виявились незадовільними лише для випадку роботи ОНТ за П- і Z-образними компоновками двох поворотів при розташуванні первинного перетворювача перпендикулярно площі повороту. Враховуючи широку розповсюдженість таких місцевих опорів, вони були розглянуті окремо. Розглядався вплив на φ трьох факторів: співвідношення сторін перерізу каналу, відносної відстані між поворотами (\bar{L}_1) і відносної відстані між другим походом потоку поворотом і створом установки ОНТ (\bar{L}_2). Інтервали варіювання факторів встановлені виходячи з дослідних даних і наведені в табл. 1.

Досліди проводились по матриці повного факторного експерименту, а їх результати підлягали обробці відомими методами статистичного аналізу. Отримані рівняння регресії другого порядку мають вигляд

$$\varphi = a_0 + \sum_{i=1}^3 a_i x_i + \sum_{i < j}^3 a_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^3 a_{ii} x_i^2 \quad (7)$$

де a_0 , a_i , a_j - коефіцієнти рівняння регресії;
 x_i , x_j - кодоване значення факторів.

Таблиця 1

Інтервали варіювання факторів

Фактор	a/b (x_1)	\bar{L}_1 (x_2)	\bar{L}_2 (x_3)
Основний рівень	0,75	8,6	24,0
Інтервал варіювання	0,25	2,3	9,0
Верхній рівень	1,00	10,9	33,0
Нижній рівень	0,50	6,3	15,0

Статистична значимість коефіцієнтів перевірялась шляхом порівняння розрахункового критерія Стюдента з табличним. Порівняння розрахункового критерія Фішера з табличним значенням показало, що отримані моделі адекватні.

Розрахунок середніх значень функції відгуку (φ) за (7) і порівняння їх з експериментальними результатами показує, що в більшості точок плану експерименту погрішність моделі знаходиться в межах 0,5% і лише в деяких досягає 0,7%.

Четверта глава присвячена дослідженню залежності коефіцієнту перетворювача від шорсткості трубопроводу.

Коефіцієнт перетворювача можливо представити як добуток двох співмножників

$$\varphi = \varphi' \varphi'' \quad (8)$$

де φ' - складаюча (умовно названа "швидкісною"), враховуюча різницю динамічного тиску, відповідного середньовитратній швидкості і динамічного тиску, відбираемого з торця ОНТ;

φ'' - складаюча (умовно названа "статичною"), обумовлена відмінню середнього статичного тиску потоку від статичного тиску, знімаемого зі стінок каналу.

На величину φ' впливає два фактора - гідродинамічні процеси, які відбуваються у внутрішній порожнині перетворювача, і відміна середньовитратної швидкості від середнього арифметичного із швидкостей перед отворами ОНТ. Тому

$$\varphi' = V / V_{cp} \quad (9)$$

де V - середньовитратна швидкість;

V_{cp} - швидкість, що розраховується по тиску в торці ОНТ
($P_{онт} = \rho V_{cp}^2 / 2$).

Враховуючи, що п'єзометрична лінія у внутрішній порожнині перетворювача близька до горизонтальної, маємо

$$P_{онт} = \frac{\rho}{2} \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n u_i^2 \quad (10)$$

Тоді при $n=4$ отримуємо

$$\varphi' = 2 \sqrt{\frac{V^2}{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2}} \quad (11)$$

Розрахунок залежності ψ' від λ передбачає використання опису поля швидкостей в прямокутному каналі, який зв'язує V з місцевими швидкостями u_1, \dots, u_n . Вивчення питання опису полів швидкостей в прямокутних каналах показало, що до цього часу строгого рішення цієї задачі немає. Це зв'язано з тим, що при течії в некруглих каналах мають місце вторинні струми в кутах перерізу, які впливають на розподілення осевих швидкостей. Врахування вторинних течій, як показали деякі дослідження, викликає неподоланні труднощі. Тому відомі моделі описують розподілення швидкостей лише з визначеною долею достовірності.

Для розрахунків використані моделі, запропоновані В.А. Гавриленком і В.Я. Сусловим. Отримані залежності $\psi' = f(a/b)$ не дали між собою задовільного збігу. Тому була потрібна їх експериментальна перевірка. Перевірка підтвердила залежність, отриману з використанням моделі В.А. Гавріленка, яка й була прийнята для розрахунку залежності $\psi' = f(\lambda)$. Отримані таким шляхом графіки для $a/b = 0,25; 0,50; 0,75$ і $1,00$ (мал. 3) свідчать про наявність функціонального зв'язку між ψ' і λ .

Експериментальна перевірка розрахункових залежностей передбачала проведення дослідів на трубах, які значно відрізняються своєю шорсткістю від раніше використовуваних.

Моделювання штучної шорсткості проводилося шляхом наклеєння просіяного піску (розмір пішинок від 1,0 до 1,6 мм) на поверхню каналів з $a/b = 0,25$ і $1,00$.

Залежність ψ' від λ



Мал. 3

Експерименти підтвердили розрахункові результати (мал.3) для ψ' і показали, що в межах погрішності вимірювання ψ'' не залежить від λ , а її величина змінюється від 1,11 до 1,12. Для обгрунтованої відповіді на запитання про залежність ψ'' від λ отримана база даних для гладких і шорстких труб оброблялась методами статистичного аналізу. Порівняння розрахункового показника кореляції з табличним критерієм Стьюдента показало, що функціональний зв'язок між ψ'' і λ відсутній.

На прикінці роботи розглядаються деякі практичні додатки використання ОНТ в прямокутних каналах.

Проведений короткий аналіз засобів захисту від проникнення у внутрішню порожнечу перетворювача завислих частин при його роботі у завислонесучих потоках. Признано доцільним в цьому випадку керуватися рекомендаціями, розробленими Я. Форкертом.

На практиці завжди існує імовірність припущення неточностей як при виготовленні ОНТ, так і при її монтажі. Тому був оцінений ступінь їх впливу на показання ОНТ і визначені допустимі межі цих неточностей.

Для випадку, коли невідома еквівалентна шорсткість каналу і наперед невизначена середня швидкість потоку, запропонований спосіб визначення гідравлічного коефіцієнту тертя λ прямокутних каналів за допомогою ОНТ (використовується її вихідний сигнал) методом послідовних наближень.

На підставі результатів проведених досліджень розроблена методика вимірювання витрати газу в каналах прямокутного перерізу за допомогою ОНТ. Методика дозволяє розраховувати параметри перетворювача для випадків стабілізованого і деформованого потоків і враховує вплив коефіцієнту Дарсі на коефіцієнт ψ . Розраховані таким чином дослідні зразки ОНТ встановлені на двох газоходах котла № 10 Одеської ТЕС. Отримані результати вимірювань дозволили уточнити експлуатаційні параметри цих котлів.

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Проблема вимірювання витрати газу, що протікає в каналі прямокутного перерізу є актуальною. Перспективним первинним перетворювачем для цієї задачі визнано ОНТ. Однак всі попередні дослідження цього перетворювача стосувались лише труб

круглого перерізу і тому не могли враховувати особливості течії потоку в прямокутних каналах. Це визначило потребу досконального вивчення закономірностей взаємодії первинного перетворювача типу ОНТ з прямокутним потоком.

2. Експериментальні дослідження ОНТ в умовах стабілізованого потоку, що протікає в каналі прямокутного перерізу, дозволили визначити метрологічні і оптимальні конструктивні параметри перетворювача, встановити залежність ψ від співвідношення сторін a/b і від числа Рейнольдса.

3. Отримані графіки, характеризуючі роботу ОНТ у деформованому прямокутному потоці. Для прогнозування коефіцієнту перетворювача, працюючого в таких умовах, найдено критерій деформації

K , який було приведено до умов прямокутного каналу. Отримані графіки залежності коефіцієнтів напівтрубок від K дозволяють використовувати ОНТ для вимірювання витрати деформованих потоків.

4. Для випадку роботи ОНТ за двома поворотами на 90° при 1х П- і Z-образній компоновці методом планування експерименту одержані рівняння регресії, що описують залежність коефіцієнту перетворювача від трьох впливаючих факторів - a/b , \bar{L}_1 , і \bar{L}_2 .

5. Розроблено метод, який дозволяє по відомій епюрі швидкостей проектувати перетворювач с заданим коефіцієнтом ψ .

6. Показано, що для умов прямокутного каналу коефіцієнт перетворювача доцільно представляти як доданок швидкісної і статичної складових. Такий підхід дозволив оцінити вплив гідравлічного коефіцієнту тертя на ψ' і ψ'' і таким чином визначити залежність ψ від коефіцієнту Дарсі.

Розрахунковим шляхом отримані графіки залежностей ψ' від λ для різних значень a/b . Експериментальна перевірка на трубах зі штучною шорсткістю підтвердила розрахункові результати.

Встановлено, що статична складова ψ'' з гідравлічним коефіцієнтом тертя функціонального зв'язку не має.

7. На підставі використання ОНТ запропоновано засіб визначення λ прямокутних каналів для тих випадків, коли невідомі еквівалентна шорсткість і середня швидкість потоку.

8. Проведені дослідження дозволили розробити методику вимірювання витрати газу, що протікає у каналі прямокутного перерізу.

1. Иванов К.Ф., Бутенко А.Г. Использование осредняющих напорных трубок в каналах прямоугольного сечения // Изв. высш. учеб. заведений. Энергетика... - 1991.- С. 121-124.
2. Бутенко А.Г. Использование напорных преобразователей для измерения расхода в трубах прямоугольного сечения // Тез. докл. 6-той Всесоюзной науч.-техн. конф. "Развитие систем метрологического обеспечения измерений расхода и количества веществ", 20-22 ноября 1991 г.- Казань.- 1991.- С.72-73.
3. Грабовский А.М., Иванов К.Ф., Бутенко А.Г. Измерение расхода в напорных трубах прямоугольного сечения // Тез. докл. науч.-техн. конф. "Совершенствование средств измерения расхода жидкости, газа и пара", 17-18 марта 1992 г.- Санкт-Петербург.- 1993.- С.33-39.
4. Грабовский А.М., Иванов К.Ф., Бутенко А.Г., Малахов А.В. Влияние гидравлического коэффициента трения на работу осредняющих напорных трубок в каналах прямоугольного сечения // Гидравлика и гидротехника. - 1993.- Вып. 57.
5. Грабовский А.М., Иванов К.Ф., Бутенко А.Г. Исследование работы осредняющих преобразователей в каналах прямоугольного сечения за местными сопротивлениями // Гидравлика и гидротехника. - 1993. - Вып. 57.