

© І.В. Коробко

д-р техн. наук  
Національний технічний  
університет України  
«Київський політехнічний інститут»

## Стендові дослідження впливу асиметрії потоку на метрологічні характеристики гідродинамічних вимірювальних перетворювачів витрати

УДК 681.121

*У статті наведено результати досліджень вимірювальних перетворювачів рідинних паливно-енергетичних ресурсів, що базуються на гідродинамічному методі реєстрації об'єму та об'ємної витрати потоків, які мають високу динаміку їх плинну. Висвітлено результати напівнатурних випробувань приладів в умовах, наближених до експлуатаційних, з метою виявлення впливу асиметрії розподілу локальних швидкостей потоку на метрологічні характеристики гідродинамічних вимірювальних перетворювачів витрати.*

**Ключові слова:** витрата, паливно-енергетичні ресурси, вимірювання, неоднорідність течії, точність, засоби вимірювання.

*В статье приведены результаты исследований измерительных преобразователей жидкостных топливно-энергетических ресурсов, основанных на гидродинамическом методе регистрации объема и объемного расхода потоков, которые имеют высокую динамику их течения. Освещены результаты полунатурных испытаний приборов в условиях, приближенных к эксплуатационным, с целью выявления влияния асимметрии распределения локальных скоростей потока на метрологические характеристики гидродинамических измерительных преобразователей расхода.*

**Ключевые слова:** расход, топливно-энергетические ресурсы, измерения, неоднородность течения, точность, средства измерения.

*The article gives results of researching measuring transducers for liquid fuel and energy resources, which are based on the hydrodynamic method of volume and volume high dynamics flow rate registration. It also shows results of seminatural tests of devices in conditions, close to operating ones, in order to identify the impact of asymmetric distribution in local flow velocities on metrological characteristics of measuring transducers.*

**Key words:** flow rate, fuel and energy resources, measurement, flow heterogeneity, accuracy, measurement tools.

Перед суспільством стоїть надзвичайно важливе завдання жорсткої економії плинних енергоносіїв, яка не може бути життєздатною без точного та надійного їх обліку. Галузева практика потребує суттєвого підвищення точності реєстрації витрати та кількості рідин. Передусім це стосується стратегічно важливих їх видів, зокрема нафтопродуктів, енергоносіїв спеціального призначення, питної води тощо. Отже, проблема точних вимірювань витрати і реєстрації кількості рідини в технологічних мережах постає стратегічно важливою і актуальною для України як гарант її сталого розвитку в очікуваному майбутті.

Актуальними постають питання дослідження неоднорідностей потоку, спричинених локальними гідравлічними опорами різної просторової конфігурації, які породжують градієнти швидкості потоку і викликають вихороутворення, впливу забруднення та недоцільності обраного місця монтажу приладів на вимірювальній ді-

лянці, вивчення характеру і ступеня зворотного впливу на контрольований потік елементної бази приладу, через специфіку його конструкції, аналізу і чисельної оцінки оберненої реакції приладу на параметри потоку.

Одними із вимірювальних перетворювачів витрати (ВПВ), які використовують для обліку рідин за різних режимів їх плинну, є гідродинамічні (ГД) прилади з чутливими елементами (ЧЕ) у вигляді пружної конструкції з тілом обтікання (ТО), розміщеним у потоці вимірюваного середовища. Вихідним сигналом ГД ВПВ є величина деформації чи відхилення ЧЕ, які спричинені дією на нього сил гідродинамічного натиску вимірюваного потоку. Тиск сил гідродинамічного натиску, що діють на ЧЕ, є функцією місцевої швидкості потоку у перерізі вимірювального каналу, форми і розмірів ТО та густини вимірюваного середовища.

Гідродинамічні перетворювачі надзвичайно вразливі до дії неоднорідності потоку. Для створення ефек-

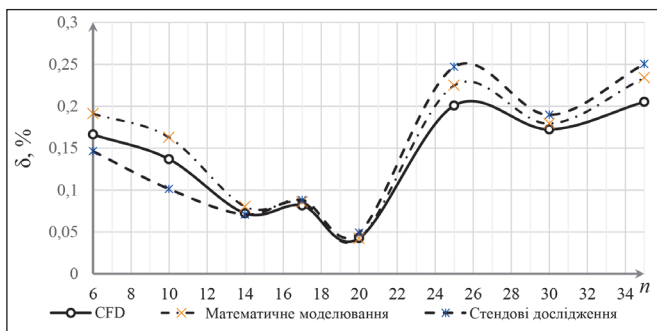


Рис. 1. Похибка приладу на різних відстанях після конфузора

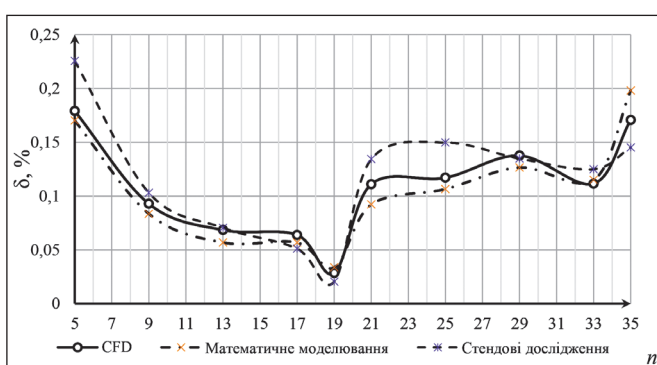
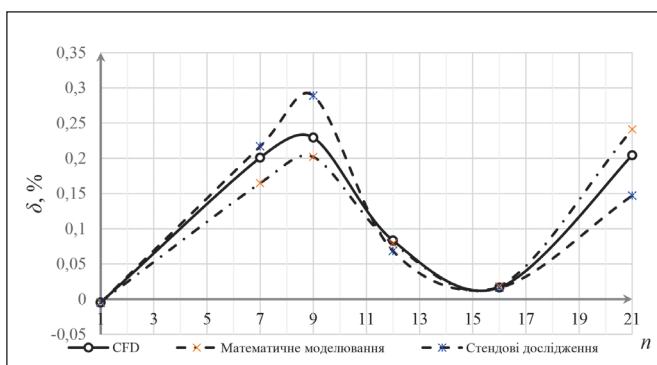


Рис. 2. Похибка приладу на різних відстанях після раптового звуження

Рис. 3. Похибка приладу на різних відстанях після коліна з поворотом на кут  $\pi/2$  рад

тивних вузлів обліку енергетичних ресурсів, побудованих на базі ГД ВПВ, доцільно дослідити впливи асиметрії потоків, які індукуються місцевими гідравлічними опорами різної геометричної форми та просторової орієнтації під час проходження крізь них вимірюваного середовища, і локального та просторового розміщення засобу вимірювання по протяжності технологічної магістралі на точність визначення витрати.

Ефективним методом визначення впливу асиметрії потоку на паспортні характеристики приладів є їх стендові дослідження шляхом створення місцевих гідравлічних опорів різної просторової форми й оцінювання генерованої ними неоднорідності течії по протяжності вимірювального тракту.

Для цього необхідно дослідити гідродинамічну картину потоку по протяжності технологічної мережі з місцевими гідравлічними опорами різної просторової форми, а також визначити епюри розподілу швидкості у поперечних перерізах вимірювального каналу й оцінити ступені впливу картини потоку за різних значень витрати та локального розміщення по протяжності технологічної магістралі на паспортні характеристики досліджуваних перетворювачів.

Дослідження впливу асиметрії потоку на метрологічні характеристики гідродинамічних перетворювачів витрати, які полягали у створенні реальних місцевих гідравлічних опорів різної просторової конфігурації на прямолінійній ділянці вимірювального тракту метрологічної установки ГИР-2,5 виробництва Всеросійського науково-дослідного інституту витратометрії (м. Казань), проводили у лабораторії Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут».

Оцінювання проводилися із гідродинамічними перетворювачами витрати, що мають тіла обтікання різної гаусової кривизни: з циліндричним диском, конусом, направленим вершиною назустріч потоку, та порожнистою напівсферою, вигнутою частиною, зорієнтованою проти плинину вимірюваного середовища. Такі перетворювачі були встановлені на різних відстанях після гідравлічних опорів [1–3]. Результати стендових досліджень засобів вимірювання порівнювалися з даними їх тестувань, проведених з використанням методів обчислювальної гідродинаміки на базі CFD-технологій (застосовано програмний комплекс ANSYS) та отриманих шляхом математичного моделювання взаємодії плинного середовища із елементами конструкції перетворювача.

Застосування CFD-моделювання дає змогу під час розробки, монтажу й обслуговування витратомірів оптимізувати такі аспекти: визначення причин неполадок, що виникають у ході вимірювання; оцінка величини похибок та ефективності заходів із усунення неполадок; екстраполяція лабораторних експериментів на практичне застосування; оцінка альтернативних конфігурацій перетворювачів та ступеня впливу на ефективність їх роботи параметрів вимірювальної камери, місцевих гідравлічних опорів технологічної мережі і межових умов, що особливо актуально для області малих витрат. Також потрібно зазначити, що в деяких випадках для отримання чіткої картини взаємодії вимірюваного середовища з ЧЕ витратоміра відтворити натурні умови експерименту не вияляється можливим.

Моделювання роботи перетворювача витрати гідродинамічного типу проведено з використанням програмного комплексу, який є універсальною програмною системою кінцево-елементного аналізу для розв'язання просторових задач механіки деформованого твердого тіла та конструкцій (включаючи нестационарні геометрично і фізично нелінійні задачі контактної взаємодії елементів конструкцій), завдань механіки рідини і газу, теплопередачі і теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів. Для повного відтворення всіх процесів у приладі проведено міждис-

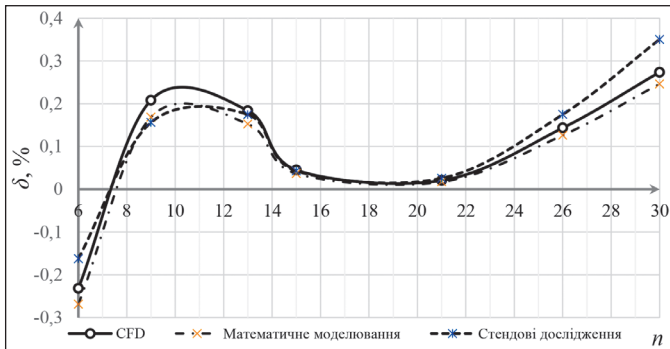


Рис. 4. Похибка приладу на різних відстанях після місцевого опору: два коліна з поворотом на кути  $\pi/2$  рад кожний і розміщених в одній площині

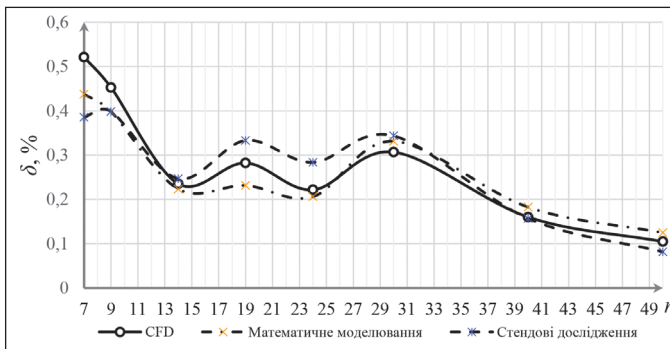


Рис. 5. Похибка приладу на різних відстанях після місцевого опору – два коліна з поворотом на кути  $\pi/2$  рад кожний, розміщені у різних площинах

циплінарний аналіз, що включає в себе пакети CFX та Structural Static.

Ураховуючи незмінність значення поперечного перерізу, оцінку точності перетворювача проводили шляхом знаходження ступеня невідповідності деформації ЧЕ, викликані дією на нього модельного осесиметричного профілю Грего і швидкісного напору у досліджуваному перерізі. При цьому на входному перерізі модельної геометрії гідравлічного опору було відтворено епюру швидкостей, яка відповідає розподілу, що утворюється під час проходження потоком відповідного опору на певній відстані від початкового перерізу.

Для ідентичних умов було проведено математичні моделювання взаємодії потоку вимірюваного середовища із елементами конструкції ГД ВПВ за розробленими математичними моделями обоюдної дії.

У дослідженнях вимірювальні перетворювачі мали різне локальне розміщення після гідравлічних опорів, які

є складовою частиною більшості реальних вузлів обліку рідин та газів: конфузори, раптові розширення та звуження, коліно з поворотом на кут  $\pi/2$  рад, два коліна з поворотом на кути  $\pi/2$  рад кожний, що розміщені в одній та різних площинах.

У цій статті наведено результати тестування гідродинамічних вимірювальних перетворювачів витрати рідиннофазного середовища із обтічними тілами у вигляді диску під час дії на них асиметрії потоку, що породжується гідравлічними опорами: конфузори (рис. 1), раптові розширення (рис. 2), коліно з поворотом на кут  $\pi/2$  рад (рис. 3), два коліна з поворотом на кути  $\pi/2$  рад кожний, розміщені в одній (рис. 4) та різних площинах (рис. 5).

Аналіз отриманих результатів вказує на те, що характер кривих похибок перетворювачів по протяжності вимірювального каналу, отриманих математичним моделюванням та з використанням CFD-технологій, підтверджується стендовими результатами, корелюється між собою та досить чітко відображає залежність точності вимірювань від гідродинамічної картини потоку в локальному місці встановлення засобу вимірювання по протяжності технологічної мережі. Це дає змогу з метою забезпечення високої точності вимірювання витрати приймати правильне рішення стосовно локального просторового розміщення приладу у технологічній мережі.

Аналогічні дослідження були проведені із застосуванням приладів, що мають чутливі елементи з обтічними тілами у формі конуса, направленими вершиною назустріч потоку, та порожнистої напівсфери, ввігнутою частиною зорієнтованої проти плинину вимірювального середовища. Отримані результати вказують на те, що перетворювачі з обтічними тілами у формі конуса менш чутливі до асиметрії потоку, ніж прилади із чутливими елементами, які мають тіла обтікання у формі плоского диска та порожнистої напівсфери.

## Висновок

Отримані результати тестування засобів вимірювання витрати рідини гідродинамічного класу шляхом математичного та чисельного моделювань, одночасно із стендовими випробуваннями, вказують на високий рівень відповідності теоретичних та експериментальних досліджень, визначають місця доцільного локального розміщення приладів по протяжності технологічної мережі.

Подальші дослідження спрямовані на визначення ступеня впливу параметрів вимірюваного середовища на метрологічні характеристики гідродинамічних перетворювачів витрати та кількості рідиннофазного середовища.

## Список використаних джерел

1. Коробко І.В. Определение модуля упругости чувствительных элементов гидродинамических измерительных преобразователей расхода [Текст] / И.В. Коробко, С.П. Сергеев, Н.И. Барковская // Весн. Киев. политехн. ин-та. – 1986. – Вып. 16. – С. 46–47. – (Сер. «Приборостроение»).
2. Коробко І.В. Оптимізація вимірювальних перетворювачів витрати рідини гідродинамічного типу [Текст] /

І.В. Коробко // Вісн. НТУУ «КПІ». – 2013. – Вип. 46. – С. 91–96. – (Сер. «Приладобудування»).

3. Коробко І.В. Визначення коливальної маси чутливого елемента вимірювального перетворювача витрат гідродинамічного типу [Текст] / І.В. Коробко // Праці Тавр. держ. агротехн. акад. – Вип. 4, Т. 22. – Мелітополь, 2003. – С. 87–93.