

УДК 681.121

І. В. Коробко, А. В. Писарець
ВПЛИВ ГАУСОВОЇ КРИВИЗНИ ПОВЕРХНІ ЧУТЛИВОГО ЕЛЕМЕНТА І
ГІДРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКУ НА МЕТРОЛОГІЧНІ
ПОКАЗНИКИ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ ВИТРАТИ

Стаття направлена на дослідження впливу гідродинамічної картини потоку і геометричної форми тіл обтікання чутливих елементів гідродинамічних перетворювачів витрати та кількості паливно-енергетичних ресурсів і води на їх метрологічні характеристики. Отримані результати дозволяють ефективно застосовувати перетворювачі, без огляду на вимоги обов'язкового забезпечення прямих ділянок до і після приладів, у локальних місцях на технологічній мережі із врахуванням конкретних натурних умов організації вимірювання.

Ключові слова: витрата, вимірювання, прилади, асиметрія, похибки, гідравлічні опори.

Рис. 4. Літ. 4.

И. В. Коробко, А. В. Писарець
ВЛИЯНИЕ ГАУССОВОЙ КРИВИЗНЫ ПОВЕРХНОСТИ ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО
ЭЛЕМЕНТА И ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОТОКА НА
МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ РАСХОДА

Статья направлена на исследование влияния гидродинамической картины потока и геометрической формы тел обтекания чувствительных элементов гидродинамических преобразователей расхода и количества топливно-энергетических ресурсов и воды на их метрологические характеристики. Полученные результаты позволяют эффективно применять преобразователи, невзирая на требования обязательного обеспечения прямых участков до и после приборов, в локальных местах на технологической сети с учетом конкретных натурных условий организации измерения.

Ключевые слова: расход, измерения, приборы, асимметрия, погрешности, гидравлические сопротивления.

V. Korobko, A. V. Pysarets
THE SENSITIVE ELEMENT SURFACE GAUSSIAN CURVATURE AND FLOW
HYDRODYNAMIC CHARACTERISTICS INFLUENCE ON FLOWMETERS
METROLOGICAL PERFORMANCES

Article aims to study the effect of hydrodynamic flow patterns and geometric shapes of bodies flow sensitive elements hydrodynamic flow transducers and the amount of energy and water resources in their metrological characteristics.

The obtained results allow us to effectively apply transducers, despite the requirements of the mandatory provision of direct and downstream devices in local areas on technology network to the specific conditions of the field measurements organization.

Keywords: flowrate, measurements, instruments, asymmetry, error, hydraulic resistance.

Вступ. Постановка проблеми. Оцінювання впливу неоднорідності рідинофазних потоків на точність вимірюваних перетворювачів витрати (ВПВ) рідин і газів, враховуючи складність та трудомісткість процесів натурних досліджень, доцільно здійснювати шляхом чисельного моделювання з використанням методів обчислювальної гідродинаміки на базі програмного комплексу *ANSYS*, в якому реалізовано метод кінцевих елементів і дозволяє з високою ймовірністю визначити проекції векторів швидкостей та розподіл тиску у дискретних точках потоку, як за поперечним перерізом, так і по його протяжності. Також слід зазначити, що в ряді випадків, щоб отримати чітку картину взаємодії вимірюваного середовища з чутливими елементами (ЧЕ) перетворювача витрати поставити натурний експеримент не представляється можливим. Тоді на допомогу і приходять комп'ютерне моделювання, завдяки якому можна проаналізувати метрологічні характеристики певної конструкції витратоміра.

Для вимірювання витрати паливно-енергетичних ресурсів з різною динамікою їх плинину застосовуються гідродинамічні (ГД) ВПВ, принцип дії яких базується на залежності переміщення або коливання ЧЕ, від величини гідродинамічного натиску потоку і, відповідно, витрати [1].

Постановка задачі. Для реалізації комп'ютерного моделювання гідродинамічної обстановки в корпусі ВПВ слід виконати такі завдання: створити геометричну модель приладу, накласти сітку на створену модель, призначити зони входу і виходу рідини крізь прилад, вибрати гідродинамічну модель вимірюваного середовища, обрати матеріал вимірюваного середовища з необхідними фізичними властивостями, призначити межові умови на вході, виконати ініціалізацію

обчислювального процесу і розпочати сам процес, оцінити отримані результати розподілу основних параметрів, зокрема швидкості, тиску, температури по витратовимірній ділянці [2].

Можливість застосування CFD-технологій для розрахунку метрологічних параметрів перетворювачів витрати нині тільки вивчається, і практично немає систематичних досліджень впливу моделей турбулентності на коректність передачі структури потоку у вимірювальному трубопроводі і точність розрахунку паспортних характеристик приладів.

Створення ефективних ВПВ рідини та газів з довершеними метрологічними характеристиками пов'язано із визначенням раціональних значень параметрів конструкції приладу за мінімізації втрат енергетичної складової потоку вимірюваного середовища.

Важливим напрямом оптимізації гідродинамічних перетворювачів витрати, який направлено на створення приладу з високими метрологічними характеристиками, є визначення раціональних геометричних форм тіл обтікання ЧЕ, що за мінімізації впливу на вимірюване середовище забезпечують високу точність реєстрації.

Оцінювання взаємодії плинного неоднорідного потоку і чутливих елементів різної просторової конфігурації.

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.

Оцінювання взаємодії плинного неоднорідного потоку і ЧЕ різної просторової конфігурації та її вплив на паспортні характеристики приладу проводилися з перетворювачами, ЧЕ яких мають обтічні поверхні різної гаусової кривизни: нульової (циліндр) (рис. 1а), додатної (конус) (рис. 1б) та від'ємної (порожниста напівсфера) (рис. 1в). Для вказаних моделей проведено чисельні моделювання з визначенням похибок вимірювання в залежності від кута їх просторової орієнтації на технологічній мережі та відстані від місцевих гідравлічних опорів різної просторової та геометричної конфігурації: конфузор, дифузор, коліно з поворотом на $\pi/2$ рад, два коліна з поворотом на $\pi/2$ рад кожний і розміщені як в одній так і в різних площинах (просторове коліно).

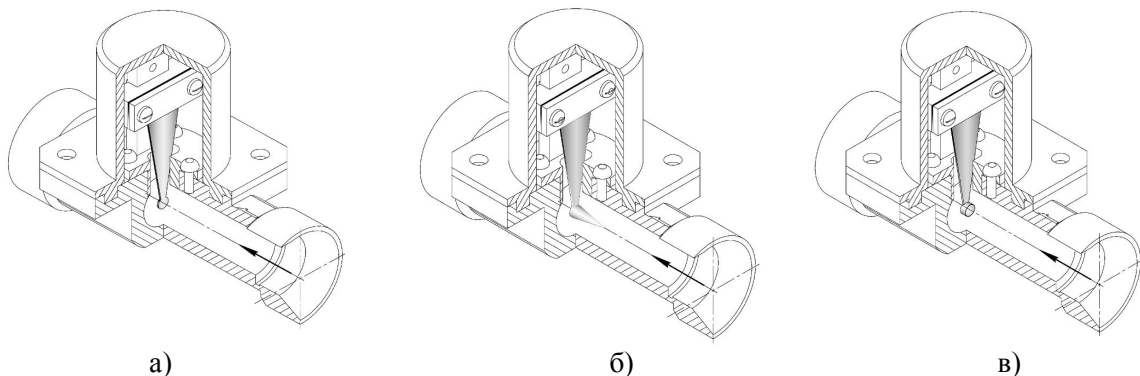


Рис. 1. Гідродинамічний перетворювач витрати з ЧЕ, що має обтічне тіло: а) – плоский диск; б) – конус, вершиною направлений назустріч потоку; в) – порожниста напівсфера зорієнтована порожниною проти потоку

Враховуючи сталість поперечного перерізу, оцінку точності перетворювача можна проводити шляхом знаходження ступеня невідповідності деформації ЧЕ, викликаній дією на нього модельного осесиметричного профілю Грего, що описує розвинутий турбулентний потік у трубопроводі з круглим поперечним перерізом

$$\frac{v}{\bar{v}} = 1,1523 + 0,09211 \cdot \ln\left(1 - \frac{r}{R}\right) + 0,1858\Phi\left(\frac{r}{R}\right),$$

де v - швидкість в будь-якій точці перерізу циліндричної труби радіусом R на відстані r від її осі; \bar{v} - осереднена по перерізу швидкість потоку;

$$\Phi\left(\frac{r}{R}\right) = -0,5530347\left(\frac{r}{R}\right)^4 + 1,6066064\left(\frac{r}{R}\right)^3 - 1,8782031\left(\frac{r}{R}\right)^2 + 0,6044168\left(\frac{r}{R}\right) + 0,0026893.$$

Дослідження впливу неоднорідностей потоку на роботу перетворювача проводилися за оцінюванням величини похибок вимірювання, впливу на вимірюване середовище, що характеризується втратою тиску на приладі та значень, запропонованого в роботі, коефіцієнту ефективності, який комплексно відображає точність вимірювання і дію на потік [3]

$$K_{\text{еф}} = \frac{(1-\delta)}{\Delta p^2},$$

де δ - похибка реєстрації витрати;

Δp - втрата тиску потоку на перетворювачі.

При оцінюванні впливу асиметричності потоку на точність перетворювачів на вхідному перерізі модельної геометрії гідравлічного опору було відтворено епюру швидкостей, яка відповідає розподілу, що утворюється при проходженні потоком відповідного опору на певній відстані від початкового перерізу.

Оцінка впливу асиметрії потоку на роботу гідродинамічних перетворювачів. Проведені дослідження показали, що серед місцевих опорів досить значну неоднорідність потоку індукують просторові коліна (два коліна з поворотом на кут $\pi/2$ рад кожний і розміщених у різних площинах) [4].

Оцінювання якісних і кількісних особливостей роботи приладу, викликаних асиметричністю потоку, проведено для перерізів по протяжності вимірювальної магістралі за чотирьох випадків просторової орієнтації перетворювача відносно його вертикальної вісі. Такі тестування проведені з визначенням комплексного критерію ефективності (рис. 2), похибок вимірювання (рис. 3) та втрати тиску (рис. 4).

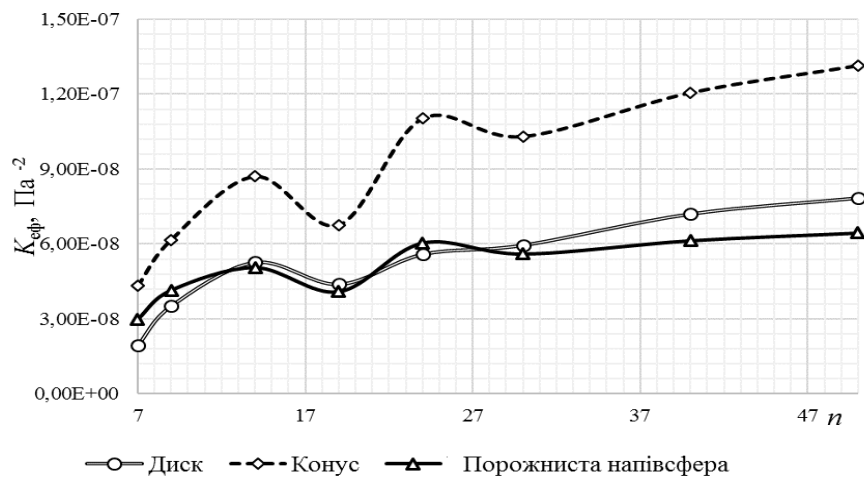
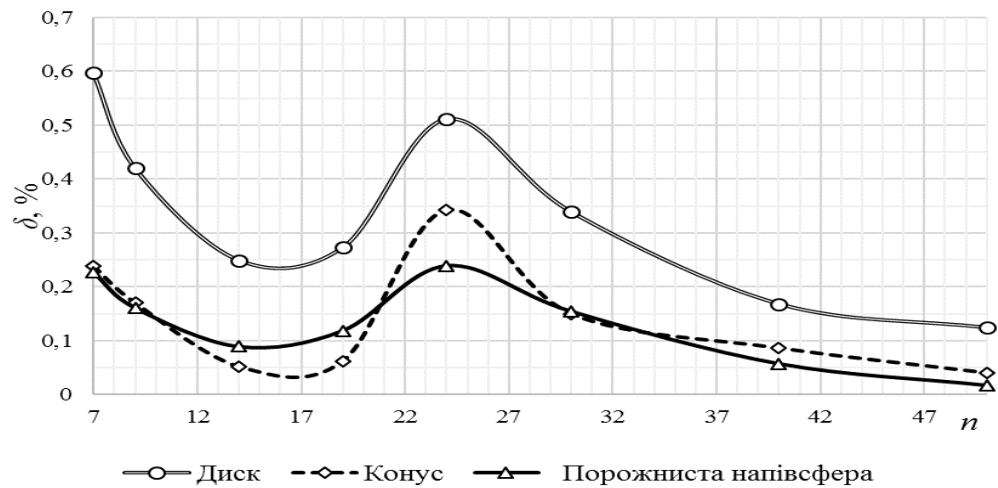
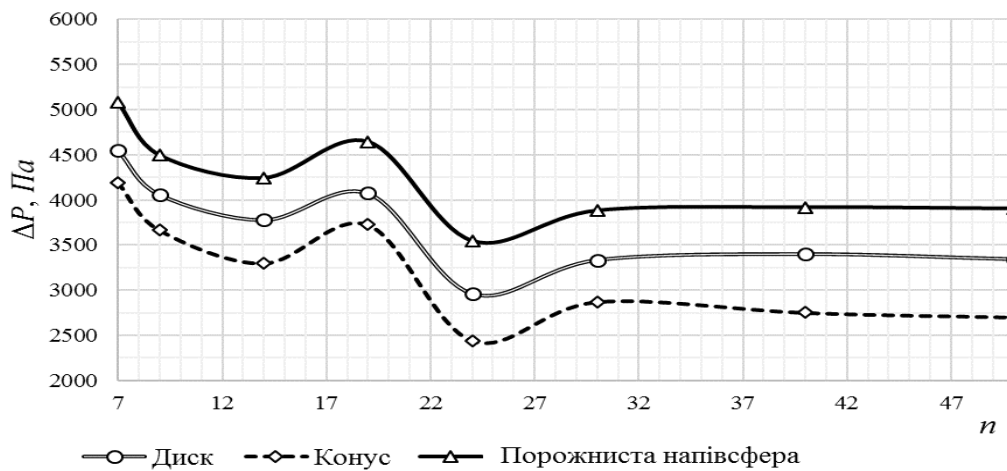


Рис. 2. Критерій ефективності при куті орієнтації приладу $\theta = 0$ рад

Аналіз отриманих результатів показує значну, за комплексним показником ефективності, перевагу, перед іншими, приладу з обтічним тілом просторової форми у вигляді конусу, вершиною спрямованого на зустріч потоку. Такі перетворювачі найменшим чином впливають на вимірюване середовище при близьких значеннях похибки вимірювання.

Досить чітко окреслюються місця найбільш раціонального розміщення перетворювача на технологічній магістралі відносно гідравлічного опору. Після 27-го перетину спостерігається різке зростання показника ефективності, при зменшенні величини похибки вимірювання. Зміна просторової орієнтації приладу відносно вертикальної вісі дає можливість досягти в поперечних перерізах по протяжності технологічної магістралі високу точність вимірювання за мінімального впливу на потік.

Рис. 3. Похибка при куті орієнтації приладу $\theta = 0$ радРис. 4. Втрата тиску при куті орієнтації приладу $\theta = 0$ рад

За аналогічною методикою здійснена оцінка впливу на метрологічні характеристики приладу асиметричності потоку, викликані коліном з поворотом на кут $\pi/2$ рад, двома колінами з поворотами на кут $\pi/2$ рад кожний і розміщених в одній площині, на паспортні характеристики перетворювачів, конфузора, дифузора, раптових розширення та звуження.

Висновки. Дослідження гідродинамічних витратомірів із чутливими елементами різних просторових форм, показали, що найкращими, за умов мінімальної похибки і впливу на вимірюване середовище, є прилади з обтічними тілами у формі конуса, направленою вершиною назустріч потоку. Отримані результати дають чітку картину місць локального розміщення приладів на технологічній мережі за умов максимальної точності і мінімальної дії на вимірюване середовище. Це дозволяє ефективно застосовувати перетворювачі, без огляду на вимоги обов'язкового забезпечення прямих ділянок до і після приладів, у локальних місцях на технологічній мережі із врахуванням конкретних натурних умов організації вимірювання.

1. Коробко І. В. Оптимізація вимірювальних перетворювачів витрати рідини гідродинамічного типу [Текст] / І. В. Коробко // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2013. – Вип. 46. – С. 91–96.
2. Гришанова І. А. Системи CAD/CAE. ANSYS FLUENT [Текст]: підруч. для вузів / І. А. Гришанова, І. В. Коробко. – К.: Дія ЛТД, 2012. – 208 с.
3. Коробко, І. В. Оцінка ефективності вимірювальних перетворювачів витрати рідин і газів [Текст] / І. В. Коробко // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2012. – Вип. 44. – С. 111–117.
4. Коробко, І. В. Оцінка асиметрії потоку рідини при вимірюванні її витрати та кількості [Текст] / І. В. Коробко, Я. В. Волинська // Вісник НТУУ "КПІ". Сер. Приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 91–98.

Стаття надійшла до редакції 10.02.2015.