

## СХЕМОТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ ДАТЧИКА ШВИДКОСТІ ПОТОКУ

В наш час перехід до енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологій в значній мірі визначає перспективи розвитку суднової енергетики. Достовірне вимірювання об'ємної чи вагової витрати рідини при її напірній течії у трубопроводі є основою для забезпечення технологічного обліку в енергозберігаючих та ресурсозберігаючих технологіях та для здійснення розрахунків за ресурси що споживаються.

У суднової енергетиці витрати рідини є одним з основних технологічних параметрів, контроль якого пов'язаний з керованістю теплоенергетичних процесів. В свою чергу ефективність цього контролю забезпечується ефективністю засобів вимірювання швидкості потоку технічних речовин, особливо з підвищеним тиском та температурою [1, 2].

Окрім добре відомого метода лазерного доплерівського вимірювання швидкості знайшли поширення датчики, призначені для введення в рухомий потік (рис. 1) [3].

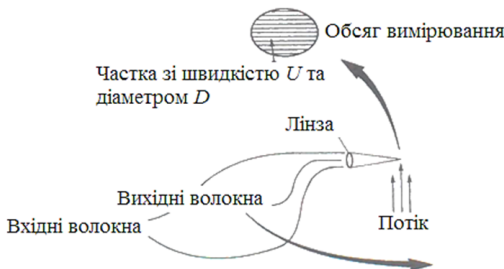


Рис. 1. Волоконний датчик швидкості потоку

Випромінювання підводиться до цього зонду по оптичних волокнах, і він фокусує два світлових пучка всередині поточної речовини. Картина інтерференційних смуг в області перекриття світлових пучків визначає обсяг вибірки. Також по волокнах в електронний блок обробки повертається випромінювання, розсіяне частинками, які проходять крізь картину інтерференції. Швидкість частинок визначається на підставі частотного спектра модуляції за графіком залежності інтен-

сивності випромінювання від часу. У промислових умовах були продемонстровані вимірювання швидкості потоків аж до 100 м/с при точності 0,5 % [3]. Однак довгострокова надійність методів, що вимагають прокладки оптичних волокон в трубах з робочими рідинами, досі не продемонстрована.

Крім того, пристрою притаманні такі недоліки, які обумовлені використанням випромінюючих та приймаючого світловодів, що вводяться у потік робочої речовини та лінзи:

необхідність підтримання в експлуатації торцевої поверхні світловодів з надзвичайно високою якістю та чистотою для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції;

необхідність наявності складної системи компенсації деградації старіння та порушення геометрії розташування світловодів внаслідок теплового поширення її елементів;

необхідність додаткового захисту світловодів від впливу підвищеного тиску й температури робочої речовини.

Найбільш близьким за технічною сутністю та результатом, що досягається, є волоконно-оптичний датчик швидкості потоку турбулентного типу, що складається з основи з профільованої деталі, яка закріплена на внутрішній поверхні трубопроводу, рухливого стрижня, жорстко зв'язаного з мембраною та випромінюючим світловодом та приймаючим світловодом [4]. Вимірювач швидкості виконує вимірювання об'ємної швидкості потоку рідини при температурі речовини аж до 325 °С. З'єднаний в стик волоконно-оптичний чутливий елемент перетворює періодичні механічні рухи, викликані вихроутворенням, в модульований світловий сигнал, який в свою чергу реєструється і перетворюється фотодіодами в електричний сигнал (рис. 2).

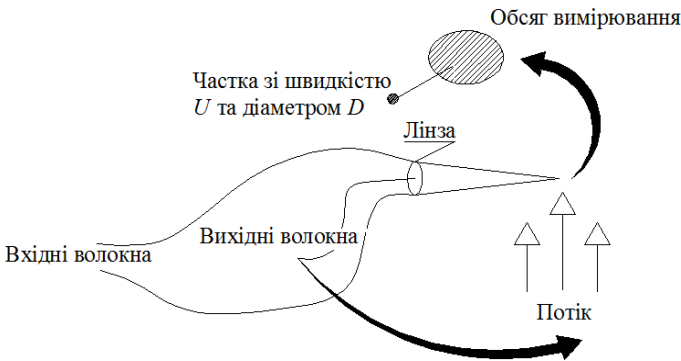


Рис. 2. Датчик швидкості потоку турбулентного типу

При розробці враховані механічні властивості рідини та в потік поміщено перешкоду, позаду якої виникає періодична турбулентність. Частота виникнення обумовлених перешкодою турбулентних вихорів пропорційна швидкості потоку. Зміщення цього рухомого стрижня передаються волоконно-оптичному чутливому елементу, що знаходиться за межами труби, через мембрану в стінці труби (не показана). Мембрана служить як перемичкою, так і точкою кріплення для рухливого стрижня. Вхідне оптичне волокно механічно приєднано до рухомого стрижня. Друге, вихідне оптичне волокно нерухомо зафіксовано. Частота обумовлених переміщеннями коливань вхідного волокна пропорційно швидкості потоку.

Недоліки пристрою, які обумовлені використанням мембрани та пари світловодів:

- необхідність постійної корекції взаєморозташування світловодів внаслідок термічного поширення елементів датчика та трубопроводу;

- неможливість застосування на трубопроводах високого тиску із-за наявності послабленої ділянки в районі закріплення мембрани;

- неможливість компенсації деградаційних процесів, що плінуть з різною швидкістю, на мембрану та світловоди;

- необхідність підтримання в експлуатації торцевої поверхні світловодів з надзвичайно високою якістю та чистотою для уникнення створення умов для появи паразитної модуляції.

Таким чином, актуальним є створення волоконно-оптичного датчика швидкості потоку, у якому підвищена захищеність елементів, збережені високий рівень чутливості та швидкодія пристроїв турбулентного типу та одночасно забезпечена міцність елементів датчика на рівні аналогічних характеристик трубопроводу.

Поставлена задача вирішується тим, що волоконно-оптичний датчик швидкості потоку, що складається з корпусу з фланцями на кінцях та профільованими деталями, що змонтовані на внутрішній поверхні корпусу, набору чутливих елементів - волоконно-оптичних катушок, змонтованих на зовнішній поверхні корпусу зі зсувом відносно положення профільованих деталей, оптичних комунікативних ліній та полімерного захисного шару на корпусі (рис. 3).

Для здійснення винаходу застосовано комбінацію профільованих деталей 2 та чутливих елементів - волоконно-оптичних катушок 3. Корпус 1 з фланцями використовуються для монтажу та взаємної фіксації елементів датчика та для монтажу датчика у трубопровід. Полімерний захисний шар 4 використовується для запобігання пошкоджень елементів пристрою.

У статичному режимі (відсутності потоку) крізь волоконно-оптичні катушки надходить випромінювання. Рівень інтенсивності

цього випромінювання фіксується як фоновий та обнуляється блоком обробки інформації.

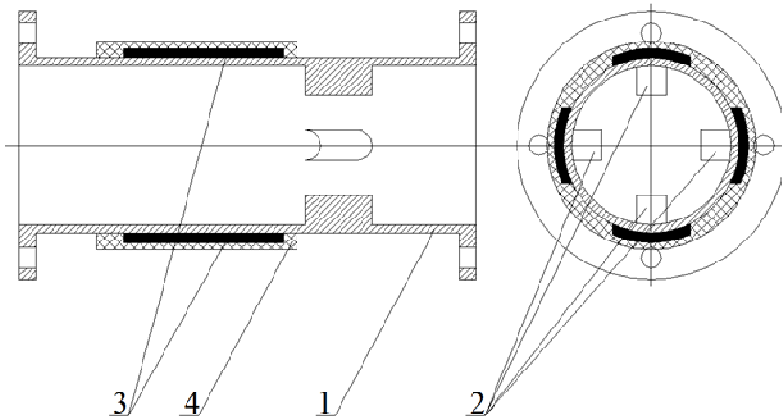


Рис. 3. Волоконно-оптичний датчик швидкості потоку: 1 – корпус з фланця-ми; 2 – профільовані деталі; 3 – чутливі елементи - волоконно-оптичні котуш-ки; 4 – полімерний захисний шар

При проходженні потоку робочої речовини крізь корпус датчика відбувається взаємодія потоку з профільованими деталями. Внаслідок чого поза профільованими деталями утворюється зона періодичної турбулентності - вихрова доріжка Кармана. Доріжка Кармана спостерігається при обтіканні рідиною або газом протяжних лінійно витягнутих погано обтічних профілів з поздовжньою віссю, перпендикулярною напрямку руху суцільного середовища. Відрив вихорів відбувається з двох сторін тіла по черзі. Після зриву вихори утворюють два ланцюжки позаду тіла. Обертання вихорів в ланцюжках відбувається в протилежних напрямках. Явище має місце при обмежених значеннях  $Re$  - числа Рейнольдса (наприклад, для циліндрів  $Re = 47 \dots 105$ ) [5]. Розміри доріжки залежать від розміру обтічного тіла, при цьому існує лінійна залежність між шириною доріжки і відстанню між сусідніми вихорами. Частота вихорів  $f$  в першому наближенні пропорційна швидкості потоку  $v$  і залежить від безрозмірного критерію  $Sh$  (число Струхала) і ширини тіла обтікання  $d$ :

$$f = Sh \cdot v / d.$$

Механічні коливання з частотою  $f$ , які супроводжують утворену турбулентність, передаються до чутливих елементів - волоконно-

оптичних катушок. Волоконно-оптичні катушки переходять у "гідрофонічний" режим [6, 7].

Таким чином, у світловодах, що утворюють катушки, здійснюється порушення умов повного внутрішнього відбивання світла. Порушення умов повного відбивання світла у світловодах катушок знаходить своє відображення у зміні величини інтенсивності світлового випромінювання. Величина зареєстрованого випромінювання є пропорційною до величини частоти виникнення обумовлених профільованими деталями турбулентних вихорів та швидкості контрольованого потоку.

Запропоноване схемотехнічне рішення датчика відрізняється тим, що чутливі елементи винесені поза зону потоку робочої речовини та корпус датчика є рівним по механічним характеристикам до елементів трубопроводів на яких він змонтований. Тим самим забезпечується вимір швидкості потоку робочої речовини з підвищеним тиском та температурою без безпосереднього контакту чутливого елемента з потоком.

Таким чином, комбінація оптичних елементів та профільованих деталей забезпечує такий технічний ефект:

захист та ремонтпридатність чутливих елементів завдяки розташуванню поза зону потоку робочої речовини з підвищеним тиском та температурою;

надійність датчику завдяки тому що матеріал корпусу датчика та профільованих деталей має ідентичні механічні характеристики що й матеріал відповідних трубопроводів;

підвищення якості функціонування за рахунок застосування набору профільованих деталей та волоконно-оптичних катушок.

Застосування розробленого датчика швидкості потоку дозволить адекватно и достовірно оцінювати кількісні показники параметрів робочих речовин в суднових системах.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Неразрушающий контроль: справочник. В 8 т. Т 1. / под ред. В.В. Клюева. В 2 кн. Кн. 1. Соснин Ф.Р. Визуальный и измерительный контроль. – 2 изд. – М.: Машиностроение, 2008. – 560 с.

2. Конструкция и проектирование авиационных газотурбинных двигателей. /С. А. Вьюнов, Ю. И. Гусев, А. В. Карпов и др.; Под общ. ред. Д. В. Хронина. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

3. K. Kyuma et al., Application Optic 20, 2424 –1981. p. 300.

4. Удд, Э. Волоконно-оптические датчики. – М.: Техносфера, 2008. – 520 с.
5. Повх, И.Л. Техническая гидромеханика. – М.: Машиностроение, 1976. – 504 с.
6. Красюк, Б.А., Семенов, О.Г., Шереметьев, А.Г., Шестериков, В.А. Световодные датчики. – М.: Машиностроение, 1990. – 256 с.
7. Гуляев, Ю.В., Меш, М.Я., Проклов, В.В. Модуляционные эффекты в волоконных световодах и их применение. – М.: Радио и связь, 1991. – 152 с.