

*М.В. Андрієнко, канд. іст. наук, О.В. Кириченко, канд. техн. наук,
Є.О. Тищенко, канд. техн. наук
(Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля)*

ВИЯВЛЕННЯ ТА ДІАГНОСТИКА ПАРАМЕТРІВ АВАРІЙНОГО ВИТОКУ ВОДНЮ

Розглянуто питання гарантування безпеки водневих енергоустановок. Запропонована більш надійна система контролю можливого витоку водню завдяки удосконаленню датчика для вимірювання пульсаційних швидкостей газу в умовах високих температур.

Ключові слова: пористий датчик, воднева безпека, гарячий газ, воднева енергетика

Постановка проблеми. В період енергетичної кризи, коли остаточно стало зрозумілим, що запаси органічного палива на землі обмежені, а темпи їх використання загрозливо зростають, а отже, необхідна розробка альтернативних нетрадиційних енергетичних систем [1], водень вважається найбільш перспективним енергоносієм майбутнього, оскільки він є екологічно чистою речовиною (при його спалюванні виділяється вода), а запаси сировини для його отримання (вода) практично необмежені.

До серйозних недоліків водню, які суттєво стримують його більш широке застосування, належить його висока пожежовибухонебезпечність (тільки ацетилен є більш вибухонебезпечним газом [1]). Воднева безпека є однією з ключових проблем при гарантуванні безпеки АЕС [2]. Тому особливу увагу слід приділяти питанням пожежовибухонебезпечності під час роботи з воднем.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Завдяки унікальним теплофізичним властивостям, водень є одним з найбільш високоенергетичних палив, енергомістким теплоносієм і робочою речовиною енергоустановок. Його енергомісткість втричі вища за бензин, а при згорянні він практично не утворює шкідливих викидів. В літературі достатньо детально описані властивості водню і переваги його використання [3, 4]. Відповідно до прогнозів [5, 6], до 2025 року в країнах – членах Міжнародного енергетичного агентства (США, Канада, Бельгія, Нідерланди, Швеція, Швейцарія і Японія) споживання водню збільшиться в 12-17 разів, причому на енергетичне споживання припадатиме в середньому 85% від загального споживання водню відповідно до енергетичних прогнозів, ціни на водень, отриманий не промисловим шляхом, будуть поступово знижуватись, і до 2025 року будуть співставними з цінами на бензин. В Україні і країнах близького зарубіжжя споживання водню повинно збільшитись в середньому на 15%. Це ще раз підкреслює велике значення водневої енергетики, її ролі в вирішенні енергетичних і екологічних проблем.

Постановка задачі та її розв'язання. Вимірювання середньої швидкості високотемпературного потоку газу має важливе значення для експериментального дослідження теплообміну і контролю роботи різноманітних енергетичних установок, а також для створення ефективних пристроїв промислових засобів контролю та пожежної сигналізації [7]. Особливо важливий такий контроль при аваріях на АЕС, оскільки він дає змогу відновити розвиток термодинамічної картини аварії і надати рекомендації щодо усунення її причин для АЕС подібного типу. Одним з поширених методів є термоанемометричний спосіб вимірювання, принципова схема якого представлена на рис. 1 [8]. Чутливим елементом є тонка (0,2-10 мкм) металічна нитка що нагрівається (1), котра при попаданні в зону високотемпературного (близько 1200 К) потоку газу (2) згорає.

Для подолання цього обмеження необхідна більш надійна система контролю. Пропонується спосіб вимірювання, схема котрого наведена на рис. 2. Датчик (1) являє собою пористу трубку, крізь котру продувається охолоджуючий газ (2), масова витрата котрого вимірюється витратоміром (3). На відміну від прототипу (рис. 1), на датчик не подається електрична потужність.

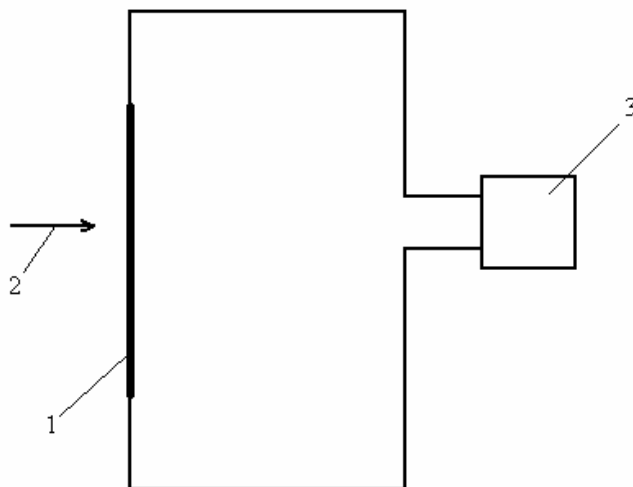


Рис. 1. Термоанемометричний спосіб вимірювання:
1 – датчик; 2 – гарячий газ; 3 – термоанемометр

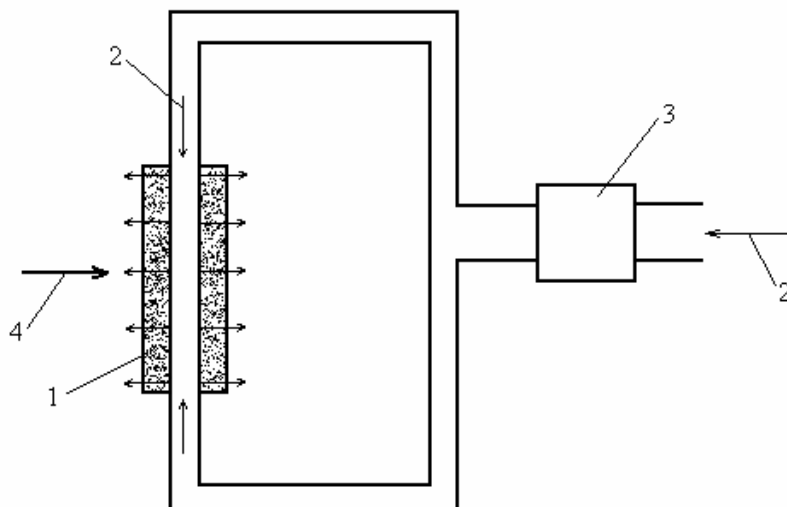


Рис. 2. Запропонований спосіб вимірювання:
1 – датчик; 2 – охолоджуючий газ; 3 – витратомір; 4 – гарячий газ

При обтіканні такого датчика високотемпературним потоком газу температура пористої трубки завдяки охолодженню може підтримуватись на необхідному для безвідмовної роботи рівні.

Теплофізичні основи роботи датчика полягають в наступному. Температура зовнішньої поверхні пористої трубки практично залежить тільки від витрати газу, що продувається, при незмінних параметрах основного потоку газу. Тому необхідно побудувати градуйовану залежність масової питомої витрати охолоджуючого газу j_w від температури поверхні пористої трубки T_w :

$$j_w = f(T_w) \quad (1)$$

В процесі тарування змінюється температура пористої трубки і підтримується постійна величина перепаду тиску між внутрішньою і зовнішньою поверхнями трубки. В процесі

визначення швидкості потоку горючого газу, створивши перепад тиску, як на тарувальній кривій, необхідно змінити лише масову витрату охолоджуючого газу. За отриманим значенням витрати по тарувальній кривій знаходять температуру пористої трубки, а потім по отриманій далі формулі знаходять швидкість потоку горючого газу.

Рівняння теплового балансу для пористої трубки має такий вигляд:

$$\alpha_w (T_g - T_w) = j_w c_p (T_w - T) \quad (2)$$

де T_w – температура зовнішньої поверхні трубки; T_g – температура гарячого газу; T – температура охолоджуючого газу, що продувається, на вході в датчик; α_w – середній по поверхні коефіцієнт тепловіддачі від зовнішньої поверхні трубки до гарячого газу.

Середній для поверхні коефіцієнт тепловіддачі при однакових параметрах потоку газу в зоні вимірювання в «еталонному» пограничному шарі можна надати в вигляді [9]:

$$\alpha_w = \alpha_0 \psi_b \quad (3)$$

де α_0 – коефіцієнт тертя в «еталонному» пограничному шарі [9] на поверхні трубки; ψ_b – відносний закон тертя для продування газу [10].

Для зони вимірювання α_0 знаходиться в критеріальній залежності [8] від діапазону зміни числа Рейнольдса $0,01 < Re < 10000$ для повітря і двохатомних газів:

$$Nu_0 = 0,42 Pr^{0,2} + 0,57 Pr^{0,33} Re^{0,5} \quad (4)$$

де $Nu_0 = \frac{\alpha_0 d_2}{\lambda}$ – число Нуссельта; $Re = \frac{\rho w d_2}{\mu}$ – число Рейнольдса; Pr – число Прандтля;

λ – коефіцієнт теплопровідності гарячого газу; μ – коефіцієнт кінематичної в'язкості; w – швидкість гарячого газу; ρ – густина гарячого газу; d_2 – зовнішній діаметр пористої трубки. Всі теплофізичні властивості газу, що входять в формулу (4), визначаються залежно від температури зовнішньої поверхні трубки.

Формули (2) і (4) можна привести до такого вигляду, що дає змогу виміряти середню швидкість високотемпературного потоку газу:

$$\sqrt{w} = \left[\frac{j_w d_2 (T_w - T)}{\lambda \psi_b (T_g - T_w)} - 0,42 Pr^{0,2} \right] \frac{\mu^{0,5}}{0,57 Pr^{0,33} \rho^{0,5} d_2^{0,5}} \quad (5)$$

Вибір матеріалу і розрахунок розмірів пористої трубки необхідно визначати з врахуванням її теплового стану при її обтіканні гарячим газом.

Висновки. Таким чином, чутливість запропонованого датчика для вимірювання пульсаційних швидкостей газу, навіть з урахуванням великої теплової інерції пористого датчика, в порівнянні з відкритою металевією ниткою, є суттєво кращою, ніж в звичайно датчика.

Список літератури:

1. **Атомно-водородная** энергетика и технология: Сб. статей. Вып. 8. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 272 с.
2. **Шпильрайн Э.Э., Малышенко С.П., Кулешов Г.Г.** Введение в водородную энергетику. – М.: Энергоатомиздат, 1984. – 280 с.
3. **Подгорный А.Н., Варшавский И.Л.** Водород – топливо будущего. – К.: Наук. думка, 1978. – 128 с.
4. **Подгорный А.Н.** Водородная энергетика. – К.: Об-во «Знание» УССР (Сер. 8 «Новое в науке, технике, производстве»; №13), 1988. – 48 с.
5. **Шпильрайн Э.Э., Сарумов Ю.А., Попель О.С.** Применение водорода в энергетике и энерготехнологических комплексах. – В кн.: Атом.-водород: энергетика и технология. – М.: Энергоиздат, 1982. – С. 5-22.

6. **Veziroglu T.N.** Dawn of the hydrogen age // *Hydrogen Energy*. – 1998. – Vol. 23, №12. – P. 1077 – 1079.

7. **Устюжанинов В.Н., Фролова Т.Н., Курысев К.Н.** Применение термоанемометрических датчиков охранно-пожарной сигнализации // *Материалы международной конференции «Системы безопасности – 98» – СБ-98*. – М.: МИПБ МВД РФ., 1998. – С. 232-234.

8. **Хинце И.О.** Турбулентность: её механизм и теория: Пер. с англ. под ред. Г.Н. Абрамовича. – М.: Физматгиз, 1963. – 680 с.

9. **Кутателадзе С.С., Леонтьев А.И.** Теплообмен и трение в турбулентном пограничном слое. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 320 с.

10. **Леонтьев А.И., Пузач В.Г., Набатов Г.В.** Уточнение предельного относительного закона трения на проницаемой пластине со вдувом газа в сжимаемый турбулентный пограничный слой // *Инженерно-физический журнал*. – 1984. – №1. – С. 5-13.

Н.В. Андриенко, А.В. Кириченко, Е.А. Тищенко

ОБНАРУЖЕНИЕ И ДИАГНОСТИКА ПАРАМЕТРОВ АВАРИЙНОГО ИСТЕЧЕНИЯ ВОДОРОДА

Рассмотренные вопросы обеспечения безопасности водородных энергоустановок. Предложена более надежная система контроля возможного истечения водорода за счет усовершенствования датчика для измерения пульсационных скоростей газа в условиях высоких температур.

M. Andrienko, Kirichenko, E. Tishenko

DETECTION AND DIAGNOSTICS OF PARAMETERS OF THE EMERGENCY EXPIRATION OF HYDROGEN

The problems of providing the safety of hydrogen energy installations are dealt with. The more reliable system of control of possible hydrogen leak by means of improvement of meter for measuring pulsing gas velocity under high temperature conditions is suggested.

