

УДК 543.272.1

Мирон Кузик

НУ "Львівська політехніка",
кафедра теплотехніки та теплових електростанцій

ПОЛЯРОГРАФІЧНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВМІСТУ КИСНЮ У ВОДІ ТЕПЛОТЕХНІЧНИХ ПРИСТРОЇВ

© Кузик Мирон, 2001

The paper offers new concept of polar-graphic sensor to be used in devices that control the saturation of water with the oxygen in the temperature range 10-85°C. The ultrasonic mixer makes it possible to use the sensor in the environments with low level of water circulation.

Одним із факторів підвищення надійності й економічності енергоблоків та інших теплотехнічних пристроїв є забезпечення їх водним теплоносієм високої якості, при якому істотно сповільнюється корозія конструкційних матеріалів. Традиційні методи ручного епізодичного або дискретного хімічного контролю, як правило, трудомісткі, дорогі (за рахунок витратних матеріалів), не є достатньо достовірними. Тому особливе значення має організація оперативного контролю, який забезпечує отримання неперервної і достовірної інформації про зміну складу теплоносія по тракту теплоагрегату. Така задача може бути вирішена за допомогою автоматичних постійно діючих аналізаторів, які забезпечують неперервний контроль за показниками якості води.

Метою нашої роботи є висвітлення питань розробки аналізаторів, насамперед їх первинних перетворювачів, для неперервного контролю – моніторингу вмісту кисню у воді теплоагрегатів. Розробка аналізатора починається з вибору фізико-хімічного принципу роботи первинного перетворювача, підбору матеріалів і розробки конструкції, оцінки метрологічних характеристик, надійності, вартості, довговічності, експлуатаційних характеристик.

Першими аналізаторами, які забезпечували моніторинг вмісту кисню у воді теплотехнічних установок, були кондуктометричні аналізатори АК-298, АК-300 і АКП-201. Їх робота базувалась на взаємодії металічного талію з розчиненим у воді киснем з утворенням гідроксиду талію. Вимірний приріст електричної провідності води після її взаємодії з талієм був пропорційний до вмісту кисню. Цей приріст перетворювався в електричний сигнал. Згадані аналізатори були важкими (40–60 кг), громіздкими і достатньо складними в експлуатації, оскільки застосування металічного талію вимагало певних процедур з очищення води, а також його періодичної регенерації. Необхідно врахувати, що талій є дорогою і значною мірою токсичною речовиною.

Наступним кроком до застосування аналізаторів розчиненого у воді теплоагрегатів кисню була розробка в середині 80 – х років в Тбіліському НВО "Аналітприлад" киснеміра мембранного типу АКП-205 з подальшим впровадженням його в серійне виробництво. Принцип роботи АКП-205 ґрунтується на амперметричному способі вимірювання концентрації кисню закритою електродною системою. Але перед розглядом цього способу слід згадати, що в СРСР з початку 80 – х років на багатьох електростанціях використовувались мембранні амперметричні киснеміри моделі 9430 (Великобританія) з такими діапазонами вимірювання, в мкг/ кг O₂: 0 – 20, 0 – 50, 0 – 200. Температура проби

повинна знаходитись в діапазоні від 10 до 40 °С. Габаритні розміри киснеміра – 150×550×590 мм, маса – 20 кг.

Для порівняння наведемо технічні характеристики АКП-205. Діапазони вимірювання концентрації кисню, мкг/л: 0 – 25; 0 – 100; 0 – 250; 0 – 500. Параметри води, яка аналізується: температура від 10 до 40 °С, тиск від 0,1 до 2 МПа. Граничне допустиме значення основної приведенної похибки – 4 % від верхнього значення діапазону вимірювань. Габаритні розміри блока давача – 270×160×120 мм, вимірювального перетворювача – 320×172×120 мм, загальна маса – 7,5 кг.

Робота амперметричного (надалі полярографічного – що, на наш погляд, точніше) первинного перетворювача концентрації кисню базується на зміні граничного дифузійного струму I_d електровідновлення молекул O_2 на поляризованому катоді електрохімічної комірки. Залежність струму I_d від концентрації O_2 є лінійною. Крім того, такі перетворювачі мають високу селективність. Сьогодні використовуються так звані закриті полярографічні перетворювачі, в яких електролітична комірка, що складається з катода, анода і електроліту, відділена від водного середовища спеціальною газопроникною мембраною. Це запобігає забрудненню поверхні електродів і тим самим стабілізує характеристики перетворювача. На систему анод – катод подається напруга 600 – 800 мВ, яка відповідає потенціалу електровідновлення кисню. В деяких конструкціях перетворювачів, зокрема в згаданій вище моделі киснеміра 9430, підбиранням матеріалів катода і анода реалізується гальванічний елемент, величина електрорушійної сили якого лежить у вказаному діапазоні напруг. Отже, відпадає необхідність подачі на електроди напруги із зовнішнього джерела. Найвища стабільність перетворювачів забезпечується при виготовленні катода з платини, а анодом служить хлорсрібний (Ag / AgCl) напівелемент. Як мембрану використовують переважно фторопластову плівку товщиною від 10 до 50 мкм. Електролітом служать різноманітні водні, інколи загущені, буферні розчини.

Загалом значення граничного дифузійного струму в закритій електрохімічній комірці (первинному перетворювачі) визначається за формулою [2]

$$I = nFP_m S \frac{C_{O_2}}{\delta}, \quad (1)$$

де n – кількість електронів, які беруть участь в реакції електровідновлення молекули кисню на катоді; F – число Фарадея; P_m – коефіцієнт проникності мембрани по кисню; S – площа катода; C_{O_2} – концентрація кисню, який розчинений у воді, що піддається аналізу; $\delta = \delta_1 + m$, де: δ – загальна товщина дифузійного шару; δ_1 – товщина дифузійного шару в межах середовища, яке аналізується; m – товщина мембрани.

Враховуючи ту обставину, що електровідновлення кисню на поверхні катода проходить практично миттєво, фактором, який визначає швидкість реакції, а значить і величину I_d , є швидкість дифузії кисню до катода, яка пропорційна товщині дифузійного шару δ . Для стабільної роботи перетворювачів необхідно забезпечити умову $m \gg \delta_1$, тобто товщина дифузійного шару повинна знаходитись в основному в межах мембрани. Це досягається або застосуванням тонких катодів і товстих мембран, або інтенсивним перемішуванням середовища, яке аналізується. Застосування вказаних катодів і мембран приводить до зменшення споживання кисню і, відповідно, I_d , що небажано з погляду достовірності і завадостійкості сигналу. Перемішування води біля перетворювача реалізу-

ється встановленням останнього в потік рідини або застосуванням спеціальних перемішувачів, наприклад, магнітних. При використанні киснемірів у теплотехнічних установках, наприклад, деаераторах, встановлення перемішувачів ускладнює і конструкцію установки, і її експлуатацію і часто є неможливим. Встановлення киснеміра в потік рідини теж вимагає організації потоку. З погляду універсальності застосування киснемірів повинна існувати можливість їх встановлення в будь-якому місці тракту теплоносія теплотехнічної установки без огляду на необхідність додаткового забезпечення перемішування рідини біля поверхні мембрани. Вирішення саме такого завдання є метою автора.

З наведених вище характеристик киснемірів, зокрема АКП-205, видно, що вони працюють при температурах не вище за 40 °С, тобто теплоносій перед потраплянням в киснемір повинен пройти через пристрій підготовки проб для зниження температури і тиску. Тому ще одне наше завдання полягало в розробці такої конструкції перетворювача, яка б забезпечувала його працездатність в діапазоні температур від 10 до 85 °С. За рахунок цього такий перетворювач може бути безпосередньо встановлений в тракті теплоносія як перед, так і за вакуумним деаератором.

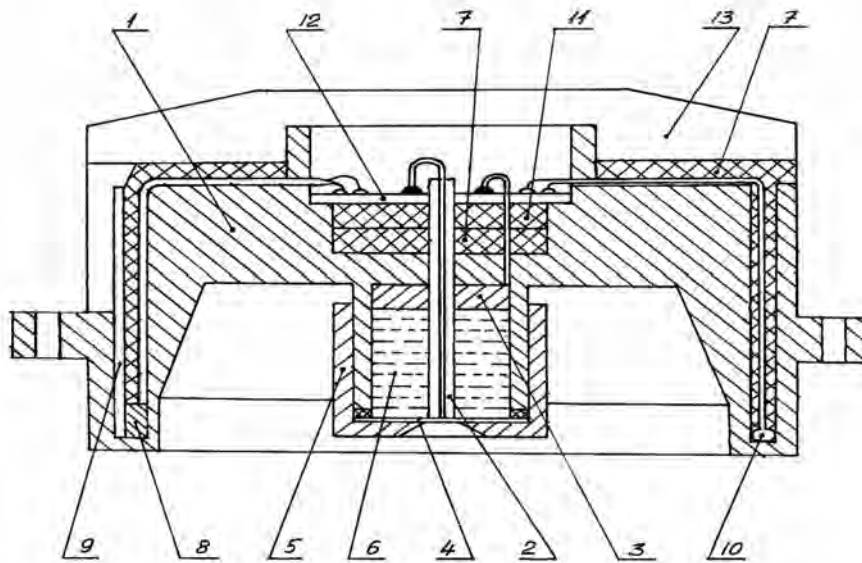
Зауважимо, що сьогодні в Україні відсутнє власне виробництво киснемірів для роботи в трактах теплотехнічних установок.

Розроблена нами конструкція перетворювача киснеміра, який може працювати при температурах до 85 °С, і для роботи якого не потрібно додаткового перемішувача, подана на рисунку.

Перетворювач складається з трьох основних частин – електролітичної комірки, вузла акустичного випромінювача і корпусу. Конструктивно електролітична комірка (катод – анод – електроліт – мембрана) виконана в традиційному аксілярному варіанті, а саме в центрі скляного капіляра вмонтовано платиновий катод, навколо капіляра розміщено хлорсрібний дископодібний анод. Фторопластова мембрана, яка закріплена в спеціальному вузлі, щільно облягає відполірований торець капіляра. Міжелектродний простір заповнено електролітом, який являє собою 0,2 н розчин КСІ у буферному розчині. Останній загущено пропіленгліколем. У корпусі перетворювача також розміщений термістор, який дає змогу визначати температуру теплоносія.

Основна проблема при конструюванні електродної комірки полягає в забезпеченні високого опору електричної ізоляції кола катод – анод. Саме значення цього опору визначає так званий залишковий струм, тобто величину I_d при $C_{O_2} = 0$. Якщо робоче значення I_d становить 10 нА, то опір ізоляції (на постійному струмі) повинен бути більшим за 5×10^9 Ом. Забезпечення таких опорів в умовах постійної вологи і підвищеної (в нашому випадку) температури вимагає використання високоякісних водостійких і водонепроникних конструктивних матеріалів, компаундів і клеїв. Останні повинні бути достатньо еластичні, враховуючи значний температурний діапазон роботи перетворювача (10 – 85 °С). Ми використовували герметики і компаунди виробництва НДІ “Еластик” (м. Київ), що забезпечило надійну роботу макетних зразків.

Питання перемішування води біля поверхні мембрани нами було вирішено шляхом генерації ультразвукової хвилі в площині, дотичній до поверхні мембрани за допомогою п'єзокерамічного елемента. Як показали експерименти на макетах, при потужності ультразвукової хвилі приблизно 2 Вт/см у вказаній площині виникає направлений потік рідини, швидкість якого становить декілька см/с. Очевидно, ми спостерігаємо так звану акустичну течію [3] в пограничному шарі.



Конструкція експериментального зразка полярографічного перетворювача киснеміра:
 1 – корпус перетворювача; 2 – катод; 3 – анод; 4 – мембрана; 5 – вузол кріплення мембрани;
 6 – електроліт; 7 – ізолюючий компаунд; 8 – п'єзокерамічна пластина;
 9 – тепловідвідна пластина; 10 – термістор; 11 – клей-герметик; 12 – плата; 13 – кришка

Окрім направленої руху, частинки води здійснюють коливний рух навколо дрейфуючого центра, причому при потужності 1 Вт/см амплітуда коливної швидкості частинок дорівнює приблизно 11 см/с [3]. П'єзокерамічна пластина працювала в режимі генерації пакетів імпульсів тривалістю 0,8 с з інтервалом між пакетами приблизно 0,5 с. Такий режим запобігає виникненню ультразвукової дегазації води. Зрештою, в зону акустичної течії потрапляють все нові частини води і за час (одиниці секунди) перебування в ній можливою дегазацією можна знехтувати. Крім того, потужності ультразвукового поля та конфігурація відповідних частин перетворювача не повинні сприяти розвитку кавітаційних явищ, що перевіряється експериментально. На цьому етапі ми не ставили завдання детального вивчення перемішування теплоносія ультразвуковою хвилею, зокрема залежність ефекту від частоти та інших характеристик ультразвукової хвилі. Ми встановили, що таке перемішування є рівноцінним ефекту перемішування за допомогою магнітних мішалок, отже, воно стабілізує товщину дифузійного шару, а значить, і чутливість перетворювача. Згаданий коливний рух частинок рідини може становити додатковий інтерес в плані утворення осаду (накипу) солей на поверхні мембрани, який може викликати зміну характеристик перетворювача.

Очевидно, що блок приладу киснеміра повинен містити схему ультразвукового генератора, напруга з якого подається на вмонтований в корпусі перетворювача п'єзокерамічний елемент.

Для градування киснеміра необхідно воду, з якою контактує перетворювач, привести в повну газову рівновагу з відомим за складом і тиском газом. Найдоступнішим газом з відомим складом є атмосферне повітря. Пропусканням його через воду протягом 0,5 – 1,0 год досягається її насичення повітрям і, відповідно, киснем. Концентрація $C_{O_2}^H$ кисню у воді визначається за формулою

$$C_{O_2}^H = C_{O_2}^0 \frac{P}{P_0}, \quad (2)$$

де $C_{O_2}^H$ – рівноважна концентрація кисню у воді при температурі повітря t_{gr} в приміщенні, де проводиться градування; $C_{O_2}^o$ – рівноважна концентрація кисню в воді при t_{gr} і стандартному атмосферному тиску, яка табульована залежно від температури, наприклад [4]; P – атмосферний тиск в приміщенні, де знаходиться перетворювач; $P_o = 101,325$ кПа – стандартне значення атмосферного тиску.

Після зрівноваження води з атмосферним повітрям вимірюють струм перетворювача $I_{пер}$ на його виході або струм киснеміра на виході схеми підсилення. Коефіцієнт перетворення $S_{пер}$ визначають за формулою

$$S_{пер} = \frac{I_{пер}}{C_{O_2}^H}. \quad (3)$$

Очевидно, це справедливо при можливості нехтування залишковим струмом.

Цей коефіцієнт перетворення визначений при температурі t_{gr} і з нижчезказаних причин він є справедливим лише при цій температурі. Річ у тім, що для закритих полярографічних перетворювачів існує значна залежність коефіцієнта перетворення від температури, приблизно (2,5–5) % на градус. Загалом температурний коефіцієнт dS/dt залежить від матеріалу і товщини мембрани, матеріалу і діаметра катода, рецептури електроліту та інших не до кінця вивчених факторів. Наприклад, для киснеміра АКП – 205 температурний коефіцієнт dS/dt дорівнює 5 %/град в усьому діапазоні температур від 10 до 40 °С. Надалі врахування температури і відповідно dS/dt здійснюється схемним шляхом в блоці киснеміра. Температура визначається за допомогою давача температури, який переважно розміщений в корпусі перетворювача. Ситуацію ускладнює залежність dS/dt від температури, якою в значному температурному інтервалі не можна нехтувати. Оскільки запропонована нами модель перетворювача розрахована на роботу в діапазоні від 10 до 85 °С, виникає питання градування і визначення dS/dt в цьому діапазоні. На наш погляд, найраціональніше в цій ситуації проводити градування при розташуванні перетворювача і місткості води, з якою він контактує, в термокамері. Вода при температурі градування зрівноважується нагрітим атмосферним повітрям з термокамери. Вимірюється $I_{пер}$, визначаються $S_{пер}$ і dS/dt при різних температурах в потрібному температурному діапазоні. Врахування залежності dS/dt від температури при роботі киснеміра можна реалізувати схемним шляхом, наприклад, використовуючи середнє для певного температурного діапазону значення dS/dt . Проте найдоцільнішим вважаємо використання в цій ситуації процесора з занесенням характеристик перетворювача в пам'ять. Правда, це вимагатиме, при уточненні характеристик у випадку періодичної перевірки або заміни мембрани, використання спеціального стенда.

При застосуванні перетворювача у вузькому і стабільному діапазоні температур води можна здійснювати періодичну перевірку, порівнюючи покази киснеміра з даними хімічного аналізу проб води, тобто не знімаючи перетворювач з теплотехнічного пристрою. Тому є

доцільним існування спрощеного (в схемотехнічному плані) варіанта киснеміра, в якому передбачено ручне регулювання коефіцієнта перетворення.

Висновок. Отже, нами запропонована конструкція первинного перетворювача концентрації кисню для контролю останнього у воді теплоагрегатів. Ця конструкція, на відміну від існуючих, передбачає роботу в діапазоні температур від 10 до 85 °С, що дає можливість контролювати концентрацію кисню в тракці вакуумних деаераторів без застосування пристроїв підготовки проб. Реалізація в перетворювачі ультразвукового перемішування дає змогу встановлювати його (перетворювач) в слабоциркулюючі об'єми води без додаткового встановлення перемішувачів.

Крім того, розглянуто питання градування перетворювачів, які працюють в розширених діапазонах температур.

1. Живилова Л.М., Маркин Г.П. *Автоматический химический контроль теплоносителя ТЭС.* – М. 1987. 2. Альперин В.З., Конник Э.И., Кузьмин А.А. *Современные электрохимические методы и аппаратура для анализа газов в жидкостях и в газовых смесях.* – М. 1975. 3. *Ультразвук.* / Глав. ред. Голямина И.П. – М. 1979. 4. *Кислородомер мембранный автоматический типа АКП-205. Паспорт 1Е2.850.235 ПС.* 1997.

УДК 621.372

Орест Івахів

НУ “Львівська політехніка”,
кафедра інформаційно-вимірювальної техніки

ЗАСАДИ ДОЦІЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АДАПТИВНО-ЦИКЛІЧНОЇ СИСТЕМИ

© Івахів Орест, 2001

The analog sources serving combine regular-adaptive type system designing practicability in the minimal channel capacity demands with the desired total renovation error sence is investigated in this paper.

Вступ. Вимірювання – обов'язкова складова практичної діяльності людини. Вимірювання не здійснюються заради самих вимірювань. Вони підпорядковані певній меті вивчення природних закономірностей досліджуваного об'єкта, його стану, прогнозування його поведінки на майбутнє. Оскільки об'єкти вимірювання (зокрема, і в теплоенергетиці) ускладнюються, збільшується кількість вимірюваних параметрів, то для їх обслуговування використовуються вимірювальні системи, вимірювально-обчислювальні комплекси та мережі з широкою номенклатурою просторово розподілених вимірювальних перетворювачів – джерел вимірювальної інформації [1]. Ці новітні засоби дають змогу звільнити людину від формалізованого опрацювання вимірювальної інформації, а при їх проектуванні застосовуються сучасні інформаційні технології: компресування [2–6], теорія нейронних мереж [7–16], розмитих множин [17–22] та експертних систем [23–26]. Зокрема, протягом останніх років активно проектують вимірювальні системи, адаптивні до інформаційного потоку, які дають змогу економніше використовувати наявну пропускну здатність каналу зв'язку, обсяги пам'яті, знизити вимоги до швидкодії обчислювальних засобів. Найчастіше