



УДК 621. 317.39

ПРИСТРІЙ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ МІРИ КИСЛОТНОСТІ ВОДИ У СИСТЕМІ ОХОЛОДЖЕННЯ

DEVICE FOR AUTOMATED CONTROL OF MEASURE ACIDITY OF WATER IN COOLING SYSTEM

Удолатій В. Б.
Udolatiy V.

Національний університет "Одеська морська академія", Україна
National University "Odesa Maritime Academy", Ukraine
ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-0069-5161>
E-mail: uvb@te.net.ua

Copyright © 2024 by author and the journal "Automation of technological and business – processes".
This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).
<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI:

Анотація. Стійкість енергетичного встаткування до агресивного впливу охолоджуючих речовин, в основному, забезпечується шляхом добору й використання корозійно-стійких матеріалів. В існуючих реаліях підвищення корозійної стійкості енергетичного встаткування можливо лише за умови правильної організації процесу охолодження на підґрунті достовірного вимірювання достатньої та необхідної кількості величин якості додаткової й циркуляційної води. Тобто параметрів, які характеризують процеси відкладань на теплопередаючих поверхнях і корозії. Обґрунтовано вдосконалення схемотехнічного рішення датчику визначення міри кислотності охолоджувальної води. Науково-технічне завдання, яке створено запитом практики, вирішується тим, що запропонований волоконно-оптичний рН-метр, що складається з основи, віддзеркалюючого шару, основного світловоду, коаксіального світловоду з літієвого скла, первинного та вторинного розгалужувачів, електрооптичних фільтрів, джерело та фотоприймача випромінювання. Основна відмінність від найближчого аналога полягає у застосуванні основного світловоду револьверного типу. Застосування револьверного світловоду у сполученні з оболонкою з літієвого скла дасть змогу у рН-метрі запропонованої конструкції досягти більшої величини чутливості, компенсацію впливу дестабілізуючих факторів за рахунок використання ідентичних матеріалів та збільшення діапазону вимірів величини кислотності середовища. Впровадження до складу суднових інформаційно-вимірювальних систем запропонованого рН-метра дозволить адекватно й вірогідно оцінювати кількісні параметри охолодної води та створювати умови для їх раціонального технічного використання і діагностування об'єктів суднової енергетичної установки.

Abstract. The resistance of power equipment to the aggressive influence of cooling substances is mainly ensured by the selection and use of corrosion-resistant materials. In the existing realities, increasing the corrosion resistance of power equipment is possible only under the condition of proper organization of the cooling process on the basis of reliable measurement of a sufficient and necessary quantity of additional and circulating water quality values. That is, the parameters that characterize the processes of deposits on heat-transfer surfaces and corrosion. The improvement of the circuit design of the sensor for determining the degree of acidity of the cooling water is substantiated. The scientific and technical task, which was created by the request of the practitioner, is solved by the fact that the proposed fiber-optic pH meter consists of a base, a reflective layer, a main light guide, a coaxial light guide made of lithium glass, primary and secondary splitters, electro-optical filters, a source and radiation photoreceiver. The main difference from the closest analogue is the use of a main light guide of the revolving type. The use of a revolving light guide in combination with a shell made of lithium material will allow the pH meter of the proposed design to achieve greater sensitivity, compensation for the effect of destabilizing factors due to the use of identical materials and increasing the range of measurements of the acidity of the medium. The introduction of the proposed pH meter into the ship's information and measurement systems will allow to adequately and reliably evaluate the quantitative parameters of the cooling water and create conditions for their rational technical use and diagnostics of the objects of the ship's power plant.

Ключові слова: датчик кислотності, системи охолодження, револьверний світловод

Key words: acidity sensor, cooling systems, revolving light guide



Вступ. У судновій енергетиці спостерігається негативна тенденція передчасним вилученням обладнання на ремонт та обслуговування через накопичення відкладень на робочих поверхнях. Процеси, які відбуваються, обумовлені недосконалістю водно-хімічними режимами систем охолодження (СО).

Навіть невисокі значення бікарбонатної лужності в охолодній воді створюють умови для появи відкладень на теплопередаючих поверхнях (ТПП) шару карбонатних солей зі швидкістю 0,3 ... 0,5 мм/рік. Шар такої товщини більш ніж у три рази знижує коефіцієнт теплопередачі й на 15 % збільшує гідравлічний опір.

Нешільності теплопередаючого обладнання приводять до присосів заборотної води з неконтрольованими та непрогнозованими відкладанням на ТПП. Видалення небажаних відкладень спричиняє необхідність подовження строків робіт з очищення й збільшенню експлуатаційних витрат. Для боротьби з утворенням відкладень застосовують у зм'якшення води методом содо-вапнування, при цьому в обробленій воді знижується концентрація колоїдних і органічних речовин, лужність і жорсткість бікарбонатна, а концентрація сульфатів і хлоридів залишається без зміни [1 - 5]. Ефективність цього процесу, насамперед, залежить від достовірного вимірювання достатньої та необхідної кількості величин якості додаткової й циркуляційної води, які характеризують процеси відкладень на ТПП і корозії. До таких показників відноситься концентрація водневих іонів (показник pH). Для вимірювання цього показника водного середовища у СО використовуються різноманітні хімічні сенсори.

Загальним для більшості pH -метрів є те, що їх метрологічні характеристики не дозволяють реалізувати ефективне показника кислотності води у СО суднового енергетичного встаткування на достатньому рівні та в режимі реального часу [6, 7].

Причини виникнення обмеження можливостей сучасних pH -метрів визначені на підґрунті аналізу конструкцій найпоширеніших типів pH -метрів.

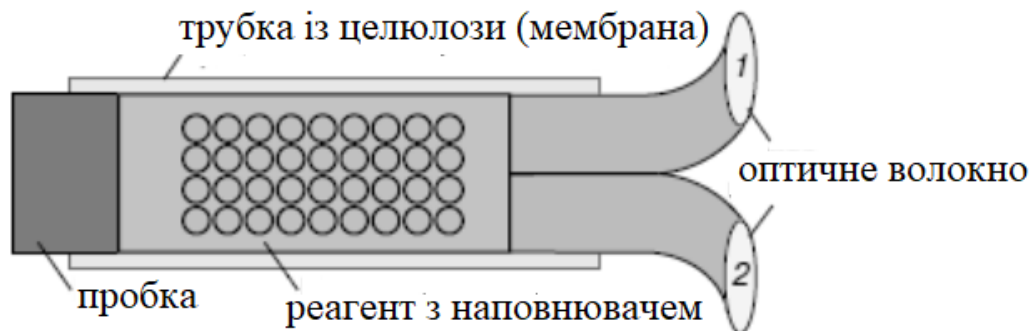
Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Відомі pH -метри, в умовах впливу реальних експлуатаційних чинників, демонструють значне відставання якості вимірювань від лабораторних аналогів.

З оглядом на існуюче становище уявляється актуальним завданням розробки мобільного засобу помірної вартості, який забезпечить підвищення вірогідності процесів вимірювання показника кислотності у достатньому діапазоні за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання.

Для пошуку шляхів поліпшення метрологічних характеристик pH -метрів проаналізовані конструкції найпоширеніших вимірювальних перетворювачів.

Схема одного з поширених типів оборотного волоконно-оптичного pH -метра надана на рис. 1 [7].

Устрій такого сенсора являє собою два пластикових волокна, які вмонтовані в целюлозну трубочку. Трубочка містить барвник фіолетовий червоний, іммобілізований за допомогою ковалентного зв'язування на поліакриламідних мікрокульках. Крім цих мікрокульок усередину трубочки поміщені такого ж розміру кульки з полістиролу для кращого розсіювання світла.



1 – випромінювання від джерела; 2 – випромінювання, яке детектується

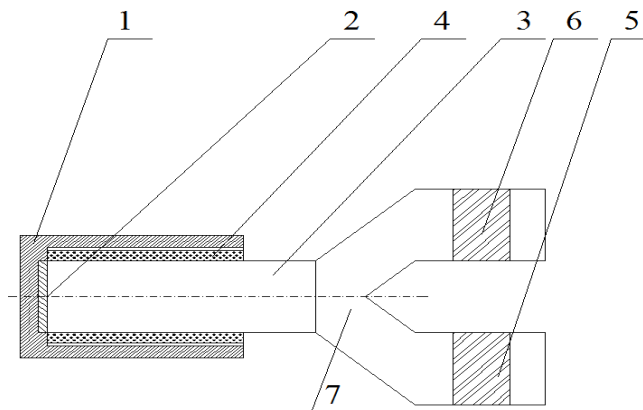
Рис. 1. Схема оборотного волоконно-оптичного pH -метра

Fig. 1. Scheme of a reversible fiber-optic pH meter

Інтенсивність вихідного потоку світла вимірюється детектором, настроєним на відповідну область довжин хвиль. Величина інформативного сигналу обумовлена гасінням флуоресценції реагенту при взаємодії з контрольованим середовищем.

Використання оптичного волокна гарантує інваріантність до багатьох дестабілізуючих факторів. В той же час застосування вимірювального пристрою сполучене з необхідністю компенсації зміни властивостей барвника й рідкого реагенту під впливом флуктуації температури та природніх деградаційних процесів старіння. У відсутності таких заходів суттєво зменшується робочий діапазон pH -метра та знижується вірогідність результатів вимірювання. Підсилюються вказані проблеми застосуванням матеріалів з різними коефіцієнтами теплового поширення, а також надто малим експлуатаційним періодом целюлозної трубки й мікрокульок, що перебувають під впливом контрольованого середовища.

Більш досконалою є конструкція волоконно-оптичного pH -метра на основі літєвого скла (рис. 2) [8].



1 – основа; 2 – віддзеркалюючий шар; 3 – основний світловод;

4 – коаксіальний світловод з літійового скла; 5 – мультиплексор; 6 – демультіплексор; 7 – розгалужувач

Рис. 2. Схема волоконно-оптичного рН-метра на основі літійового скла

Fig. 2. Schematic of a fiber-optic pH meter based on lithium glass

До основи 1 із кварцового скла прикріплений віддзеркалюючий шар із сапфірового скла 2, основний світловод 3, торцевими поверхнями з'єднаний з оптичним розгалужувачем 7 та віддзеркалюючим шаром. Гілки розгалужувача сполучені з мультиплексором 5 та демультіплексором 6, а також коаксіальним світловодом з літійового скла 4.

Головними недоліками зазначеного рН-метра є недостатня чутливість та певна обмеженість, щодо застосування у забруднених нафтопродуктами водах.

Мета і завдання дослідження. Мета дослідження – створення волоконно-оптичного рН-метра, спрощеної конструкції, у якому компенсована залежність від стану зовнішнього середовища та контрольованого середовища, та одночасно збережені високий рівень чутливості та швидкодія пристроїв відомих типів.

Науково-технічне завдання, яке створено запитом практики, вирішується тим, що пропонується волоконно-оптичний рН-метр, що складається з основи, віддзеркалюючого шару, основного світловоду, коаксіального світловоду з літійового скла, первинного та вторинного розгалужувачів, електрооптичних фільтрів, джерело та фотоприймача випромінювання. Основна відмінність від найближчого аналога полягає у застосуванні основного світловоду револьверного типу.

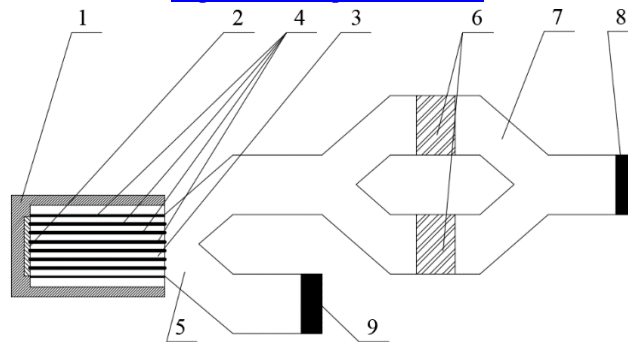
Результати досліджень. Аналіз схеми (рис. 2) показав, що є резерви вдосконалення схеми волоконно-оптичного рН-метра на основі літійового скла в межах існуючої конструкції.

Пристрій працює на основі оптичного тунельного ефекту. Потужність оптичного випромінювання, яка повертається до фотоприймача, визначається як

$$P_R = \left[1 - \frac{\sin^2 CL \sqrt{1 + \left[\left((\beta_R + \beta_E + \beta_H) - (\beta_T + \beta_E + \beta_H) \right) / 2C \right]^2}}{1 + \left[\left((\beta_R + \beta_E + \beta_H) - (\beta_T + \beta_E + \beta_H) \right) / 2C \right]^2} \right] P_0,$$

де P_0 – сумарна оптична потужність; C – коефіцієнт зв'язку між оптичними поверхнями; β_R – стала поширення у основному револьверному світловоді; β_T – постійна поширення у оболонці з літійового скла; β_E – збільшення постійної поширення через еліптичність коаксіальної структури; β_H – збільшення постійної поширення через збурювання, що порушують циркулярну симетрію коаксіальної структури; L – довжина основного світловода, вкритого оболонкою з літійового скла; C – коефіцієнт зв'язку між оптичними хвилеводними елементами [9].

Тобто, збільшити чутливість пристрою можливо за рахунок збільшення площі контакту основного світловода, вкритого оболонкою з літійового скла, з контрольованим середовищем. Для запобігання збільшення габаритних розмірів основного світловода запропоноване таке. Замінити суцільний основний світловод світловодом револьверного типу – світловодом який має декілька наскрізних отворів. Також виконати нанесення оболонки на наскрізні отвори з літійового скла (рис. 3).



1 – основа; 2 – віддзеркалюючий шар; 3 – основний револьверний світловод; 4 – коаксіальний світловод з літійового скла; 5 – первинний розгалужувач; 6 – електрооптичний фільтр; 7 – вторинний розгалужувач; 8 – джерело випромінювання; 9 – фотоприймач

Рис. 3. Схема волоконно-оптичного рН-метра на основі револьверного світловода

Fig. 3. Schematic of a fiber-optic pH meter based on a revolving light guide

Крім того, замінити мультиплексор та демультіплексор керованими електрооптичними фільтрами у кожній гілці оптичного розгалужувача.

У статичному режимі, тобто при відсутності контрольованого середовища з певної величиною pH , в основному револьверному світловоді, відбувається зменшення інтенсивності минаючого оптичного випромінювання, що обумовлене тільки загасанням у матеріалі світловода. Електрооптичні фільтри замкнуті.

При зануренні в еталонне середовище з відомим рівнем pH відбувається фіксація рівня інтенсивності випромінювання. На основі отриманої величини загасання виконується калібрування сенсора. Електрооптичні фільтри замкнуті.

При зануренні в контрольоване водне середовище від джерела випромінювання через один з відкритих електрооптичних фільтрів випромінювання з відповідною довжиною хвилі надходить до основного револьверного світловоду. Далі відбувається тунелювання оптичного випромінювання з основного світловода, через оболонку з літійового скла, назовні. Після цього випромінювання зі зміненою інтенсивністю відбивається від віддзеркалюючого шару і через відповідну гілку розгалужувача надходить до фотоприймача [11, 12]. При контакті коаксіального світловода з літійового скла з кислотним розчином на поверхні літійового скла утворюється шар зі зміненим коефіцієнтом заломлення. Поява цього додаткового шару ініціює порушення умов повного внутрішнього відбиття світла. Як наслідок, виникає порушення умов тунельного перекачування випромінювання з основного світловода назовні. Інтенсивність зареєстрованого випромінювання, перетвореного в електричний сигнал, буде пропорційна величині кислотності охолодної води.

Після закінчення контакту літійового скла з кислотним середовищем відбувається відновлення його оптичних властивостей.

Висновки і перспективи подальших досліджень. Застосування револьверного світловода у сполученні з оболонкою з літійового скла дасть змогу у рН-метрі пропонованої конструкції досягти більшої величини чутливості, компенсацію впливу дестабілізуючих факторів за рахунок використання ідентичних матеріалів та збільшення діапазону вимірів величини кислотності середовища.

Впровадження до складу суднових інформаційно-вимірювальних систем запропонованого рН-метра дозволить адекватно й вірогідно оцінювати кількісні параметри охолодної води та створювати умови для їх раціонального технічного використання і діагностування об'єктів суднової енергетичної установки [13].

Список використаних джерел

1. Кишневский, В. А., Чиченин, В. В. Исследование показателей химконтроля водно-химического режима работы оборотных систем охлаждения электростанций // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – № 4/8 (70). – С. 57 - 62.
2. Удолатій, В. Б. Напрями вдосконалення системи очищення відпрацьованих газів на судах // Science, research, development, technics and technology. – Гданьск, 2020. – № 29. – С. 66 - 69.
3. Удолатій, В. Б. Аналіз сучасних систем зниження шкідливих викидів оксидів сірки судновими енергетичними установками // Річковий та морський флот: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції – Одеса: НУ "ОМА". – 2021. – С. 286-291.
4. Удолатій, В. Б. Оцінка ефективності інвестицій в скрубери системи на морських судах // Матеріали XIII міжнародної науково-технічної конференції "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика" – Одеса: НУОМА, 2023. – С. 245 - 248.
5. Удолатій, В. Б., Карпілов, О. Ю., Сандлер, А. К. Засіб для автоматизованого контролю вмісту вуглеводнів у льяльних водах // Грааль науки: міжнар. наук. журнал. – Вінниця: ГО "Європейська наукова платформа"; НУ "Інститут науково-технічної інтеграції та співпраці", 2024. – № 44. – С. 334 - 339.
6. Будников, Г. К. Что такое химические сенсоры // Соросовский образовательный журнал. – 1998. – № 3. – С. 72 - 76.



7. Датчики: Справочное пособие / Под ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.
8. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. Волоконно-оптический рН-метр для контроля систем охлаждения // Судовые энергетические установки. – 2016. – Вып. 36. – Одесса: НУ "ОМА". – С. 124 - 129.
9. Сандлер, А. К. Метод підвищення ефективності діагностування технічного стану судових газотурбінних установок на основі волоконно-оптичних технологій: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.20 / Київський університет інфраструктури та технологій. – К., 2021. – 20 с.
10. Сандлер, А. К. Застосування альтернативних скломатеріалів для датчиків деформації та вібрації елементів пропульсивного комплексу // Автоматизація судових технічних засобів. – 2023. – Вып. 28. – Одесса: НУ ОМА. – С. 79 - 89.
11. Сандлер, А. К., Опрышко, М. О. Волоконно-оптический датчик контроля состояния технических жидкостей и газов // X міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 24.11.2020 - 25.11.2020 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ"ОМА". – 2020. – С. 63 - 68.
12. Сандлер, А. К. Інформаційно-вимірювальні пристрої на основі волоконно-оптичних технологій. – Одеса: Видатінформ НУ "ОМА", 2018. – 165 с.
13. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant-power hyperbole // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Energy-saving technologies and equipment. – 2022. – Vol. 1. – № 8(115). – P. 6 - 17.

References

1. Kishnevskiy, V. A., Chichenin, V. V. Issledovaniye pokazateley khimkontrolya vodno-khimicheskogo rezhima raboty oborotnykh sistem okhlazhdeniya elektrostantsiy // Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy. – 2014. – № 4/8 (70). – P. 57 - 62.
2. Udolatiy, V. B. Napryamy vdoskonalennya systemy ochyshchennya vidprats'ovanykh haziv na sudnakh // Science, research, development, technics and technology. – Hdan'sk, 2020. – № 29. – P. 66 - 69.
3. Udolatiy, V. B. Analiz suchasnykh system znyzhennya shkidlyvykh vykydiv oksydiv sirky sudnovymy enerhetychnymy ustanovkamy // Richkovyy ta mors'kyy flot: ekspluatatsiya ta remont: materialy naukovotekhnichnoyi konferentsiyi. – Odessa: NU "OMA". – 2021. – P. 286 - 291.
4. Udolatiy, V. B. Otsinka efektyvnosti investytsiy v skruberni systemy na mors'kykh sudnakh // Materialy XIII mizhnarodnoyi naukovotekhnichnoyi konferentsiyi "Sudnova elektroinzheneriya, elektronika i avtomatyka" – Odessa: NUOMA, 2023. – P. 245 - 248.
5. Udolatiy, V. B., Karpilov, O. YU., Sandler, A. K. Zasib dlya avtomatyzovanoho kontrolyu vmistu vuhlevodniv u l'yal'nykh vodakh // Hraal' nauky: mizhnar. nauk. zhurnal. – Vinnytsya: NS "Yevropeys'ka naukova platforma"; NU "Instytut naukovotekhnichnoyi intehratsiyi ta spivpratsi", 2024. – № 44. – P. 334 - 339.
6. Budnikov, G. K. Chto takoye khimicheskoye sensory // Sorosovskiy obrazovatel'nyy zhurnal. – 1998. – № 3. – P. 72 - 76.
7. Датчики: Справочное пособие / Под ред. В.М. Шарапова, Е.С. Полищука. – М.: Техносфера, 2012. – 624 с.
8. Sandler, A. K., Tsyupko, YU. M. Volokonno-opticheskiy rN-metr dlya kontrolya sistem okhlazhdeniya // Sudovyye energeticheskiye ustanovki. – 2016. – № 36. – Odessa: NU "OMA". – P. 124 - 129.
9. Sandler, A. K. Metod pidvyshchennya efektyvnosti diahnostuvannya tekhnichnoho stanu sudnovykh hazoturbinnnykh ustanovok na osnovi volokonno-optychnykh tekhnolohiy: avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.22.20 / Kyivys'kyu universytet infrastruktury ta tekhnolohiy. – K., 2021. – 20 s.
10. Sandler, A. K. Zastosuvannya al'ternatyvnykh sklomaterialiv dlya datchykyv deformatsiyi ta vibratsiyi elementiv propul'syvnoho kompleksu // Avtomatyzatsiya sudnovykh tekhnichnykh zasobiv. – 2023. – № 28. – Odessa: NU OMA. – P. 79 - 89.
11. Sandler, A. K., Opryshko, M. O. Volokonno-optycheskiy datchyk kontrolya sostoyannya tekhnicheskyykh zhydkostey y hazov // X mizhnarodna naukovometodychna konferentsiya "Sudnova elektroinzheneriya, elektronika i avtomatyka", 24.11.2020 - 25.11.2020 r.: materialy konferentsiyi. – Odessa: NU"OMA". – 2020. – P. 63 - 68.
12. Sandler, A. K. Informatsiyno-vymiryval'ni prystroyi na osnovi volokonno-optychnykh tekhnolohiy. – Odessa: Vydainform NU "OMA", 2018. – 165 p.
13. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. Optimization of the control system for an electric power system operating on a constant-power hyperbole // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Energy-saving technologies and equipment. – 2022. – Vol. 1. – № 8(115). – P. 6 - 17.