

УДК 621.317.39:681.586.5

DOI: 10.31653/1819-3293-2024-1-29-25-32

ARTICLE HISTORY

Received 05.09.2024

Accepted 25.09.2024

Голіков Володимир Антонович  
НУ "Одеська морська академія", Одеса, Україна  
Vlad.Ant.Golikov@gmail.com

## Автоматизований пристрій для контролю повітряного середовища на судах

Golikov Volodymyr  
National University "Odessa Maritime Academy", Odessa, Ukraine  
Vlad.Ant.Golikov@gmail.com

### Automated device for air environment control on ships

***Резюме.** Обґрунтовано схемотехнічне рішення датчику визначення температури точки роси. У пропонуваному пристрої забезпечена використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання. Засіб забезпечує підвищення вірогідності процесів контролю повітряного середовища на судах з метою забезпечення комфортних умов життєдіяльності екіпажу.*

***Summary.** The technical solution of the sensor for determining the dew point temperature is substantiated. The proposed device ensures the use of principles of partial invariance to external uncontrolled influences on measurement. The tool ensures an increase in the probability of air environment control processes on ships in order to ensure comfortable living conditions for the crew.*

За високої температури повітря людське тіло використовує випаровування поту для свого охолодження. Ця функція дуже ефективна, але за певних умов. Швидкість випаровування поту залежить від того, скільки вологи міститься в повітрі і скільки вологи воно може утримувати при визначеному тиску. Якщо повітря вже

насичене вологою (при відносній вологості 100 %), випаровування поту припиняється. Терморегуляція тіла буде викликати потовиділення, щоб підтримувати нормальну температуру тіла, навіть якщо швидкість, з якої виділяється піт, перевищує швидкість випаровування. Це пояснює те, чому у вологих спекотних умовах на суднах можливо покритися потом навіть без застосування будь-яких фізичних навантажень. В цьому випадку, точка роси буде максимально наближена до фактичної температури і зазвичай якщо вона становить вище 16 ... 18 °С, то людина відчуває задуху, складнощі з фізичними навантаженнями. Відчуття дискомфорту часто супроводжуються головною білло. Максимально зареєстрований показник точки роси на планеті у природних умовах становив 35 °С. Це значення було зафіксовано 8 липня 2003 року у місті Дахран. Фактична температура повітря на той день склала 42,2 °С. З урахуванням слабого вітру в 1 м/с, ефективна температура (віртуальна температура, яку відчувала б людина, одягнена за сезоном) досягла 115 °С!

Дискомфорт також викликають низькі значення точки роси (в основному нижче -5 °С), оскільки це свідчить про вкрай низький рівень вологості повітря. Сухе повітря може викликати розтріскування шкіри та пересихання слизових оболонок носоглотки і дихальних шляхів. Тому рекомендується підтримувати температуру в суднових приміщеннях в межах 19 ... 24 °С та відносну вологість 20 ... 60 %, що еквівалентно точці роси в діапазоні 4,0 ... 16 °С). Люди, які звикли до помірного клімату, часто починають почуватися некомфортно, коли точка роси перевищує 15 °С, у той час як іншим може здаватися комфортною точка роси до 18 °С. Тепловий комфорт залежить не тільки від фізичних особливостей доквілля, а й від психологічних факторів [1 - 4].

Таким чином, проблема забезпечення життєзабезпечення суднового персоналу прямо пов'язана з рішенням такого завдання як оптимізація складу й режимів експлуатації системи кондиціонування повітря на основі достовірної інформації про параметри навколишнього середовища.

Для пошуку більш доцільного шляху отримання достовірної вимірювальної інформації проаналізовані найбільш поширені типи пристроїв для визначення параметрів атмосферного газового середовища, а саме температури точки роси.

Традиційно на суднах використовується датчик точки роси, який складається з вимірювальної камери, трубопроводу стислого газоповітряного середовища, впускного та випускного клапанів,

датчику тиску, обчислювального пристрою, сухого і мокрого термометрів, системи керування повітряпідготовкою та індикатора [5].

Використання вимірювальної камери та системи трубопроводів з клапанами та датчиків викликає необхідність регулярного очищення поверхонь вимірювальної камери та системи трубопроводів з клапанами від корозійних забруднень та супроводжується ускладненням конструкції та збільшенням коштовності пристрою. Одночасне застосування сухого і мокрого термометрів супроводжується неідентичністю вимірювань та, певним чином, обмежує метрологічні характеристики датчику тиску.

Більшою мірою задачі вірогідного визначення точки роси газового середовища відповідає волоконно-оптичний датчик, що складається з джерела оптичного випромінювання, волоконно-оптичних розгалужувачів, контрольного та чутливого, зі сколотим під кутом до осі, світловодів, вимірювальної камери, блоку рідинного охолодження з термоелектричним охолоджувачем, платиного датчика температури та фотоприймача з обчислювальним пристроєм [6].

Використання вимірювальної камери, блоку рідинного охолодження з термоелектричним охолоджувачем та платиного термометра є передумовою таких недоліків пристрою:

- складність та коштовність конструкції;
- необхідність регулярного очищення поверхонь вимірювальної камери від корозійних забруднень;
- складність сполучення скляного чутливого світловоду та платиного термометру;
- розташування контрольного світловода поза межами вимірювальної камери;
- застосовані матеріали з коефіцієнтами теплового поширення, які суттєво відрізняються для різних елементів датчика;
- необхідність постійного корегування взаємного розташування елементів, яке змінюється під впливом експлуатаційних факторів.

Таким чином, актуальним є створення волоконно-оптичного датчику точки роси, у якому застосовані матеріали с близькими коефіцієнтами теплового поширення, відсутня необхідність регулярного очищення поверхонь вимірювальної камери від корозійних забруднень, відсутня необхідність постійного корегування взаємного розташування елементів, яке змінюється під впливом експлуатаційних факторів, та одночасно збережені властивості датчиків роси відомих типів.

Для вирішення завдання запропонований волоконно-оптичний датчик точки роси, що складається з джерела оптичного випромінювання, волоконно-оптичних розгалужувачів, контрольного та чутливого, зі сколотим під кутом до осі, світловодів, виміральної камери, датчика температури та фотоприймача з обчислювальним пристроєм. Від існуючих аналогів датчик відрізняється тим, що термоелектричний охолоджувач утворений сполученням чутливого світловоду з діоксиду олова, легованого танталом та зі сколом під кутом до осі, та елементу з оксиду індію, до яких надходить випромінювання від джерела випромінювання, а живлення від блоку живлення відповідно. Датчик температури є світловодом з германосилікатного скла, а оптичний розгалужувач сполучений з чутливим, контрольним та світловодом з германосилікатного скла світловодами з оптичними фільтрами.

Для відбору газового середовища застосовано вимірвальну камеру 1, яка виконана у вигляді циліндру з замкнутими торцями та отвором-приймачем (рис.) [7]. У камері містяться жорстко сполучені між собою, виконані з прозорого напівпровідника чутливий світловод 2, зі сколом торця під кутом до осі, та елемент з оксиду індію 3 [8]. Разом вони утворюють термоелектричний охолоджувач – елемент Пельтьє. До чутливого світловоду 2 та елементу 3 живлення надходить від блоку живлення 11. Також у вимірвальній камері міститься контрольний світловод 5 та світловод-термометр з германосилікатного скла 6. До чутливого, контрольного світловоду та світловоду-термометру з германосилікатного скла також надходить випромінювання від джерела випромінювання 9.

Оптичний розгалужувач 8 сполучений з чутливим світловодом 2, контрольним світловодом 3 та світловодом світловодом-термометром з германосилікатного скла 6, світловодами 4. Світловоди 4, як гілки розгалужувача, виконані з штучного сапфірового волокна та містять у собі оптичні фільтри 7 [9, 10]. У зворотному порядку випромінювання від світловодів 2, 5, 6 надходить до фотоприймача 10, який сполучений з обчислювальним пристроєм 12.

У статичному режимі (калібрування) випромінювання від джерела надходить до оптичного розгалужувача та крізь оптичні фільтри до чутливого, контрольного світловоду та світловоду-термометру з власною довжиною хвилі. Після проходження світловодів випромінювання відбивається від торців та повертається у зворотному порядку до фотоприймача.

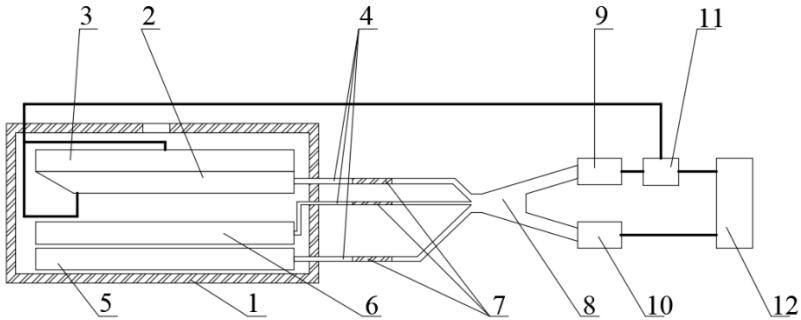


Рис. Волоконно-оптичний датчик точки роси:

1 – вимірювальна камера; 2 – чутливий світловод; 3 – елементом з оксиду індію; 4 – світловод; 5 – контрольний світловод; 6 – світловод-термометр з германосилікатного скла; 7 – оптичний фільтр; 8 – оптичний розгалужувач; 9 – джерело оптичного випромінювання; 10 – фотоприймач; 11 – блок живлення; 12 – обчислювальний пристрій

Зареєстроване фотоприймачем випромінювання у блоці обробки і виводу сигналу фіксується як поправка до результатів вимірювання, яка обумовлена впливом експлуатаційних чинників.

У динамічному режимі (вимірювання) до чутливого світловоду 2 та елементу 3 живлення надходить від блоку живлення 11. Світловод 2 та елемент 3 утворюють контакт двох напівпровідникових матеріалів з різними рівнями енергії електронів у зоні провідності. При протіканні струму через контакт таких матеріалів електрон придбає енергію та переходить до більш високоенергетичну зону провідності іншого напівпровідника. При поглинанні цієї енергії відбувається охолодження світловоду 2. У момент, коли поверхня сколу світловоду 2 після охолодження затуманюється вологою – росною, що випала з повітря, вимірюють температуру, яка дорівнює температурі крапки роси повітря. Момент створення роси фіксується після у момент максимальної зміни інтенсивності випромінювання, яке відбивається від поверхні сколу світловоду 2 та повертається у зворотному порядку до фотоприймача [11 - 13].

Величина інтенсивності випромінювання, яке відбивається від поверхні сколу залежить від коефіцієнту пропускання через поверхню. Коефіцієнт пропускання визначається [14]

$$\tau = 1 - \left| (\mu^2 - \delta^2) \left[ (\mu^2 - \delta^2)^2 + 4\delta^2\mu^2 \operatorname{cth}(\beta d) \right]^{-1} \right|,$$

де  $d$  – товщина шару роси;  $\beta$  – постійна поширення;

$$\beta = \left( \frac{\pi}{\lambda} \right) (n_1^2 \sin^2 \Theta - 1)^{0,5},$$

$$\mu_{\perp} = \frac{1}{n_1 \cos \Theta}; \mu_{\parallel} = \frac{\cos \Theta}{n_1},$$

$$\delta_{\perp} = -(n_1^2 \sin^2 \Theta - 1)^{0,5}; \delta_{\parallel} = (n_1^2 \sin^2 \Theta - 1)^{0,5},$$

де індекси  $\perp$  та  $\parallel$  вказують на напрям поляризації відносно площини рисунка).

Вимірювання температури здійснюється світловодом-термометром з германосилікатного скла, якому притаманна лінійна залежність показника заломлення від температури навколишнього середовища. Ця залежність обумовлена зміною інтенсивності випромінювання, що відбивається від торця світловоду  $b$  та повертається до фотоприймача.

Контрольний світловод застосовується для компенсації впливу експлуатаційних чинників на результати вимірювання.

Конструкції і комбінації матеріалів забезпечує відсутність необхідності постійного корегування взаємного розташування елементів, яке змінюється під впливом експлуатаційних факторів та відсутність необхідності регулярного очищення поверхонь вимірювальної камери від корозійних забруднень.

Пропонований засіб забезпечує підвищення вірогідності процесів контролю газового середовища за рахунок використання принципів часткової інваріантності до зовнішніх неконтрольованих впливів на вимірювання, запропонованим методом синтезу основних процесів перетворення світла, конструкції, комбінації матеріалів і одержанням вимірювальної інформації про стан атмосфери у суднових службових та житлових приміщеннях [15].

#### ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

1. Білинський, Й. Й., Городецька, О. С., Новицький, Д. В. Аналіз методів та засобів визначення точки роси за вологою та вуглеводнями // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2018. – № 4. – С. 110 – 120.
2. Берлинер, М. А. Измерение влажности. – М.: Энергия, 1973. – 400 с.

3. Голюков, В. А., Цюпко, Ю. М., Сандлер, А. К., Просенюк, В. В. Автоматизована система терморегуляції мікроклімату // Автоматизация судовых технических средств. – 2015. – Вып. 21. – Одесса: ОНМА. – С. 44 - 48.
4. Голюков, В. А., Цюпко, Ю. М., Сандлер, А. К. Пристрій для моніторингу мікрокліматичних умов в суднових приміщеннях // Автоматизация судовых технических средств. – 2015. – Вып. 21. – Одесса: ОНМА. – С. 40 - 44.
5. Патент РФ № 2082157 С1. МПК G01 N 25/66. Способ измерения температуры точки росы сжатой газовой среды / В. А. Голюков; заявитель и патентообладатель ОГМА. – 4943362/25. – заявл. 08.04.1991; опубл. 20.06.1997, бюл. № 17. – 3 с.
6. Fiber optic sensors / Shizhuo Yin, Paul B. Ruffin, Francis T.S. Yu, eds. – 2nd ed. CRC Press. Taylor & Francis Group. 2008. – 477 p.
7. Сандлер, А. К., Михова, А. И., Олефиренко Д. А. Волоконно-оптический датчик температуры // Энергетика судна: експлуатація та ремонт: матеріали науково-технічної конференції. – Одеса: ОНМА. – 2011. – С. 275 - 276.
8. Fukumoto, M., Nakao, S., Shigematsu, K. et al. High mobility approaching the intrinsic limit in Ta-doped SnO<sub>2</sub> films epitaxially grown on TiO<sub>2</sub> (001) substrates // Sci Rep 10, 6844 (2020).
9. Сандлер, А. К. Чувствительный элемент волоконно-оптического акселерометра на основе сапфирового стекла // IX міжнародна науково-методична конференція "Суднова електроінженерія, електроніка і автоматика", 05 - 06 листопада 2019 р.: матеріали конференції. – Одеса: НУ "ОМА". – 2019. – С. 27 - 33.
10. Сандлер, А. К. Інформаційно-вимірювальні пристрої на основі волоконно-оптичних технологій: навчальний посібник. – Одеса: Видатінформ НУ "ОМА", 2018. – 165 с.
11. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М. Новое схемотехническое решение волоконного газоанализатора // Автоматизация судовых технических средств. – 2012. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 93 - 96.
12. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, А. А., Цюпко, К. Ю. Схемотехническое решение инвариантного датчика влажности // Автоматизация судовых технических средств. – 2012. – Вып. 18. – Одесса: ОНМА. – С. 97 - 102.
13. Сандлер, А. К., Цюпко, Ю. М., Сандлер, О. А., Цюпко, К. Ю. Схемотехнічне рішення комбінованого датчика клімат-контролю // Автоматизация судовых технических средств. – 2014. – Вып. 19. – Одесса: ОНМА. – С. 69 - 73.

14. Бусурин, В. И., Носов, Ю. Р. Волоконно-оптические датчики. Физические основы, вопросы расчета и применения. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 256 с.

15. Budashko, V., Sandler, A., Shevchenko, V. Diagnosis of the technical condition of high-tech complexes by probabilistic methods // International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation. – 2022. – V. 16. – № 1. – P. 105 - 111.

**Abstract.** *The problem of ensuring the life support of the ship's personnel is directly related to the solution of such a task as optimization of the composition and operation modes of the air conditioning system on the basis of reliable information about the parameters of the surrounding environment. In order to find a more appropriate way of obtaining reliable measurement information, the most common types of devices for determining the parameters of the atmospheric gas medium, namely the dew point temperature, were analyzed. To solve the problem, the design of a fiber-optic dew point sensor is proposed, consisting of a source of optical radiation, fiber-optic splitters, control and sensitive, split at an angle to the axis, light guides, a measuring camera, a temperature sensor, and a photoreceiver with a computer device. The sensor differs from existing analogues in that the thermoelectric cooler is formed by the combination of a sensitive light guide made of tin dioxide doped with tantalum and with a chip at an angle to the axis, and an element made of indium oxide, which receives radiation from the radiation source, and power from the power supply, respectively. The temperature sensor is a light guide made of germanosilicate glass, and the optical splitter is connected to the sensitive, control and light guide made of germanosilicate glass by light guides with optical filters. The proposed tool provides an increase in the probability of the processes of controlling the gaseous environment due to the use of the principles of partial invariance to external uncontrolled influences on measurements, the proposed method of synthesis of the main processes of light transformation, construction, combination of materials and obtaining measurement information about the state of the atmosphere in the ship service and residential premises.*