

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРИ ТА ВОЛОГОСТІ

М.Д. Кошовий¹, О.М. Костенко², Г.В. Павлик¹, Т.Г. Рожнова³, Т.В. Чебикіна¹

¹ Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна, kafedraapi@ukr.net

² Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна, kostenko@pdau.edu.ua

³ Харківський Національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна, tetiana.rozhnova@nure.ua

Анотація

Актуальність. При розробці волоконно-оптичних датчиків температури та вологості актуальними є задачі запобігання взаємного впливу вимірюваних параметрів на результати вимірювання, розширення функціональних можливостей датчиків та підвищення їх технологічності. Мета. Розробка нових волоконно-оптичних датчиків температури та вологості. Методи дослідження. Методи аналізу та синтезу, схемотехніки. Результати та висновки. Запропоновані волоконно-оптичні датчики температури та вологості, які дають змогу вирішити поставлені задачі.

Ключові слова: волоконно-оптичний датчик, температура, вологість, технологічність, взаємний вплив.

Вступ

Сьогодні розробка волоконно-оптичних датчиків є важливою сферою досліджень. Щорічно публікується безліч відповідних наукових статей, а також заявок на патенти. Патенти широко розглядаються як міст між успішними дослідженнями та розробками, з одного боку, та комерційними ринками, з іншого. Відповідно, вивчення патентних показників має центральне значення для дослідників як у галузі природничих, так і технічних

наук. Для аналізу, представленого в цій статті, використовувалися патентні дані зі Всесвітньої патентно-статистичної бази даних (PATSTAT) версії 2016b. Аналіз показує (табл.), що 90% патентних заявок на волоконно-оптичні перетворювачі за три останні роки подаються винахідниками із шести країн: США, Китаю, Республіки Корея, Саудівської Аравії, Тайваню та Японії. Багато подається міжнародних заявок.

Таблиця – Перелік країн, що отримали найбільшу кількість патентів за три останні роки

Країна	Номер патенту
США	2024060918, 2024068893, 2024090881, 2024093990, 2024118116, 2024125962, 2024133735, 2024133937, 2024151125, 2024151574, 2024160050, 2024210374, 2024210559, 2024230434, 2024235668, 2024237884, 2024239511, 2024263552, 2024272072, 2024280418, 2024302225
Китай	117516551, 117589205, 117593925, 117687450, 117705080, 117733321, 117782223, 117824609, 118050078, 118111503, 118144285, 118215432, 118224047, 118258425, 118259048, 118311393, 118369570, 118383756, 118424991, 220542253, 221037448
Республіка Корея	102633637, 102655811, 20240002019, 20240017284, 20240052106, 20240079104
Саудівська Аравія	122440486, 518400001, 521431271, 522440653, 522440748
Тайвань	202346794, 202416337
Японія	2024019821, 2024037652
Міжнародна заявка РСТ	2024020362, 2024035271, 2024065259, 2024066948, 2024091833, 2024098245, 2024103160, 2024148777, 2024155951, 2024155954, 2024167948, 2024172782, 2024177985, 2024187095, 2024187284, 2024205962, 2024206298, 2024206395

Ця проблема вирішується також на кафедрі інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості Національного аерокосмічного університету «Харківський авіаційний інститут» в процесі виконання договору про науково-технічне співробітництво із Міністерством освіти і науки України № 0124U002436 «Розробка сучасних вимірювальних перетворювачів фізичних величин». При цьому датчики температури та вологості розроблені за рахунок вирішення наступних поставлених задач [1]:

– запобігання взаємного впливу вимірюваних параметрів на результати вимірювання та підвищення технологічності виготовлення датчика;

– розширення функціональних можливостей прототипу.

Мета статті: розробка нових волоконно-оптичних датчиків температури та вологості направлена на ліквідацію виявлених недоліків існуючих аналогів.

Виклад основного матеріалу

Відомий волоконно-оптичний датчик клімат-контролю [2] має наступні недоліки, які обумовлені використанням спіральної ділянки світловоду та біметалевої пластини:

- необхідність постійної корекції мікронеідентичностей деформації та старіння елементів спіралі;
- неможливість компенсації деградаційних процесів, що плинуть з різною швидкістю, на вільному боці світловоду та на боці, до якого приварена біметалева пластина.

Волоконно-оптичний датчик клімат-контролю для вимірювання температури та вологості [3] має наступні недоліки, які обумовлені наявністю одного каналу вимірювання вологості та температури:

- взаємний вплив вимірювальних параметрів на результати вимірювання, що знижує їх точність;
- низька технологічність виготовлення датчика через необхідність згину світловоду і його закріплення в такому положенні.

З метою запобігання взаємного впливу вимірюваних параметрів на результати вимірювання та підвищення технологічності виготовлення порівняно з аналогами [2, 3] запропоновано волоконно-оптичний датчик для вимірювання температури та вологості [4].

На рис. 1 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика для вимірювання температури та вологості.

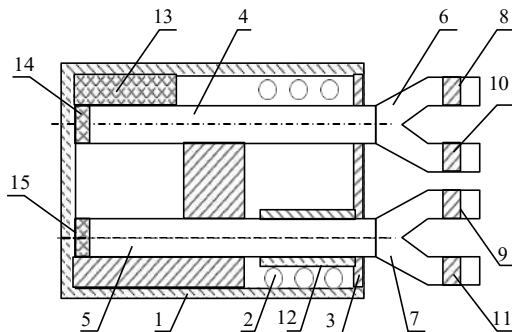


Рис. 1. Конструкція волоконно-оптичного датчика для вимірювання температури та вологості

Волоконно-оптичний датчик для вимірювання температури та вологості містить колбу 1 із кварцового скла з отворами перфорації 2, заглушку 3, до якої за допомогою плазмового зварювання приєднано основний 4 і додатковий 5 світловоди з волоконними розгалужувачами 6, 7 з вхідними 8, 9 та вихідними 10, 11 оптичними фільтрами, мідну трубку 12, яка коаксialно розташована до додаткового світловоду 5 і приварена до нього, блок гігроскопічного матеріалу 13, розташований між поверхнею колби 1 та основним світловодом 4. На торцях світловодів 4, 5 утворені віддзеркалюючі шари 14, 15.

Волоконно-оптичний датчик для вимірювання температури та вологості працює таким чином.

При зміні вологості контрольованого середовища відбувається зміна об'єму блока 13 з гігроскопічного матеріалу, унаслідок чого відбуваються зміни лінійних розмірів як блока, так і величини прогину світловоду 4. Таким чином, у основному світловоді 4 здійснюється порушення умов повного внутрішнього відбивання світла.

Порушення умов повного відбивання світла у основному світловоді 4 знаходить своє відображення у зміні величини інтенсивності світлового випромінювання, яке відбивається від віддзеркалювального шару 14. Величина зареєстрованого на виході оптичного фільтра 10 волоконного розгалужувача 6 випромінювання є пропорційною до величини контрольованої вологості.

При зміні температури контрольованого середовища відбувається теплове розширення мідної трубки 12, звареної з додатковим світловодом 5. Зміна геометрії трубки викликає зміну геометрії світловоду 5, що приводить до втрат потужності оптичного випромінювання. Величина зареєстрованого на виході оптичного фільтра 11 волоконного розгалужувача 7 випромінювання є пропорційною до величини зміни температури.

Таким чином, введення додаткового світловоду для вимірювання температури контрольованого середовища дає змогу запобігти взаємному впливу вимірюваних параметрів на результати вимірювання, оскільки температура та вологість вимірюються окремими незалежними каналами.

Підвищується також технологічність виготовлення датчика за рахунок використання і розміщення прямолінійних ділянок світловодів.

Недоліками цього датчика для вимірювання температури та вологості [4] є: складність конструкції, недостатня технологічність, обумовлена нанесенням віддзеркалюючих шарів на торцеві поверхні світловодів, вихідний сигнал отримується у аналоговому вигляді.

Відомий волоконно-оптичний датчик вологості [5], недоліком якого є обмежені функціональні можливості, оскільки він не дозволяє вимірювати температуру середовища, яке контролюється.

З метою розширення функціональних можливостей прототипу [5] за рахунок забезпечення вимірювання температури середовища запропоновано волоконно-оптичний датчик для вимірювання температури та вологості [6].

На рис. 2 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичного датчика для вимірювання температури та вологості.

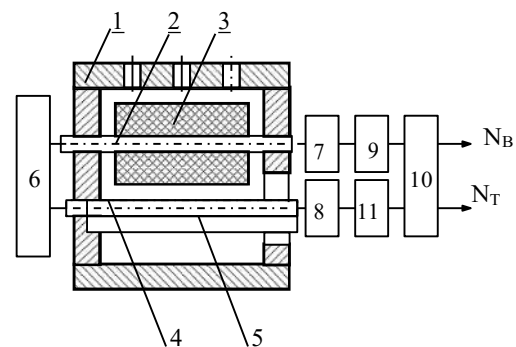


Рис. 2. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика для вимірювання температури та вологості

У перфорованому корпусі 1 волоконно-оптичного датчика для вимірювання температури та вологості жорстко закріплений світловод 2, встановлений у втулку 3 із гігроскопічного матеріалу. Додатковий світловод 4 змонтований на консольно закріпленій у корпусі 1 біметалевій пружині 5. Вхідні торці світловодів 2, 4 розміщені перед джерелом оптичного випромінювання 6, а їх вихідні торці встановлені перед відповідними фотоприймачами 7, 8. Фотоприймач 7 під'єднано до послідовно з'єднаних підсилювача 9 та аналого-цифрового перетворювача 10, а фотоприймач 8 – до електричного кола із послідовно з'єднаних підсилювача 11 та аналого-цифрового перетворювача 10.

Волоконно-оптичний датчик для вимірювання температури та вологості працює таким чином.

При змінюванні вологості середовища, що контролюється, відбувається зміна об'єму втулки 3 із гігроскопічного матеріалу. При цьому змінюються її лінійні розміри і величина прогину світловода 2. Це, у свою чергу, призводить до зміни інтенсивності світлового потоку, що поширюється від джерела оптичного випромінювання 6 до фотоприймача 7. Величина електричного сигналу з виходу фотоприймача 7 підсилюється у підсилювачі 9 та перет-

ворюється на двійковий код N_B в аналого-цифровому перетворювачі 10.

При змінюванні температури середовища прогинається біметалева пружина 5, на якій змонтовано додатковий світловод 4. Внаслідок прогину цього світловода змінюється інтенсивність світлового потоку, який поширюється від джерела оптичного випромінювання 6 до фотоприймача 8. Електричний сигнал із виходу фотоприймача 8 підсилюється у підсилювачі 11 та перетворюється на двійковий код N_T в аналого-цифровому перетворювачі 10.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик для вимірювання температури та вологості дає змогу розширити функціональні можливості прототипу за рахунок забезпечення вимірювання температури середовища, яке контролюється.

Висновки

В результаті проведеного дослідження запропоновані волоконно-оптичні датчики температури та вологості, на які отримані патенти України на корисну модель.

В подальшому дослідженні будуть побудовані диференціальні волоконно-оптичні датчики різниці тисків.

References

1. Кошовий М. Д., Павлик Г. В. Розробка нових та удосконалення діючих волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин // Метрологія та прилади. 2024. № 1. С. 25 – 27.
2. Пат. на корисну модель №79525 Україна, МПК(2013.01) G02B 6/00; МПК(2006.01) G01N 25/56. Волоконно-оптичний гігрометр / А. К. Сандлер, Ю. М. Цюпко, О. А. Сандлер, К. Ю. Цюпко. – № u201212093, Бюл. № 8.
3. Пат. на корисну модель № 108519 Україна, МПК(2006.01) G02B 6/00, G01N 19/10, МПК(2015.01) G01K 5/00. Волоконно-оптичний датчик клімат-контролю для вимірювання вологості і температури / А. К. Сандлер, О. А. Сандлер, Ю. М. Цюпко, К. Ю. Цюпко. – №u201306835; заявл. 31.05.2013; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.
4. Пат. на корисну модель № 122987 Україна, МПК(2017.01) G02B 6/00; МПК(2006.01) G01N 19/10. Волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості і температури / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко, А. А. Беляєва. – № u201705818; заявл. 12.06.2017; опубл. 12.02.2018, Бюл. № 3.
5. Пат. на корисну модель № 153837 Україна, МПК (2023.01) G02B 6/00; МПК (2006.01) G01N 19/10. Волоконно-оптичний датчик вологості / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Кураксін, А. В. Бичков, Н.Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u202300365; заявл. 02.02.2023, опубл. 07.09.23, Бюл. № 36.
6. Пат. на корисну модель № 155988 Україна, МПК G02B 6/00; G01N 19/10, G01K 5/00. Волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості та температури / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Кураксін, А. В. Бичков, Н. Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u 202304617; заявл. 02.10.2023; опубл. 24.04.2024, Бюл. № 16.

Надійшла (Received) 18.09.2025

Прийнята до друку (accepted for publication) 23.10.2025

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ/ABOUT THE AUTHORS

Микола Кошовий – д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: m.koshovyi@khai.edu, <https://orcid.org/0000-0001-9465-4467>.

Mykola Koshovyi – DSc, professor, professor of department intelligent measuring systems and quality engineering of National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine; e-mail: m.koshovyi@khai.edu, <https://orcid.org/0000-0001-9465-4467>.

Олена Костенко – д.т.н., професор, професор кафедри інформаційних систем та технологій Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна; e-mail: kostenko@pdau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5997-342X>.

Olena Kostenko – DSc, professor, professor of department of information systems and technologies Poltava State Agrarian University; Poltava, Ukraine; e-mail: kostenko@pdau.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-5997-342X>.

Ганна Павлик – к.т.н., доцент кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: h.pavlyk@khai.edu, <https://orcid.org/0009-0000-7045-5981>.

Hanna Pavlyk – PhD, Associate Professor of department intelligent measuring systems and quality engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine; e-mail: h.pavlyk@khai.edu, <https://orcid.org/0009-0000-7045-5981>.

Тетяна Рожнова – к.т.н., доцент кафедри автоматизації проектування обчислювальної техніки Харківський Національний університет радіоелектроніки, м. Харків, Україна; e-mail: tetiana.rozhnova@nure.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4484-8674>.

Tetiana Rozhnova – PhD, Associate Professor of Design Automation Department, Kharkiv National University of Radioelectronics; e-mail: tetiana.rozhnova@nure.ua, <https://orcid.org/0000-0002-4484-8674>.

Тамара Чебикіна – старший викладач кафедри інтелектуальних вимірювальних систем та інженерії якості Національний аерокосмічний університет «Харківський авіаційний інститут», м. Харків, Україна; e-mail: t.chebykina@khai.edu, <https://orcid.org/0009-0002-4926-7913>.

Tamara Chebykina – senior lecturer of department intelligent measuring systems and quality engineering, National Aerospace University "Kharkiv Aviation Institute"; Kharkiv, Ukraine; e-mail: t.chebykina@khai.edu, <https://orcid.org/0009-0002-4926-7913>.

Fiber-optic temperature and humidity sensors

M.D. Koshovyi, O.M. Kostenko, H.V. Pavlyk, T.G. Rozhnova, T.V. Chebykina

Abstract

Relevance of the work. When developing fiber-optic temperature and humidity sensors, the tasks of preventing the mutual influence of measured parameters on measurement results, expanding the functionality of sensors, and improving their manufacturability are relevant. Goal. Development of new fiber-optic temperature and humidity sensors. Research methods. Methods of analysis and synthesis, circuit design. Results and conclusions. Fiber-optic temperature and humidity sensors are proposed, which allow solving the tasks. Results and conclusions. As a result of the research, fiber-optic temperature and humidity sensors were proposed, for which Ukrainian patents for a utility model were obtained. In further research, differential fiber-optic pressure difference sensors will be constructed.

Keywords: fiber-optic sensors, temperature, humidity, manufacturability, mutual influence.