

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Харків «ХАІ» 2024

УДК 681.586.5
В68

Колектив авторів:

М. Д. Кошовий, О. М. Костенко, Г. В. Павлик, О. В. Світличний

Рецензенти: д-р техн. наук, проф. В. Я. Гальченко,
д-р техн. наук, проф. В. П. Квасніков

Затверджено як монографію на засіданнях вчених рад Національного аерокосмічного університету ім. М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут» (протокол № 5 від 27.12.2023) та Полтавського державного аграрного університету (протокол № 6 від 27.02.2024)

Волоконно-оптичні перетворювачі фізичних величин [Текст] :
В68 монографія / М. Д. Кошовий, О. М. Костенко, Г. В. Павлик,
О. В. Світличний. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є.
Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2024. – 93 с.

ISBN 978-966-662-926-8

Наведено терміни, класифікацію та елементну базу волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин.

Описано конструкції та принципи дії таких волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин: датчики тиску, датчики кутових та лінійних переміщень, датчики вібрацій, датчики температури та вологості. Розглянуто волоконно-оптичні системи вимірювання рівня рідини та деформацій залізобетонних конструкцій. Показано переваги запропонованих волоконно-оптичних перетворювачів та систем для вимірювання фізичних величин порівняно з існуючими.

Для студентів вищих навчальних закладів, аспірантів та наукових співробітників.

Іл. 59. Табл. 1. Бібліогр.: 100 назв

УДК 681.586.5

ISBN 978-966-662-926-8

© Колектив авторів, 2024
© Національний аерокосмічний
університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут», 2024

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ	5
1.1. Терміни та визначення	5
1.2. Класифікація волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин	6
2. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	8
2.1. Джерела оптичного випромінювання	8
2.1.1. Лазери	8
2.1.2. Світлодіоди	9
2.2. Приймачі оптичного випромінювання	10
2.2.1. Фоторезистори	11
2.2.2. Фотодіоди	11
2.2.3. Фототранзистори	12
2.3. Світлопровідні кабелі.....	12
2.4. Кодові маски	15
2.5. Волоконно-оптичні перетворювачі з цифровим виходом	16
3. ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН	19
3.1. Датчики тиску	21
3.2. Датчики кутових та лінійних переміщень	49
3.2.1. Датчики кутових переміщень	49
3.2.2. Датчики лінійних переміщень	60
3.3. Датчики вібрацій	63
3.4. Датчики температури та вологості	67
3.4.1. Датчики температури	67
3.4.2. Датчики температури та вологості	71
3.4.3. Датчики вологості	74
4. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ З ВОЛОКОННО- ОПТИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ	76
4.1. Волоконно-оптичні системи вимірювання рівня рідини	76
4.2. Волоконно-оптичні системи вимірювання деформацій залізобетонних конструкцій	79
ВИСНОВКИ	82
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	83

ВСТУП

У зв'язку з розвитком оптоелектроніки широкого застосування в усіх галузях електроніки і радіотехніки набули оптоелектронні напівпровідникові прилади.

Їх основні переваги – це велика інформаційна ємність оптичного каналу, вузькоспрямоване випромінювання, можливість подвійної модуляції світлового променя, електрична нейтральність фотонних зв'язків. Тому оптоелектронні прилади широко використовуються в елементах зв'язку, індикаторних пристроях, різноманітних датчиках.

Одним із шляхів їх застосування є волоконно-оптичні перетворювачі фізичних величин: датчики тиску, кутових та лінійних переміщень, вібрацій, температури, вологості, рівня рідини, деформацій та ін.

Одним із головних завдань під час проєктування волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин є підвищення їх техніко-економічних показників.

Отже, актуальним завданням є вдосконалення волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин для інформаційно-вимірювальних систем.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОНЯТТЯ ПРО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ТА ЇХ КЛАСИФІКАЦІЯ

1.1. Терміни та визначення

Для опису волоконно-оптичних перетворювачів широко застосовуються такі терміни [1–5].

Об'єкт вимірювання – це складний процес, який характеризується величиною, що вимірюється, та завадами.

Вимірювання – відображення вимірювальних величин їхніми значеннями шляхом експерименту та обчислень за допомогою спеціальних технічних засобів.

Інформаційно-вимірювальна система – це сукупність засобів вимірювальної техніки, засобів контролю, діагностування та інших технічних засобів, об'єднаних для створення сигналів вимірювальної інформації та інших видів інформації.

Контроль – відображення відповідності між станом об'єкта і нормою відповідним висновкам.

Діагностика – відображення загального стану об'єкта та причин цього стану діагнозом із зазначенням особливостей стану і локалізації відхилень від норм.

Чутливий елемент – конструктивний елемент або пристрій, який сприймає фізичну величину, що вимірюється.

Датчик – це перетворювач фізичної величини, що вимірюється, у величину, зручну для подальшого перетворення або вимірювання.

Вимірювальний перетворювач – це засіб вимірювання, призначений для перетворення вхідного вимірюваного сигналу (вимірюваної величини) у вихідний сигнал, більш зручний для подальшого перетворення, передачі, оброблення та зберігання.

Випробування – відображення стану досліджуваного об'єкта під час дії на нього сукупності регламентованих сертифікатом факторів.

Діапазон вимірювань – та частина інтервалу показів, для якого прономовані похибки засобу вимірювань.

Похибка вимірювання – це відхилення результату вимірювання від справжнього значення вимірюваної величини.

Точність вимірювання – головна характеристика якості вимірювання, що відображає близькість результату вимірювання до справжнього значення вимірюваної величини.

Чутливість – характеризує здатність вимірювального перетворювача реагувати на зміну вхідного сигналу та визначається як відношення зміни вихідного сигналу перетворювача до зміни вхідного сигналу.

Роздільна здатність – різниця двох близько розміщених вхідних сигналів, для якої вихідний параметр вимірювального перетворювача реагує на них як на два різних сигнали.

Швидкодія – час, який витрачається на одне вимірювання.

Завадостійкість – мінімальна амплітуда завади, яка приводить до такого відхилення вихідного сигналу, яке більше величини, що допускається похибкою.

Надійність – здатність вимірювального перетворювача зберігати експлуатаційні параметри в установлених часових межах.

Ремонтпридатність – здатність елементів конструкції вимірювального перетворювача забезпечувати можливість ремонту.

Іскровибухобезпека – здатність конструкції вимірювального перетворювача працювати у вибухонебезпечному середовищі.

Технологічність конструкції – це сукупність властивостей конструкції, які виявляються у можливості оптимальних витрат праці, коштів, матеріалів і часу при технологічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації та ремонті виробу.

Конструкція виробу – сукупність властивостей виробу, яку характеризують склад його частин, призначення, взаємне розташування, форма, розміри і матеріали складових частин та види з'єднання їх між собою.

Налагодження – підготовка вимірювального перетворювача до роботи.

1.2. Класифікація волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин

Волоконно-оптичні перетворювачі фізичних величин можна класифікувати таким чином [1, 4, 6].

За призначенням: первинні перетворювачі (датчики), уніфіковані і проміжні перетворювачі.

За фізичною величиною, що вимірюється: датчики тиску, кутових і лінійних переміщень, температури, вібрацій, вологості, рівня рідини, деформацій.

За характером перетворення вхідної величини: лінійні та нелінійні.

За видом перетворення фізичних величин [4]:

- світловий потік на механічну величину;
- світловий потік на переміщення в'язкопружного середовища;
- світловий потік на електричну величину;
- світловий потік на теплову енергію;
- світловий потік на енергію магнітного поля;
- світловий потік на енергію світлового потоку.

За видом фізичних величин на вході та виході вимірювального перетворювача:

- аналогові – вхідні і вихідні величини є аналоговими сигналами;
- цифрові або дискретні – вхідні і вихідні величини є дискретними сигналами;
- аналого-цифрові – вхідний сигнал є аналоговим, вихідний – дискретним;
- цифро-аналогові – вхідний сигнал є цифровим, вихідний – аналоговим.

За принципом дії: параметричні (потрібне додаткове джерело енергії), генераторні (не потрібне додаткове джерело енергії).

За видом структурної схеми перетворювача: перетворювачі прямого однократного перетворення; перетворювачі послідовного прямого перетворення; диференційні перетворювачі; перетворювачі зі зворотним зв'язком.

За технологією виготовлення: датчики можуть бути виготовлені з використанням об'ємного, друкованого монтажу, гібридної та напівпровідникової технології, мікро- і нанотехнологій.

2. ЕЛЕМЕНТНА БАЗА ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

2.1. Джерела оптичного випромінювання

У волоконно-оптичних перетворювачах найчастіше застосовуються такі джерела оптичного випромінювання, як лазери та світлодіоди.

2.1.1. Лазери

В основі роботи лазерів лежить принцип підсилення світла за допомогою вимушеного випромінювання, що спостерігається в квантових системах у визначених умовах.

За видом лазерної речовини лазери поділяються на твердотільні (кристалічні або аморфні), газові, напівпровідникові та рідинні [1].

Накачування в лазерах може виконуватися оптичним випромінюванням, електричним струмом, електричним пучком, за рахунок хімічних реакцій та іншими способами.

За характером роботи лазери поділяються на ті, що працюють у неперервних та імпульсних режимах. Практичного застосування у твердотільних лазерах набули кристали синтетичного рубіну Al_2O_3 з додаванням іонів Cr^{3+} та скло з додаванням неодиму.

Основним функціональним блоком такого лазера [1] є випромінювач, що містить активний елемент, джерело накачування, відбивач та оптичний резонатор.

Активні елементи із рубіну та неодимового скла являють собою стрижні круглого або прямокутного перерізу. Стандартні рубінові активні елементи мають діаметр від 3,5 до 16 мм та довжину від 45 до 240 мм. Скляні стрижні виконують діаметром від 5 до 60 мм та довжиною від 80 до 1200 мм. Оптичний резонатор являє собою систему із двох дзеркал, повністю відбиваючого та частково прозорого, між якими розміщено активний елемент.

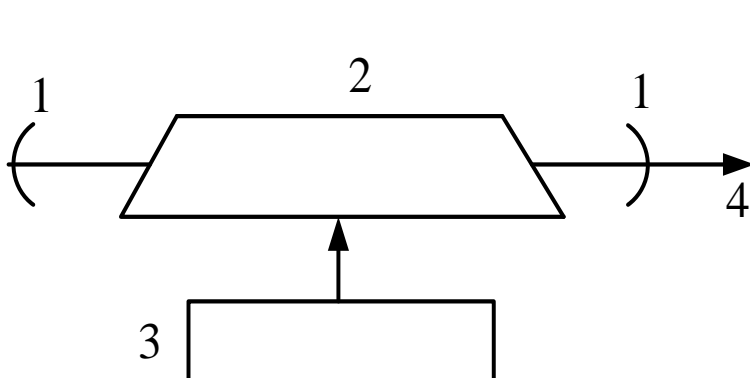


Рис. 2.1. Функціональна схема оптичного квантового генератора

У лазерних вимірювальних системах як джерело випромінювання використовується оптичний квантовий генератор (ОКГ), зазвичай газовий [7]. Оптичний резонатор складається з двох дзеркал 1 з високим коефіцієнтом відбиття (рис. 2.1).

Між дзеркалами відбувається багаторазове відбиття світлової хвилі, що поширюється вздовж осі приладу. В резонаторі можуть збуджуватися поперечні електромагнітні коливання, частоти яких збігаються з власними частотами коливань резонатора.

У газових лазерах як активна речовина застосовується легко іонізований газ або суміш газів (наприклад гелій-неон), що поміщають у трубку 2, яка встановлюється на осі приладу. Функцію системи збудження виконує іонізатор 3, розряди в якому здійснюються за допомогою постійної або високочастотної напруги. Безперервне випромінювання 4 лазера використовується як вимірювальний сигнал у лазерних вимірювальних приладах і системах. У цьому випадку можна застосувати лазери ЛГ-36, ЛГ-36А, ЛГ-38, ЛГН-215 з довжиною хвилі $\lambda = 0,6328$ мкм. Основними властивостями випромінювання лазерів є монохроматичність, тобто випромінювання у вузькому спектральному інтервалі, когерентність – часове і просторове узгодження фаз коливань, спрямованість, тобто випромінювання в межах малого тілесного кута і велика спектральна щільність потужності.

2.1.2. Світлодіоди

Світлодіоди – це напівпровідникові прилади, які випромінюють світло під час проходження крізь них електричного постійного струму. При цьому випромінювання виникає на напівпровідниковому р-n-переході внаслідок рекомбінації електронів і «дірок».

Типову конструкцію світлодіода показано на рис. 2.2.

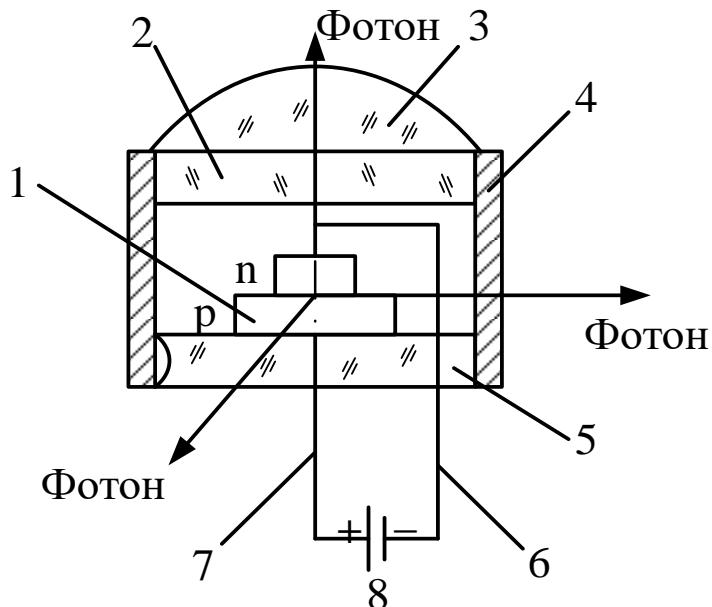


Рис. 2.2. Типова конструкція світлодіода: 1 – випромінювальний елемент; 2 – скло; 3 – лінза; 4 – металевий корпус; 5 – ізолювана основа; 6 – катод; 7 – анод; 8 – джерело постійного струму

Схему підімкнення світлодіода до джерела постійного струму [8] показано на рис. 2.3.

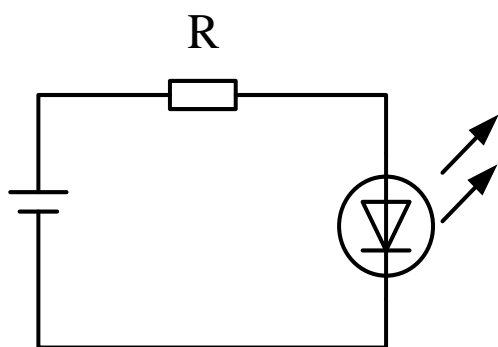


Рис. 2.3. Схема підімкнення світлодіода до джерела постійного струму

Схему підімкнення світлодіода до джерела змінного струму з використанням випрямних діодів [8] зображено на рис. 2.4.

Властивість випромінювання в оптичному діапазоні мають деякі напівпровідникові сполуки: $GaAs$ (арсенід галію), GaP (фосфід галію), $Ga_{1-x}Al_xn_{1-x}P_x$, $Ga_{1-x}Al_xn_{1-x}GaP$, де x – частка того або іншого елемента в сполуці.

Для отримання потрібного кольору світла матеріали легують добавками: для отримання зеленого світла додають азот, якщо в $Ga_{1-x}Al_xAs$, $x = 0,3$, тоді отримуємо червоне свічення.

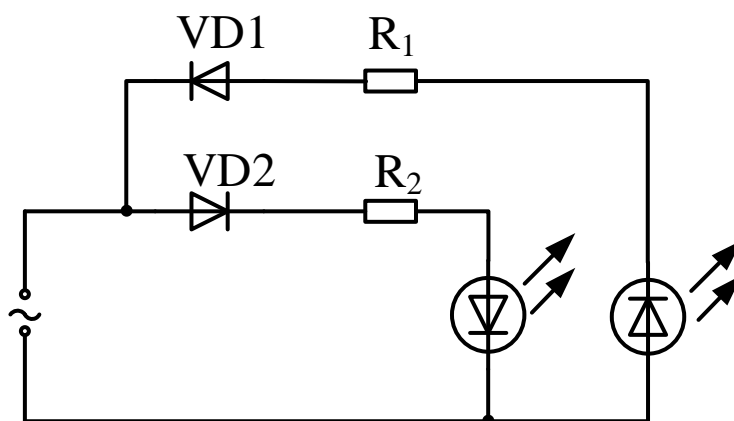


Рис. 2.4. Схема підімкнення світлодіода до джерела змінного струму

2.2. Приймачі оптичного випромінювання

Приймачі оптичного випромінювання – пристрої, призначені для його виявлення або вимірювання й основані на перетворенні енергії випромінювання на електричну.

Широко застосовуються в техніці такі види приймачів оптичного випромінювання: фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори.

2.2.1. Фоторезистори

Фоторезистор – напівпровідниковий прилад, що змінює величину свого опору в процесі опромінення світлом.

Схеми підімкнення фоторезисторів (ФР) різноманітні, але основною є схема розподілу напруги (рис. 2.5).

Для реєстрації видимого світла використовують фоторезистори із селеніду Se та сульфїду кадмію, а для реєстрації інфрачервоного випромінювання – такі матеріали як германій Ge (чистий або легований домішками Au, Cu, Zn), $Si, PbS, PbSe, JnSb, JnAs, HgCdTe$ [9]. Напівпровідник наносять тонким шаром на скляну або кварцову підкладку або вирізають у вигляді тонкої пластини з монокристалу.

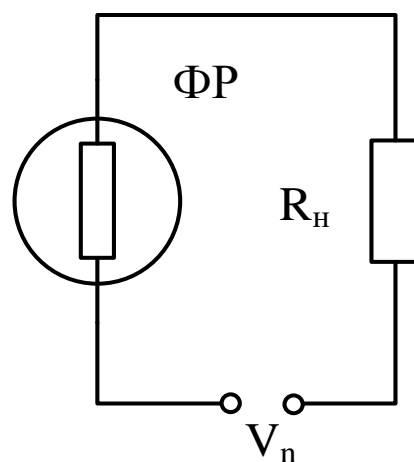


Рис. 2.5. Схема підімкнення фоторезистора

2.2.2. Фотодіоди

Фотодіод – приймач оптичного випромінювання, який перетворює світло, що потрапило на його фоточутливу ділянку, на електричний заряд за рахунок процесів у $p-n$ -переході. Фотодіод (ФД) виготовляють у вигляді металевої пластини, на яку нанесено тонкий шар напівпровідникового матеріалу (наприклад, селену) з напиленою на нього плівкою золота або іншого металу, що не окислюється. Способи підімкнення ФД на активне та реактивне навантаження наведено на рис. 2.6.

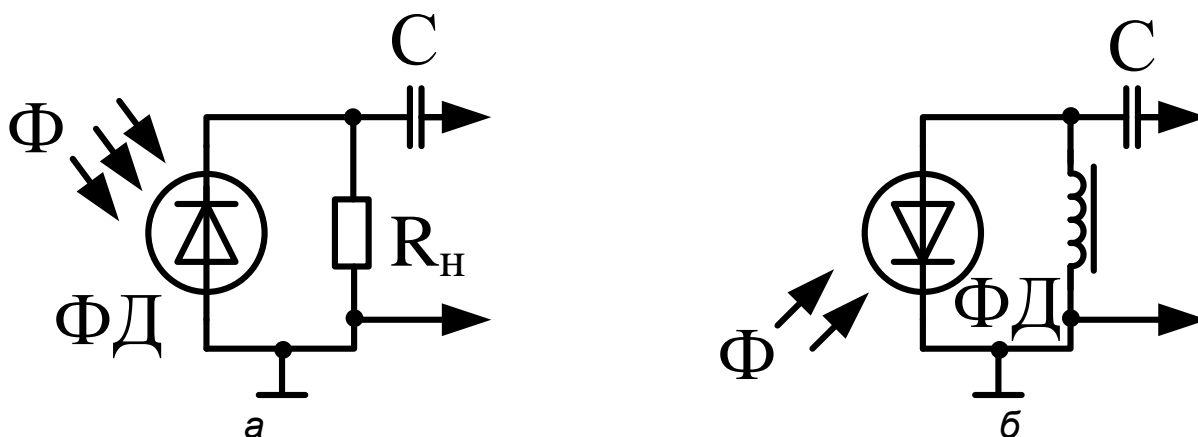


Рис. 2.6. Способи підімкнення ФД на активне (а) та реактивне (б) навантаження

2.2.3. Фототранзистори

Фототранзистор – це напівпровідниковий приймач, який поєднує властивості фотодіода та підсилювального транзистора [1, 10]. Фототранзистор складається із монокристалу германію n -типу, бази, в якій із двох сторін знаходяться сплавні p - n -переходи: колекторний та емітерний (рис. 2.7). Значний ефект підсилення фотоструму спостерігається при підімкненні фототранзистора із «обірваною» базою (див. рис. 2.7). При цьому на емітерний перехід подають напругу в прямому напрямку, а на колекторний – в запиральному.

Вхідним сигналом для фототранзистора є світловий потік Φ , який і керує струмом у колі.

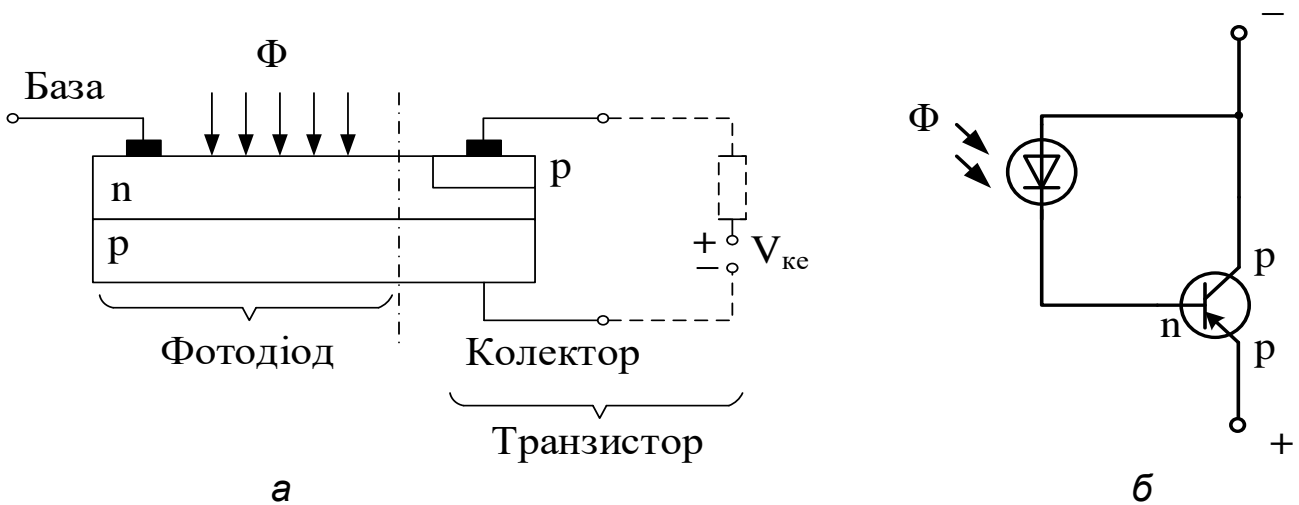


Рис. 2.7. Схема підімкнення (а) та еквівалентна схема (б) фототранзистора

2.3. Світлопровідні кабелі

У зв'язку з розвитком оптоелектроніки широке застосування знайшли світлопровідні кабелі [11], які забезпечують передачу на відстань світлового потоку внаслідок багаторазового внутрішнього відбиття променя усередині скляної основи світлопровідної жили (рис. 2.8). Скляне волокно світлопровідної жили має покриття, що дає можливість набирати волокна в джгути у вигляді світлопровідного кабелю. Як покриття використовують такі прозорі матеріали, як скло, леговане B_2O_3 , кварцове скло, леговане титаном, германієм, фосфором, бором, та інші, а світлопровідна жила може бути виготовлена з кварцового скла, легованого Al_2O_3 , GeO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , а також оксидних, халькогенідних, оксихалькогенідних, галогенідних та оксигалогенідних стекло. Детальніше конструкції волоконно-оптичних кабелів описано в роботах [12–15]. Важливою особливістю світлопроводів є те, що носіями сигналів у них є не

електрони, а фотони, завдяки чому вони практично не схильні до наведення від зовнішніх електромагнітних полів. Окрім того, відсутня заважаюча взаємодія усередині потоку, тому що фотони, на відміну від електронів, електрично нейтральні. Світлопровідні кабелі мають малі масогабаритні характеристики, наприклад, у світлопровідного кабелю, що складається з восьми волокон, погонна маса 50 г/м. Світлопровідні кабелі застосовуються у волоконно-оптичних системах передачі даних і пристроях оптичного оброблення сигналів.

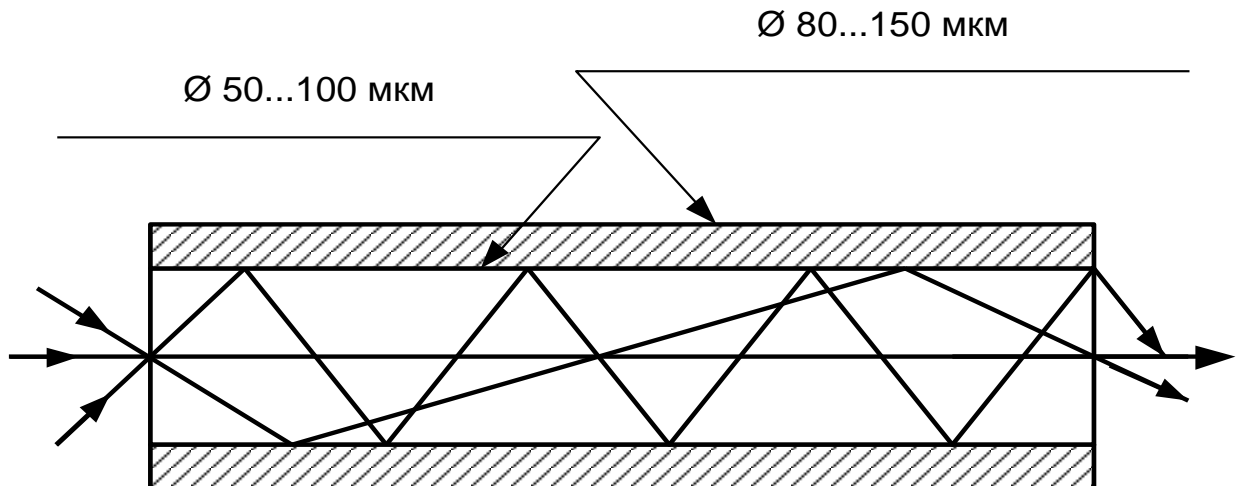


Рис. 2.8. Волоконний світлопровід

Їх переваги такі: низьке загасання сигналу, велика смуга пропускання, гальванічний розподіл вхідних і вихідних кіл, відсутність впливу електромагнітного поля, мала маса.

Недоліком є те, що найбільше загасання оптичного сигналу спостерігається на вході та виході світлопроводу, тобто у з'єднувачах, які поділяються на пасивні та активні.

Пасивні з'єднувачі призначено для стикування торців скляних волокон один з одним. Тут на загасання найбільше впливають поперечна і кутова неспіввідповідності волокон, зазор між торцями з'єднаних волокон, причому найбільшу частину загасання вносить саме неспіввідповідність волокон. Активні з'єднувачі містять перетворювачі оптичних сигналів на електричні та за принципом своєї роботи розривають не світлопровід, а електричне коло. Активні світлопровідні з'єднувачі конструктивно більш надійні, ніж пасивні, і бажано використовувати саме їх.

Прикладом застосування світлопровідного кабелю є волоконно-оптичний чутливий елемент для вимірювальних перетворювачів фізичних величин [16].

На рис. 2.9 показано конструкцію волоконно-оптичного чутливого елемента. Волоконні світловоди 1 та 2 створюють пружний елемент, на якому закріплено інерційну масу 3. Напроти передавального волоконного

світловода 1 розміщуються n нерухомих приймальних волоконних світловодів 4, які в процесі переміщення інерційної маси 3 послідовно створюють із світловодом 1 оптично спряжені пари. Кількість n нерухомих світловодів 4 визначається максимальним значенням вимірюваної фізичної величини. Світловоди 4 сформовані у вигляді світлопровідного кабелю.

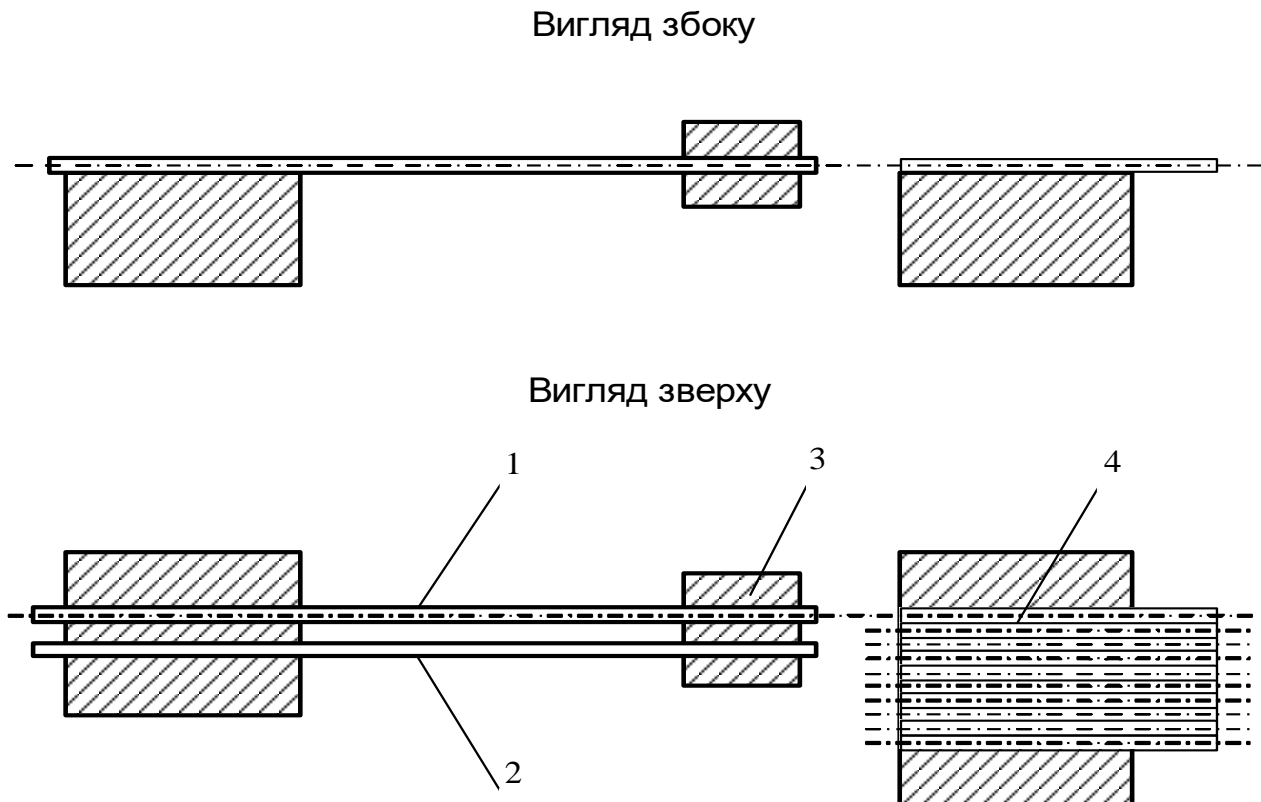


Рис. 2.9. Волоконно-оптичний чутливий елемент для вимірювальних перетворювачів фізичних величин

Волоконно-оптичний чутливий елемент працює таким чином. Передавальний світловод 1 пружного елемента під'єднано до джерела оптичного сигналу (на рис. 2.9 не показано), а вихідні торці нерухомих приймальних світловодів 4 оптично з'єднані з приймачами оптичних сигналів (фотоприймачі на рис. 2.9 не показано). Оптичний сигнал поширюється від джерела до приймача по волоконному світловоду 1 та відповідному світловоду 4. При дії прискорення на інерційну масу 3 виникає зміщення вихідного торця світловода 1 відносно вхідних торців світловодів 4. Залежно від величини прискорення послідовно засвічуються вхідні торці нерухомих світловодів 4, а на виході фотоприймачів виникнуть вихідні сигнали, що утворюють одиничний код, кількість одиниць якого відповідає кількості фотоприймачів, що прийняли оптичні сигнали від передавального волоконного світловода 1.

2.4. Кодові маски

Для подання вихідної інформації у позиційному двійковому коді (ПДК) або відбитому двійковому коді (ВДК), який називають кодом Грея (табл. 1.1), застосовують кодові маски [7].

Таблиця 1.1

Десяткове число	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПДК	0000	0001	0010	0011	0100	0101	0110	0111	1000	1001	1010
ВДК	0000	0001	0011	0010	0110	0111	0101	0100	1100	1101	1111

На рис. 2.10 показано розгортку чотирирозрядної ($n = 4$) маски ($I_p - IV_p$) фотоелектричного перетворювача для того, щоб зобразити положення задавального пристрою у звичайному двійковому коді, та спроектовані на цю маску чутливі елементи 1Д–4Д разом з лінією зчитування коду (ЛЗК). Заштриховані частини маски відповідають одиницям (проходження світлового потоку), світлі (відсутність світлового потоку) – нулям коду. При зміні положення маски відносно нерухомої ЛЗК чутливі елементи фіксують ці зміни з точністю до 1/16 повного діапазону переміщення і видають відповідні їм числа у двійковому коді від 0000 (0) до 1111 (15). Якщо в перетворювачі використовується звичайний двійковий код, то при одночасній зміні коду в декількох розрядах, наприклад, при переході від 0111 (7) до 1000 (8), виникає неоднозначність зчитування, зумовлена похибками нанесення кодових позначок на маску і встановлення чутливих елементів. У цьому випадку можливе зчитування коду 1111 або 0000.

Для виключення цієї неоднозначності використовують кодову маску, основу на застосуванні коду Грея.

На рис. 2.11 зображено розгортку п'ятирозрядної маски в коді Грея зі спроектованими на неї чутливими елементами (1Г–5Г) і ЛЗК. Маску в коді Грея можна сформувати з маски у двійковому коді, якщо зсунути кодові доріжки відносно початку відліку (ПВ) в напрямку позитивного переміщення маски на половину «ваги» відповідних розрядів. При цьому потрібно враховувати, що порівняно з розгорткою, показаною на рис. 2.10, в розгортці, зображеній на рис. 2.11, у випадку однакової дискретності доріжки молодшого розряду кількість різних кодових комбінацій удвічі більше, тобто «вага» кванта молодшого розряду вдвічі менша, а позначки двох старших розрядів за «вагою» однакові та змінені одна відносно іншої на половину дискретності.

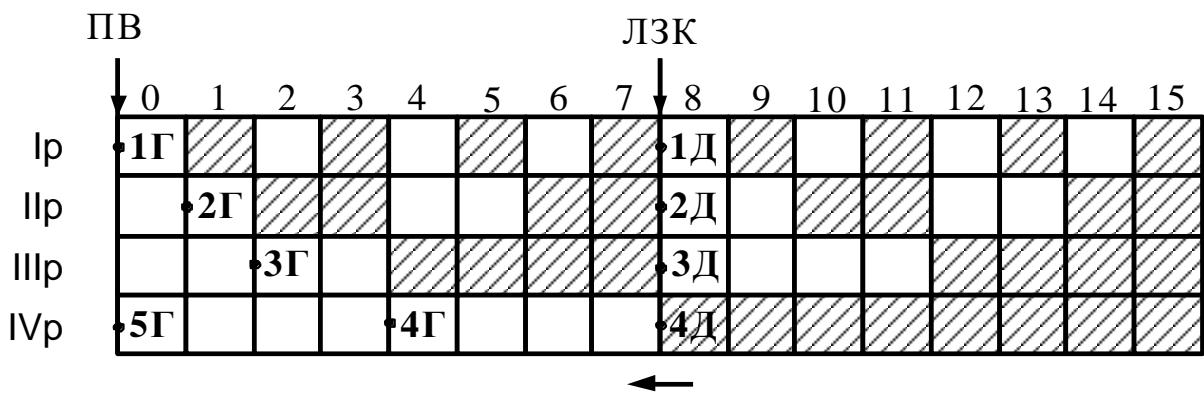


Рис. 2.10. Розгортка чотирирозрядної кодової маски для зображення положення задавального пристрою у двійковому коді

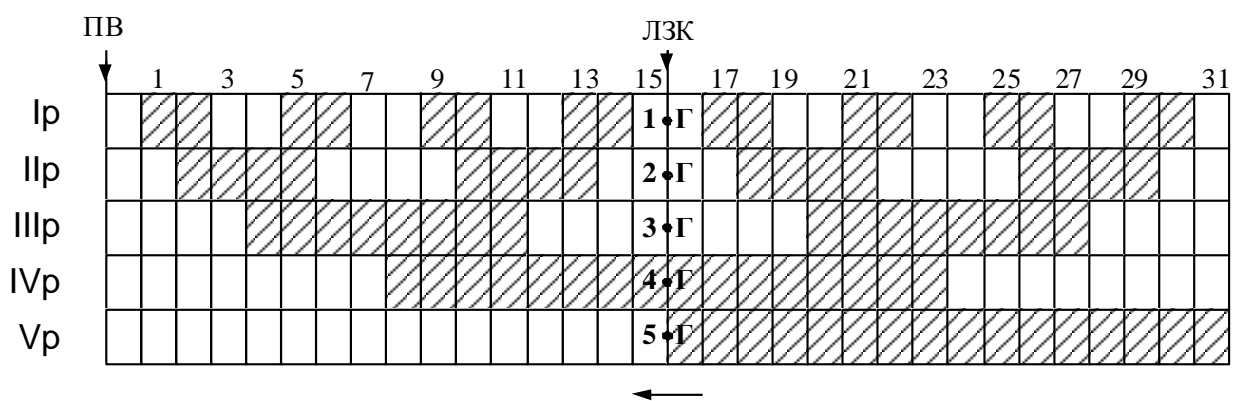


Рис. 2.11. Розгортка п'ятирозрядної маски в коді Грея

При виготовленні кодувальної маски з використанням коду Грея похибка неоднозначності зчитування дорівнюватиме 1, тобто, наприклад, при переході від 0111 (7) до 1000 (8) буде зчитане або число 7, або число 8.

2.5. Волоконно-оптичні перетворювачі з цифровим виходом

Такі перетворювачі належать до класу оптоелектронних цифрових перетворювачів (ЦПП) геометричного (просторового) кодування і являють собою пристрої, які перетворюють кутове θ або лінійне X переміщення сформованого світлового променя на межі двох оптичних середовищ на електричні коди функцій $f(X)$ або сукупності оптичних сигналів, які визначають результат перетворення.

На рис. 2.12 показано розкладку торців окремих джгутів 2 найпростіших кодувальних елементів 1 по вихідних торцях 3 окремих розрядів ВОП для одержання оптичного одиничного коду.

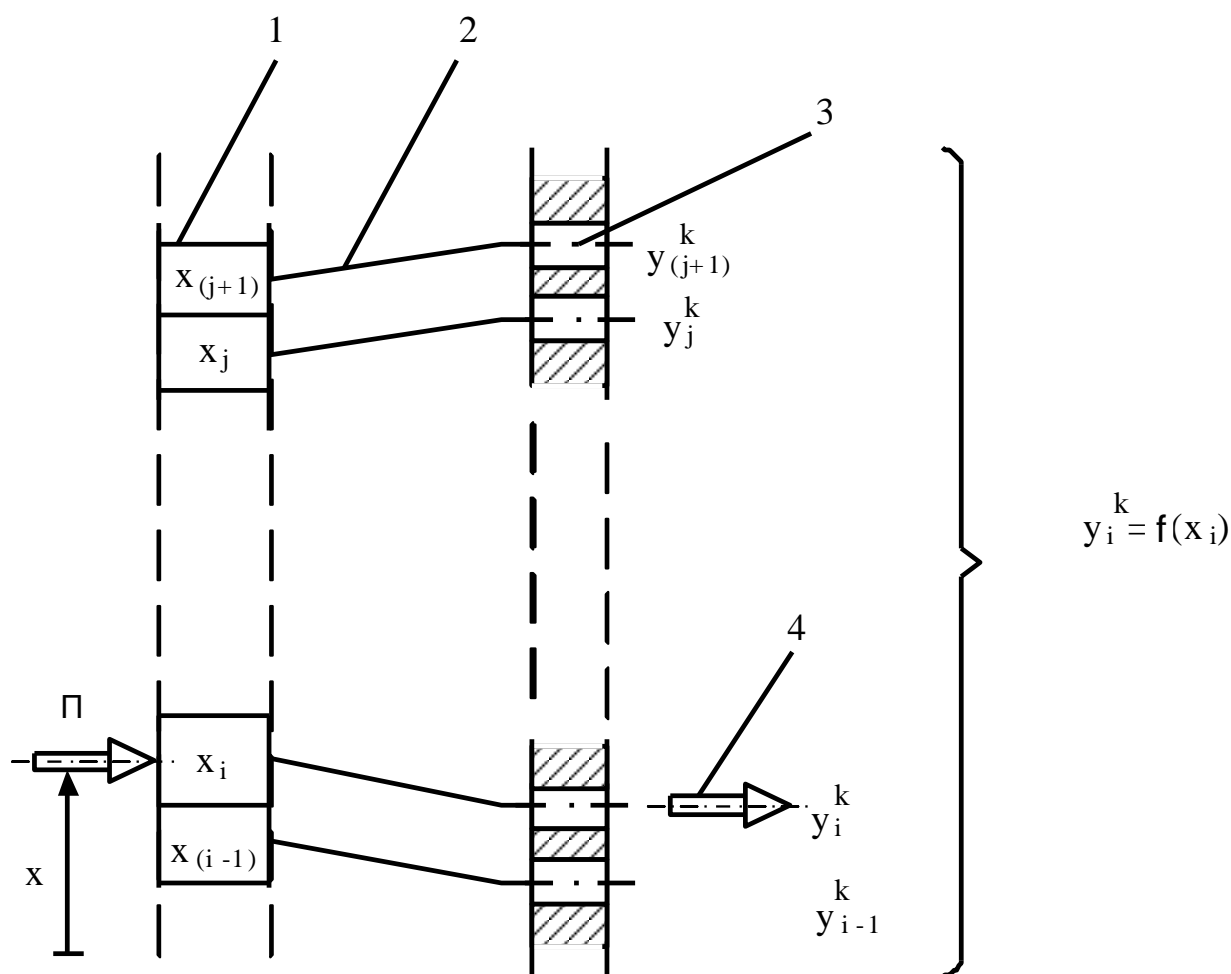


Рис. 2.12. Схема розкладки джгутів найпростіших кодувальних елементів

Вхідні величини (переміщення X) волоконно-оптичних перетворювачів (ВОП) паралельного зчитування задаються координатами вхідного сформованого променя Π , які квантуються, а відповідні їм рівні квантування кодуються у перетворювачі з урахуванням заданої функції перетворення. При цьому оптичний код на виході ВОП для кожного значення координати вхідного променя Π є комбінацією випромінювальних і невипромінювальних світлових потоків 4 вихідних торців 3, кожний з яких має відповідний розряд вихідного позиційного коду.

Перехід від одного виду коду до іншого здійснюється заміною розрядів, що присвоюються вхідним торцям 3 ВОП, і відповідною заміною розкладки джгутів 2 найпростіших кодувальних елементів 1.

На рис. 2.13 показано схеми розкладки джгутів найпростіших кодувальних елементів для отримання інформації про переміщення у двійковому коді та коді Грея.

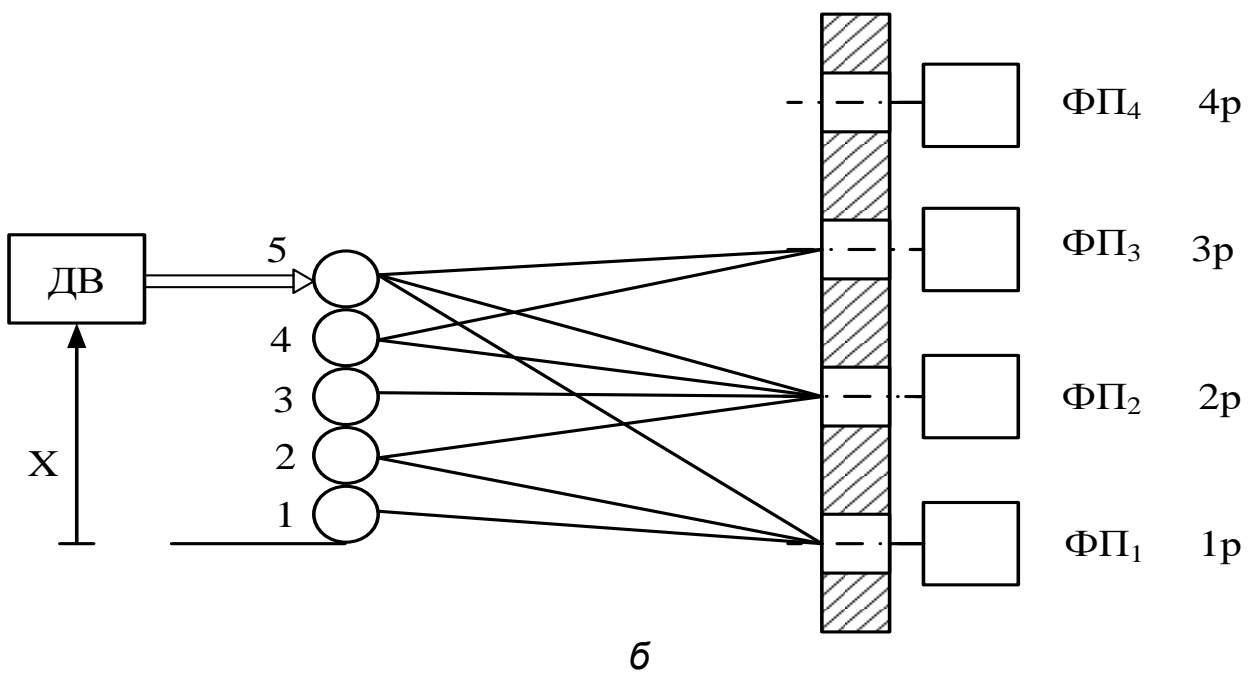
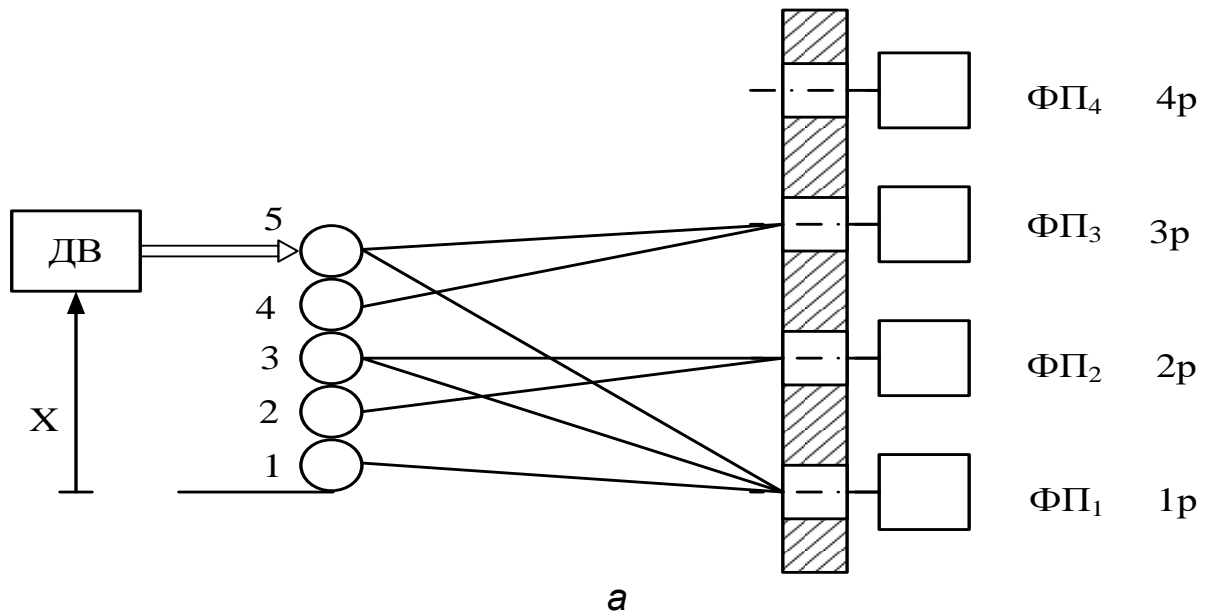


Рис. 2.13. Схема укладання джгутів найпростіших кодувальних елементів: а – двійковий код; б – код Грея; ДВ – джерело випромінювання; ФП – фотоприймач

3. ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Волоконно-оптичні перетворювачі можуть застосовуватися для вимірювання таких фізичних величин: тиск, кутові та лінійні переміщення, вібрації, температура, вологість, рівень рідини, деформації та ін.

Наприклад, запропоновано волоконно-оптичний датчик [17], який можна використовувати для вимірювання таких фізичних величин, як тиск, переміщення або деформація. Датчик порівняно з аналогами [18, 19] дає змогу підвищити точність і надійність роботи.

На рис. 3.1 наведено функціональну схему реалізації цього волоконно-оптичного датчика фізичних величин.

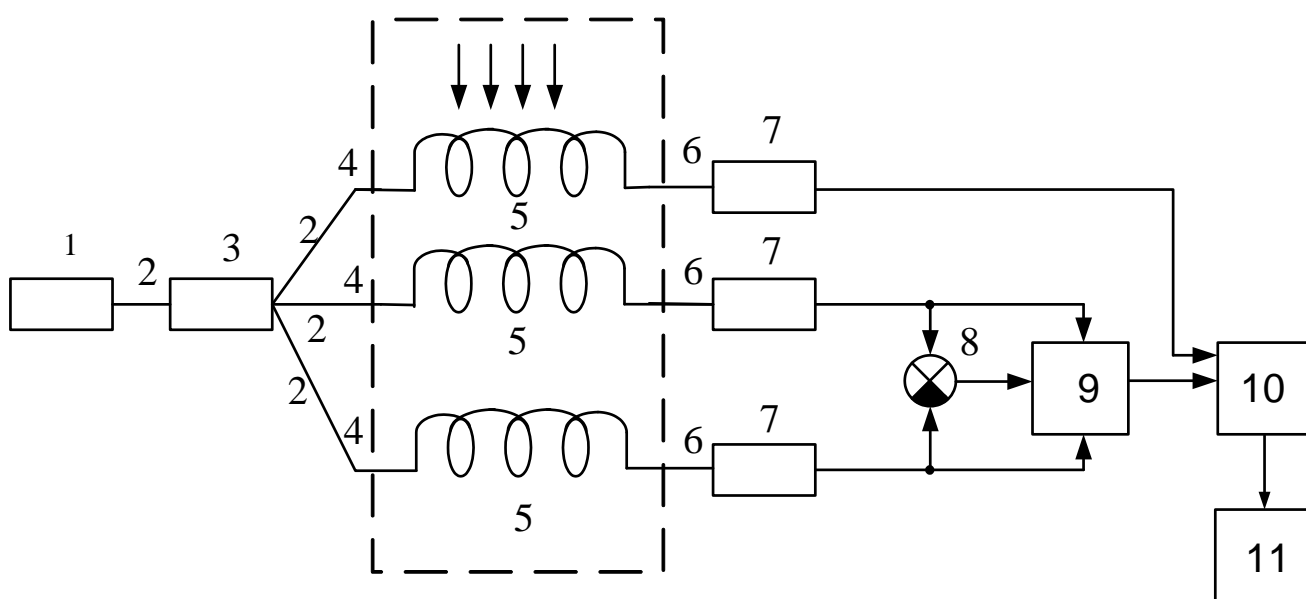


Рис. 3.1. Волоконно-оптичний датчик фізичних величин

Волоконно-оптичний датчик фізичних величин містить джерело випромінювання 1, світловоди розгалужувача 2, волоконно-оптичний розгалужувач 3, входні світловоди 4 робочого і опорних каналів, чутливі світловоди 5 робочого і опорних каналів, вихідні світловоди 6 робочого і опорних каналів, приймачі випромінювання 7. Приймачі випромінювання 7 опорних каналів під'єднано до послідовно з'єднаних блока порівняння 8 і логічного блока 9, який під'єднано до реєструвального пристрою 10, з'єданого з блоком перетворення, оброблення, зберігання та відображення отриманої інформації 11.

Запропонований волоконно-оптичний датчик фізичних величин працює таким чином.

Джерело випромінювання 1 створює потік випромінювання Φ_0 , який надходить спочатку на вхідний світловод розгалужувача 2, а потім на оптичний розгалужувач 3, де розподіляється на три потоки $\Phi_{oi} (i = \overline{1,3})$, що надходять по вихідних світловодах 2 розгалужувача, вхідних світловодах 4 робочого і опорного каналів на чутливі світловоди 5 робочого і опорного каналів. Далі потоки випромінювання $\Phi_{oi} (i = \overline{1,3})$, пройшовши крізь чутливі світловоди 5 каналів, послабляються до величини потоків $\Phi_i (i = \overline{1,3})$ і, поширюючись по вихідних світловодах 6 каналів, надходять до приймачів випромінювання 7. Вимірвальні канали мають однакові розміри та знаходяться в одній робочій зоні. Лише чутливий світловод робочого каналу 5 зазнає впливу фізичної величини, що вимірюється. Це приводить до послаблення потоку випромінювання до величини Φ_1 . Потоки, що пройшли крізь опорні канали, не зазнаватимуть змін, пов'язаних з дією фізичної величини. Дестабілізуючі фактори будуть однаково впливати на потоки Φ_{oi} у каналах, а канали ідентичні, тому у випадку працездатності обох опорних каналів потоки у них послабляються до величини $\Phi_2 = \Phi_3$. Цей потік є опорним сигналом, що відповідає нульовому значенню фізичної величини. У випадку працездатності обох опорних каналів блок порівняння 8 подає сигнал на логічний блок 9 для під'єднання приймача випромінювання 7 одного із опорних каналів до реєструвального пристрою 10, на перший вхід якого надходить сигнал з приймача випромінювання 7 робочого каналу. Використовуючи дані, отримані з робочого і одного із опорних каналів, у блоці перетворення, оброблення, зберігання та відображення інформації 11 визначається значення фізичної величини.

У випадку непрацездатності одного з опорних каналів блок порівняння 8 видає сигнал на логічний блок 9, який визначає непрацездатний опорний канал і під'єднує до реєструвального пристрою працездатний опорний канал.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик фізичних величин дає змогу підвищити точність і надійність його роботи шляхом під'єднання додаткового опорного каналу, порівняння сигналів опорних каналів і під'єднання працездатного каналу.

3.1. Датчики тиску

З метою забезпечення можливостей з більшою точністю визначати значення величин вимірвального тиску та застосування для

випробування мембран порівняно з аналогом [20] запропоновано волоконно-оптичний датчик тиску [21, 22].

На рис. 3.2 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика тиску.

Волоконно-оптичний датчик тиску складається з мембранного чутливого елемента 1, який закріплено в корпусі 2. Перед мембраною розташовані n передавальних світловодів 3 і приймальний світловод 4, на виході якого встановлено фотоприймач 5.

На входах передавальних світловодів встановлено n світловодів 6. Торці світловодів оптично зв'язані з мембранним чутливим елементом. Передавальні світловоди розміщені уздовж горизонтальної і вертикальної осей симетрії мембрани, а приймальний світловод розміщений на початку системи координат.

Фотоприймач через аналого-цифровий перетворювач 7 підімкнено до мікроконтролера 8, вхід якого під'єднано до датчика температури 9, перший вихід – до індикатора 10, а другий вихід – до драйвера світлодіодів 11. Драйвер світлодіодів з'єднаний зі світлодіодами, які зв'язані з передавальними світловодами.

Волоконно-оптичний датчик тиску для випадку, коли кількість передавальних світловодів $n = 16$, працює таким чином.

Мікроконтролер 8 виконує почергове підімкнення світлодіодів 6 шляхом подачі цифрових сигналів драйверу світлодіодів 11. Драйвер перетворює отриманий сигнал на номер світлодіода, який необхідно підімкнути, і подає на нього струм фіксованої величини. Світлодіод, у свою чергу, перетворює цей струм на світловий потік.

Передавальні світлодіоди 3 почергово, відповідно до програми, засвічують поверхню мембрани 1, яка закріплена в корпусі 2 та сприймає тиск P . Засвічування, наприклад, виконується спочатку по горизонтальній, а потім по вертикальній осях симетрії мембрани (від крайніх світловодів 3 до центрального приймального світловоду 4). Мембрана під дією тиску P , температури, а також вібрацій змінює свою форму. Відбиті від поверхні мембрани світлові сигнали потрапляють у зону приймального світлодіода 4, а по ньому – на фотоприймач 5, який перетворює інтенсивність світлового потоку на напругу.

Отримані значення напруги в аналого-цифровому перетворювачі 7 перетворюються на цифровий код. Після того, як мікроконтролер отримав 16 значень напруги, він виконує розрахунок поточного значення тиску з використанням алгоритму цифрового оброблення сигналів, а також його коригування за показаннями цифрового датчика температури 9.

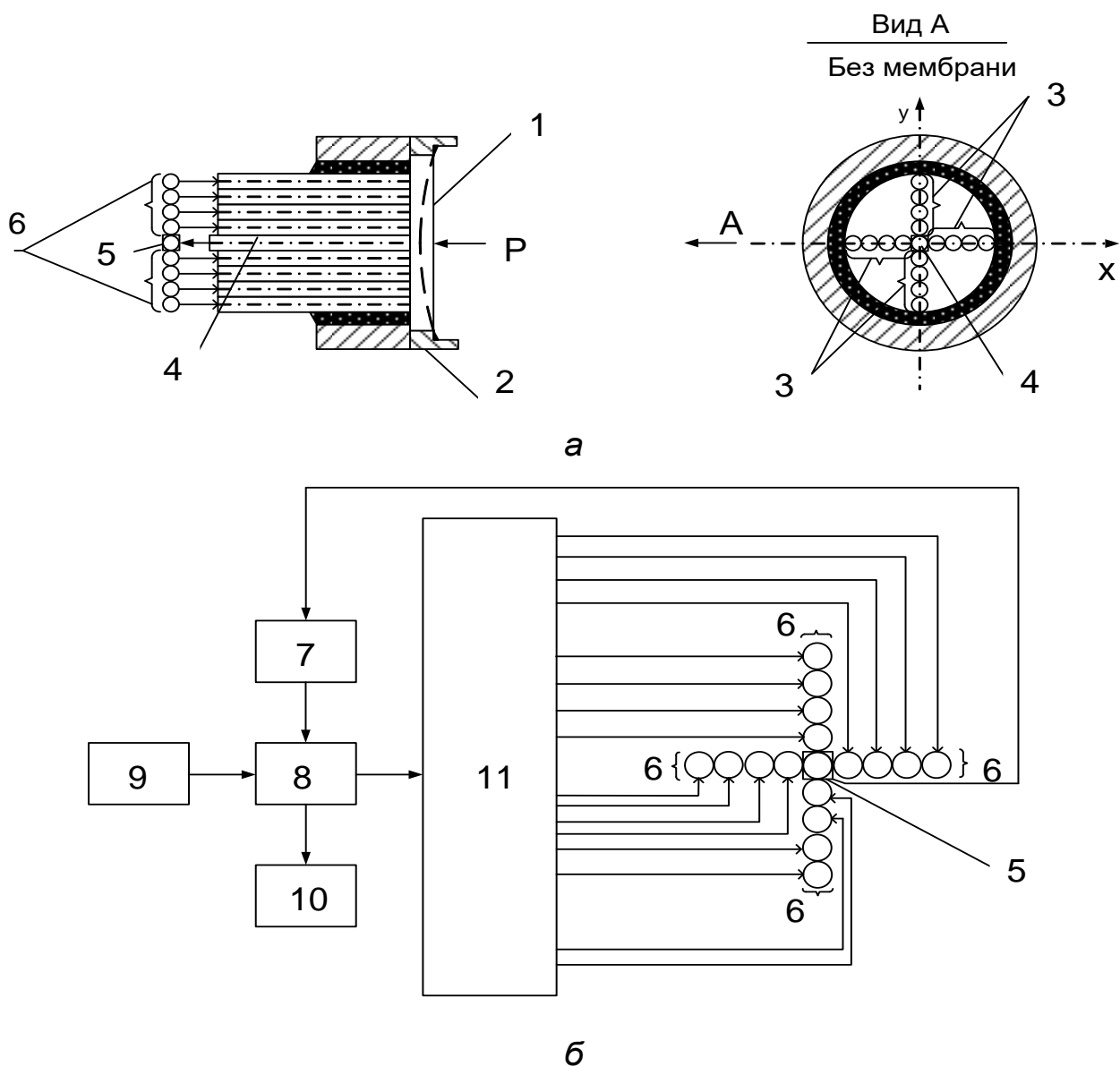


Рис. 3.2. Конструкція волоконно-оптичного датчика тиску:
 а – розміщення світловодів перед площиною мембрани;
 б – функціональна схема датчика

При цьому значення тиску визначається за формулою

$$P_{кор} = P_{сер} + \Delta P,$$

де $P_{сер} = \frac{\sum_{i=1}^4 P_{гор_i} + \sum_{i=1}^4 P_{вер_i}}{8}$ – середнє значення тиску; $\Delta P = f_T(T)$ –

поправка з урахуванням дії температури T , яка вибирається з пам'яті мікроконтролера; $P_{гор_i}$ – значення тиску, яке визначається за результатами вимірювання відбитих оптичних сигналів, що надходять від двох передавальних світловодів, торці яких розміщені на горизонтальній

осі симетрії мембрани (вліво та вправо) на однакових відстанях від початку координат; $P_{\text{вер } i}$ – значення тиску, яке визначається за результатами вимірювання відбитих оптичних сигналів, що надходять від двох передавальних світловодів, торці яких розміщені на вертикальній осі симетрії мембрани (уверх та униз) на однакових відстанях від початку координат. Причому $P_{\text{гор } i} = f_{\text{гор } i}(U_{\text{сер.гор } i})$, а $P_{\text{вер } i} = f_{\text{вер } i}(U_{\text{сер. вер } i})$, вибираються з пам'яті мікроконтролера за середніми значеннями напруги, що отримані після перетворення відбитих світлових сигналів, що надійшли від відповідних передавальних світловодів.

Отримане значення тиску $P_{\text{кор}}$ передається на цифровий індикатор 10.

За рахунок сканування поверхні мембрани світловими сигналами та оброблення в мікроконтролері перетворених відбитих сигналів зменшуються похибки від впливу температури, вібрацій та інших факторів.

При випробуванні мембрани на її вхід подаються еталонні значення тиску, а в мікроконтролері знайдені за перетвореними відбитими оптичними сигналами прогини мембрани порівнюються з еталонними, що зберігаються у пам'яті мікроконтролера. За результатами порівняння видається інформація про працездатність мембрани.

Використання запропонованого волоконно-оптичного датчика дає змогу підвищити точність вимірювання тиску, розширити його функціональні можливості, а саме забезпечення функції випробування мембран для оцінки їх працездатності.

З метою подальшого підвищення точності визначення величини тиску порівняно з аналогами [20–22] і оцінки працездатності мембрани шляхом отриманих у процесі роботи пристрою математичних моделей запропоновано волоконно-оптичний датчик тиску [23, 24].

На рис. 3.3 зображено конструкцію удосконаленого волоконно-оптичного датчика тиску.

Волоконно-оптичний датчик тиску складається із мембранного чутливого елемента 1, який закріплено в корпусі 2. Перед мембраною розташовано дев'ять передавальних світловодів 3 і приймальний світловод 4, на виході якого встановлено фотоприймач 5. На входах передавальних світловодів встановлено дев'ять світлодіодів 6. Торці світловодів оптично зв'язані з мембранним чутливим елементом і розміщені в системі координат XU згідно з точками ортогонального центрального композиційного планування, а торець світловоду, пов'язаного з фотоприймачем, розміщено на початку системи координат.

Фотоприймач через аналого-цифровий перетворювач 7 під'єднано до мікроконтролера 8, вхід якого під'єднано до датчика температури 9, перший вихід – до індикатора 10, а другий вихід – до драйвера 11

світловодів. Драйвер світлодіодів з'єднаний з дев'ятьма світлодіодами, які зв'язані з дев'ятьма світловодами.

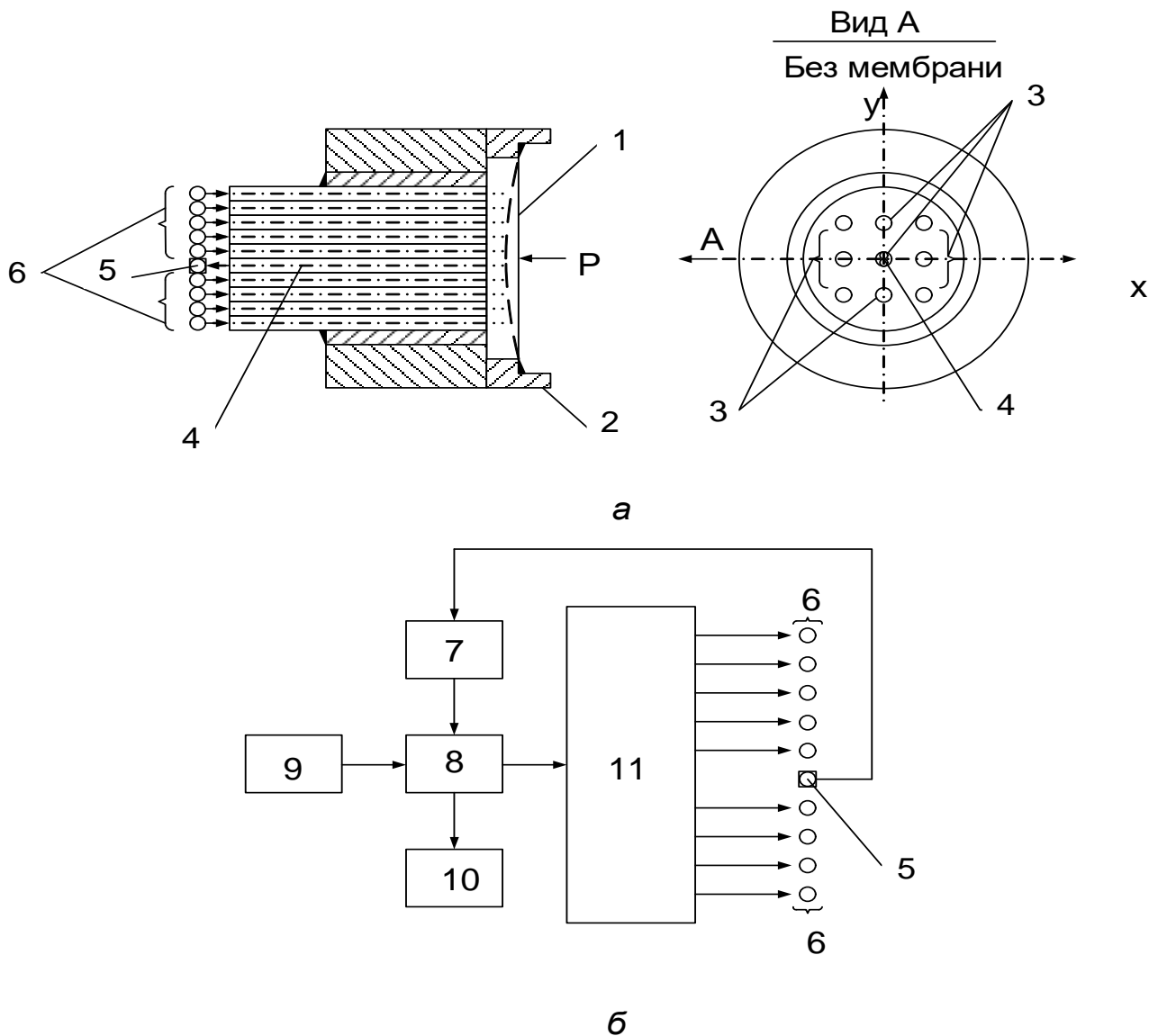


Рис. 3.3. Конструкція удосконаленого волоконно-оптичного датчика тиску: а – розміщення світловодів перед площиною мембрани; б – функціональна схема датчика

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином.

Мікроконтролер 8 виконує почергове ввімкнення світловодів 6 шляхом подачі цифрових сигналів драйверу 11 світлодіодів. Драйвер перетворює отриманий сигнал на номер світлодіода, який необхідно підімкнути, і подає на нього струм фіксованої величини. Світлодіод, у свою чергу, перетворює цей струм на світловий потік. Передавальні світловоди 3 почергово, відповідно до програми, засвічують поверхню мембрани 1, яка закріплена в корпусі 2 та сприймає тиск Р. Засвічування вихідних торців, наприклад, виконується зліва направо по рядках, починаючи з верхнього.

Мембрана під дією тиску P , температури, а також вібрацій змінює свою форму. Відбиті від поверхні мембрани світлові сигнали потрапляють у зону приймального світловоду 4, а по ньому – на фотоприймач 5, який перетворює інтенсивність світлового потоку на напругу. Отримані значення напруги в аналого-цифровому перетворювачі 7 перетворюються на цифровий код. Після того, як мікроконтролер отримує дев'ять значень напруги, він виконує розрахунок поточних значень тиску P_i в кожній з дев'яти точок плану ортогонального центрального композиційного планування (ОЦКП) з використанням алгоритму цифрового оброблення сигналів, а також їх корегування за показаннями цифрового датчика температури на величину поправки ΔP .

З урахуванням отриманих поточних значень тиску $P_i + \Delta P$ за алгоритмом оброблення результатів експерименту, отриманих по плану ОЦКП, будується математична модель

$$P = b_0 + b_1x + b_2y + b_{12}xy + b_{11}x_1^2 + b_{22}y_2^2,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти математичної моделі;

x, y – координати точки мембрани, в якій розраховується тиск.

За математичною моделлю знаходять величину тиску в різних точках мембрани, а потім розраховують середнє значення тиску $P_{сер}$, яке передається на цифровий індикатор 10.

За рахунок побудови математичної моделі $P = F(x, y)$ та усереднення значень тиску, отриманих за цією моделлю, зменшуються похибки від впливу температури, вібрацій та інших факторів.

При випробуванні мембрани на її вхід подається еталонне значення тиску, а в мікроконтролері знайдені за перетвореними відбитими оптичними сигналами прогини мембрани f_i обробляються за алгоритмами плану ОЦКП. За отриманою математичною моделлю у вигляді

$$f = b_0 + b_1x + b_2y + b_{12}xy + b_{11}x_1^2 + b_{22}y_2^2$$

знаходяться в різних точках системи координат XY прогини f_i та порівнюються з еталонними, що зберігаються в пам'яті мікроконтролера. За результатами порівняння видається інформація про працездатність мембрани.

Застосування запропонованого волоконно-оптичного датчика забезпечує можливість з більшою точністю визначати величину тиску і оцінювати працездатність мембрани шляхом використання отриманих у процесі роботи пристрою математичних моделей.

З метою забезпечення автоматичної компенсації температурної похибки в процесі вимірювання тиску порівняно з аналогом [24] запропоновано волоконно-оптичний датчик [25].

На рис. 3.4 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика тиску.

Волоконно-оптичний датчик тиску складається із мембранного чутливого елемента 1, який закріплено в корпусі 2. Перед чутливим елементом 1 розташовано дев'ять передавальних світловодів 3 і приймальний світловод 4, на виході якого встановлено фотоприймач 5. На входах передавальних світловодів 3 встановлено дев'ять світлодіодів 6. Торці світловодів 3 оптично зв'язані з чутливим елементом 1 і розміщені в системі координат XU , згідно з точками ортогонального центрального композиційного планування, а торець світловоду 4, зв'язаного з фотоприймачем 5, розміщено на початку системи координат. Фотоприймач 5 через аналого-цифровий перетворювач 7 під'єднано до мікроконтролера 8, вхід якого під'єднано до датчика температури 9, перший вихід – до індикатора 10, а другий вихід – до драйвера 11 світлодіодів. Драйвер 11 світлодіодів з'єднаний з дев'ятьма світлодіодами 6, які зв'язані з дев'ятьма світловодами 3. Чутливий елемент 1 встановлюється на прокладку 12, яка виконана у вигляді кільцевого п'єзоелемента, під'єданого через цифро-аналоговий перетворювач 13 до третього виходу мікроконтролера 8.

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином. Мікроконтролер 8 через цифро-аналоговий перетворювач 13 подає напругу на кільцевий п'єзоелемент 12 для компенсації температурної похибки ΔP і виконує почергове ввімкнення світлодіодів 6 шляхом подачі цифрових сигналів драйвера 11 світлодіодів. Драйвер 11 перетворює отриманий сигнал на номер світлодіода, який необхідно підімкнути, і подає на нього струм фіксованої величини. Світлодіод, у свою чергу, перетворює цей струм на світловий потік. Передавальні світловоди 3 почергово, відповідно до програми, засвічують поверхню мембрани 1, яка закріплена в корпусі 2 та приймає тиск P . Засвічування вихідних торців, наприклад, виконується зліва направо по рядках, починаючи з верхнього.

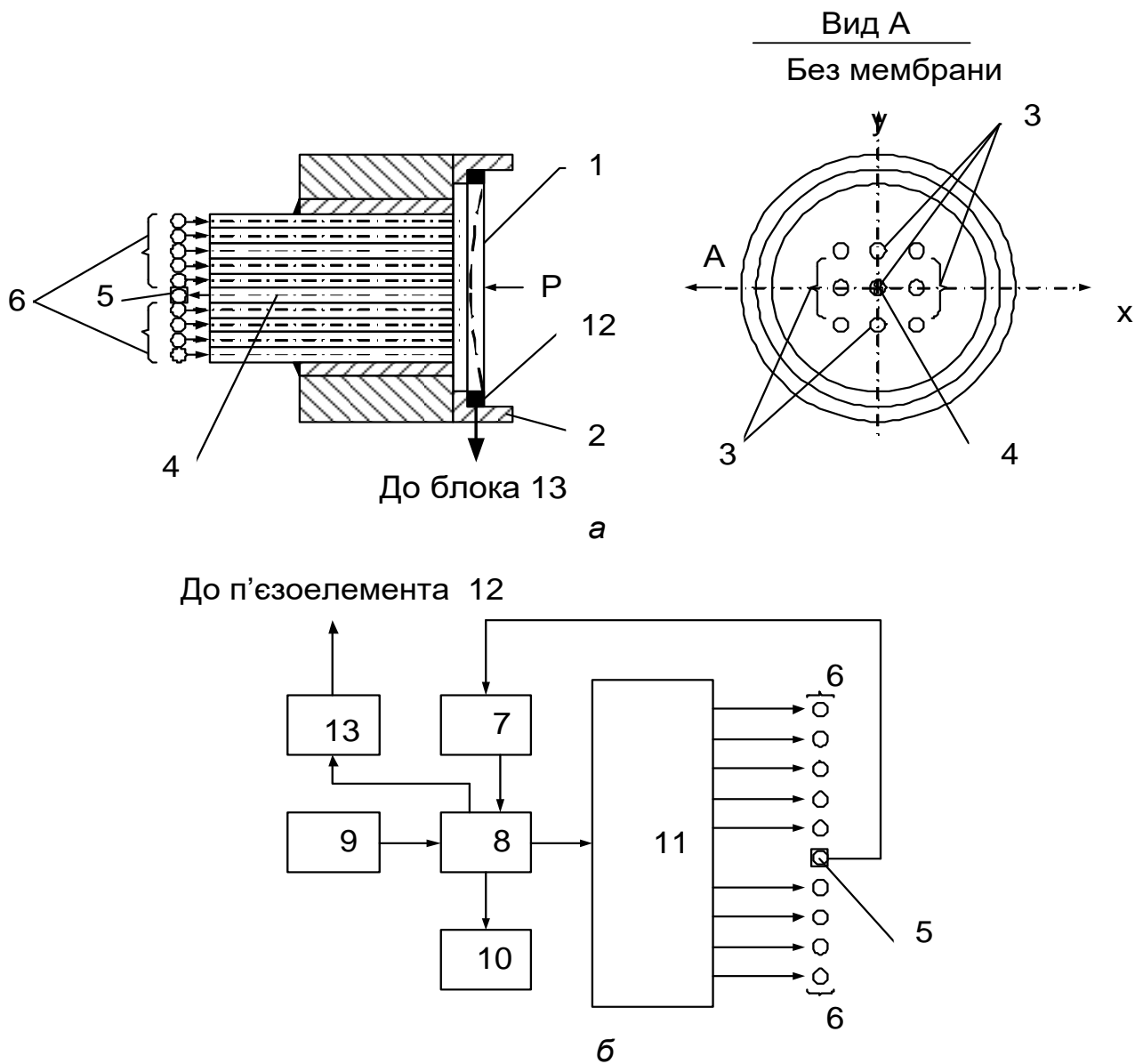


Рис. 3.4. Конструкція волоконно-оптичного датчика тиску із схемою компенсації: а – розміщення світловодів перед площиною чутливого елемента; б – функціональна схема датчика

Мембрана 1 під дією тиску P і вібрацій змінює свою форму. Відбиті від поверхні мембрани 1 світлові сигнали потрапляють у зону світлоприймального волокна 4, а по ньому – на фотоприймач 5, який перетворює інтенсивність світлового потоку на напругу. Отримані значення напруги в аналого-цифровому перетворювачі 7 перетворюються на цифровий код. Після того, як мікроконтролер 8 отримає дев'ять значень напруги, він виконує розрахунок поточних значень тиску P_i в кожній з дев'яти точок плану ортогонального центрального композиційного планування (ОЦКП) з використанням алгоритму цифрового оброблення сигналів.

З урахуванням отриманих поточних значень тиску P_i за алгоритмом оброблення результатів експерименту, отриманих по плану ОЦКП, будується математична модель

$$P = b_0 + b_1x + b_2y + b_{12}xy + b_{11}x_1^2 + b_{22}y_2^2,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти математичної моделі, x, y – координати точки мембрани, в якій розраховується тиск.

За математичною моделлю знаходять величину тиску в різних точках мембрани 1, а потім розраховують середнє значення тиску $P_{сер}$, яке передається на цифровий індикатор 10.

За рахунок автоматичної компенсації температурної похибки ΔP , побудови математичної моделі $P_i = F(x, y)$ та усереднення значень тиску, отриманих за цією моделлю, зменшуються похибки від впливу температури, вібрацій та інших факторів.

Застосування запропонованого волоконно-оптичного датчика забезпечує можливість спростити процес корегування значень тиску P_i шляхом введення автоматичної компенсації температурної похибки ΔP .

З метою забезпечення достатньої надійності і можливості реалізації контролю і діагностики пристрою в процесі його роботи порівняно з аналогами [22, 23] запропонований волоконно-оптичний датчик тиску [26].

На рис. 3.5 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика тиску.

Волоконно-оптичний датчик тиску складається із чутливого елемента 1 у вигляді кварцового п'єзоелемента, який закріплено в корпусі 2. Перед чутливим елементом 1 розташовано дев'ять передавальних світловодів 3 і приймальний світловод 4, на виході якого встановлено фотоприймач 5. На входах передавальних світловодів 3 встановлено дев'ять світлодіодів 6. Торці світловодів 3 оптично зв'язані з чутливим елементом 1 і розміщені в системі координат XU згідно з точками ортогонального центрального композиційного планування, а торець світловода 4, пов'язаного з фотоприймачем 5, розміщено на початку системи координат. Фотоприймач 5 через аналого-цифровий перетворювач 7 під'єднано до мікроконтролера 8, вхід якого під'єднано до датчика температури 9, перший вихід – до індикатора 10, а другий вихід – до драйвера 11 світлодіодів. Драйвер 11 світлодіодів з'єднаний з дев'ятьма світлодіодами 6, які пов'язані з дев'ятьма світловодами 3. Чутливий елемент 1 через підсилювач 12 під'єднано до другого входу аналого-цифрового перетворювача 7.

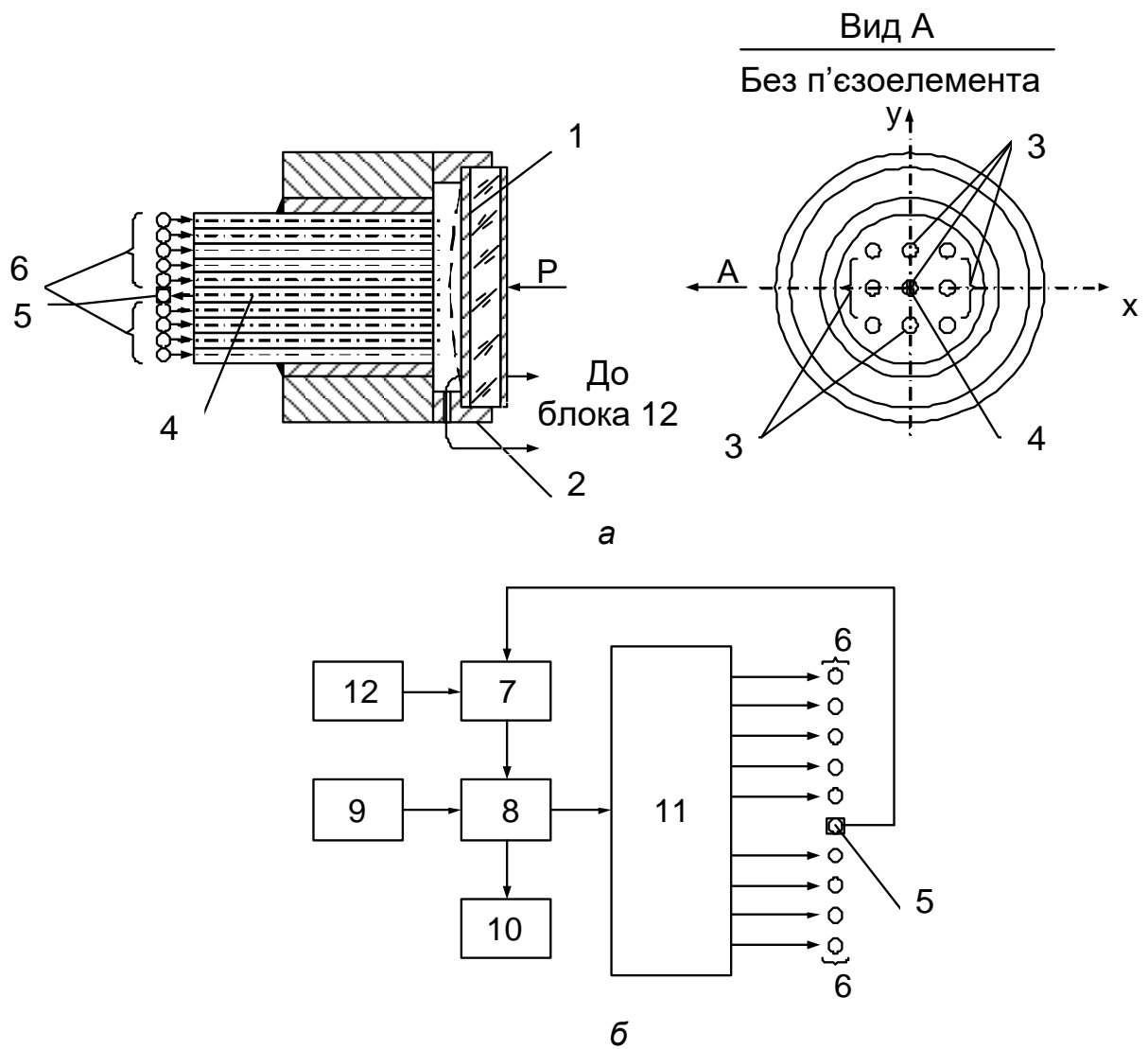


Рис. 3.5. Конструкція волоконно-оптичного датчика тиску підвищеної надійності: а – розміщення світловодів перед площиною чутливого елемента; б – функціональна схема датчика

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином. Мікроконтролер 8 виконує почергове ввімкнення світлодіодів 6 шляхом подачі цифрових сигналів драйвера 11 світлодіодів. Драйвер 11 перетворює отриманий сигнал на номер світлодіода, який необхідно підімкнути, і подає на нього струм фіксованої величини. Світлодіод, у свою чергу, перетворює цей струм на світловий потік. Передавальні світловоди 3 почергово, відповідно до програми, засвічують поверхню чутливого елемента 1, яка закріплена в корпусі 2 та приймає тиск P . Засвічування вихідних торців, наприклад, виконується зліва направо по рядках, починаючи з верхнього.

Чутливий елемент 1 під дією тиску P_i , температури, а також вібрацій змінює свою форму. Відбиті від поверхні мембрани світлові сигнали потрапляють у зону світлоприймального волокна 4, а по ньому – на фотоприймач 5, який перетворює інтенсивність світлового потоку на напругу. Отримані значення напруги в аналого-цифровому перетворювачі 7 перетворюються на цифровий код. Після того, як мікроконтролер 8 отримає дев'ять значень напруги, він виконує розрахунок поточних значень тиску P в кожній з дев'яти точок плану ортогонального центрального композиційного планування (ОЦКП) з використанням алгоритму цифрового оброблення, а також їх корегування за показаннями цифрового датчика температури 9 на величину поправки ΔP .

З урахуванням отриманих поточних значень тиску $P_{i+\Delta P}$ за алгоритмом оброблення результатів експерименту, отриманих по плану ОЦКП, будується математична модель

$$P = b_0 + b_1x + b_2y + b_{12}xy + b_{11}x^2 + b_{22}y^2,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти математичної моделі;

x, y – координати точки чутливого елемента, в якій розраховується тиск.

За математичною моделлю знаходять величину тиску в різних точках мембрани, а потім розраховують середнє значення тиску $P_{сер}$, яке передається на цифровий індикатор 10.

За рахунок побудови математичної моделі $P = F(x, y)$ та усереднення значень тиску, отриманих за цією моделлю, зменшуються похибки від впливу температури, вібрацій та інших факторів.

Напруга із п'єзoeлементу 1, яка пропорційна тиску, підсилюється в підсилювачі 12 і перетворюється на двійковий код в аналого-цифровому перетворювачі 7. В мікроконтролері 8 за цим кодом з урахуванням величини поправки ΔP розраховується значення тиску P , яке передається на індикатор 10. У мікроконтролері 8 також порівнюються величини тиску P і $P_{сер}$. Якщо розбіжність перевищує допустиме значення $P_{доп}$, тоді на індикатор 10 видається інформація про несправність одного із каналів вимірювання.

Для знаходження несправного каналу вимірювання на вхід чутливого елемента 1 подається еталонне значення тиску, а за величинами тиску P і $P_{сер}$ на індикаторі 10 визначають непрацездатний канал.

Застосування запропонованого волоконно-оптичного датчика тиску дає можливість підвищити надійність пристрою і забезпечити його контроль і діагностику в процесі роботи.

З метою розширення діапазону вимірювання тиску і підвищення технологічності і універсальності датчика порівняно з прототипом [27]

запропоновано волоконно-оптичний датчик [28] для вимірювання тиску на рейках залізничного транспорту.

На рис. 3.6 зображено конструкцію чутливого елемента волоконно-оптичного датчика тиску.

У нижній частині 1 заготовки корпусу знаходиться пропускний канал 2, в якому розміщено оптичне волокно 3. Канал 2 містить щонайменше одну ділянку для розміщення оптичного волокна 3 паралельно основі, яку виконано у вигляді паза 4 з рифленою поверхнею 5 в основі. В канавки рифленої поверхні укладені кульки 6, які виготовлені із гуми або пластмаси. При цьому в кришці 7 під пазом 4 розміщена виїмка 8 для розміщення пластини 9 із термостійкої гуми, розміри якої відповідають розмірам виїмки 8. У процесі виготовлення чутливого елемента оптичне волокно 3 пропускають по пропускному каналу 2 і притискають його до кульок 6 пластиною 9. Вхідну і вихідну ділянки оптичного волокна розміщують у металевий рукав (на рис. 3.6 не показано). Після цього нижню частину 1 корпусу герметично закривають кришкою 7.

Для розширення діапазону вимірюваних значень тиску діаметр кульок 6 визначають з урахуванням контрольованих навантажень. Таким чином, змінюючи діаметр кульок 6, що розміщені в канавках рифленої поверхні 5, установлюють потрібний діапазон вимірювання тиску.

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином.

Вхідна ділянка оптичного волокна 3 під'єднується до джерела випромінювання, а вихідна – до вимірювальної системи (на рис. 3.6 не показано). При дії навантаження пластина 9 із термостійкої гуми чинить тиск на оптичне волокно 3 і притискає його до кульок 6, розміщених у канавках рифленої поверхні 5 паза 4. При цьому оптичне волокно 3 згинається і, відповідно, приводить до зміни сигналу, що проходить по волокну. Величина продавлення оптичного волокна 3 пропорційна тиску, що вимірюється.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу підвищити технологічність і універсальність за рахунок застосування кульок, розміщених у канавках рифленої поверхні, а також розширити діапазон вимірювання навантажень за рахунок вибору діаметра цих кульок.

З метою спрощення конструкції і підвищення технологічності пристрою порівняно з прототипом [28] запропоновано волоконно-оптичний датчик [29] для вимірювання тиску на рейках залізничного транспорту.

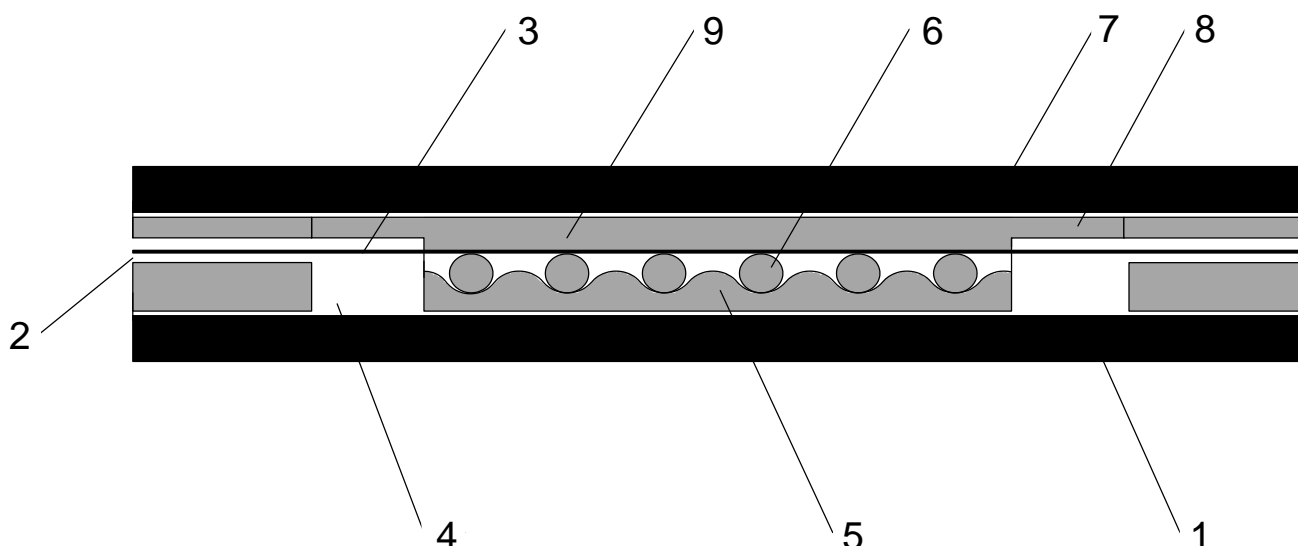


Рис. 3.6. Конструкція чутливого елемента волоконно-оптичного датчика тиску

На рис. 3.7 зображено спрощену конструкцію чутливого елемента волоконно-оптичного датчика тиску.

У нижній частині 1 заготовки корпусу знаходиться пропускний канал 2, в якому розміщено оптичне волокно 3. Канал 2 містить щонайменше одну ділянку для розміщення оптичного волокна 3 паралельно основі, яку виконано у вигляді паза 4 з плоскою поверхнею 5 у основі. На плоскій поверхні 5 укладені в ряд гумові кульки 6 відповідного діаметра. При цьому в кришці 7 під пазом 4 розміщена виїмка 8 для розміщення пластини 9 із термостійкої гуми, розміри якої відповідають розмірам виїмки 8. У процесі виготовлення чутливого елемента оптичне волокно 3 пропускають по пропускному каналу 2 і притискають його до кульок 6 пластиною 9. Вхідну і вихідну ділянки оптичного волокна розміщують у металевий рукав (на рис. 3.7 не показано). Після цього нижню частину 1 корпусу герметично закривають кришкою 7.

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином. Вхідна ділянка оптичного волокна 3 під'єднується до джерела випромінювання, а вихідна – до вимірювальної системи (на рис. 3.7 не показано). При дії навантаження пластина 9 із термостійкої гуми чинить тиск на оптичне волокно 3 і притискає його до кульок 6, розміщених у ряд на плоскій поверхні 5 паза 4. При цьому оптичне волокно 3 згинається і, відповідно, приводить до зміни сигналу, що проходить по волокну. Величина продавлення оптичного волокна 3 пропорційна тиску, що вимірюється.

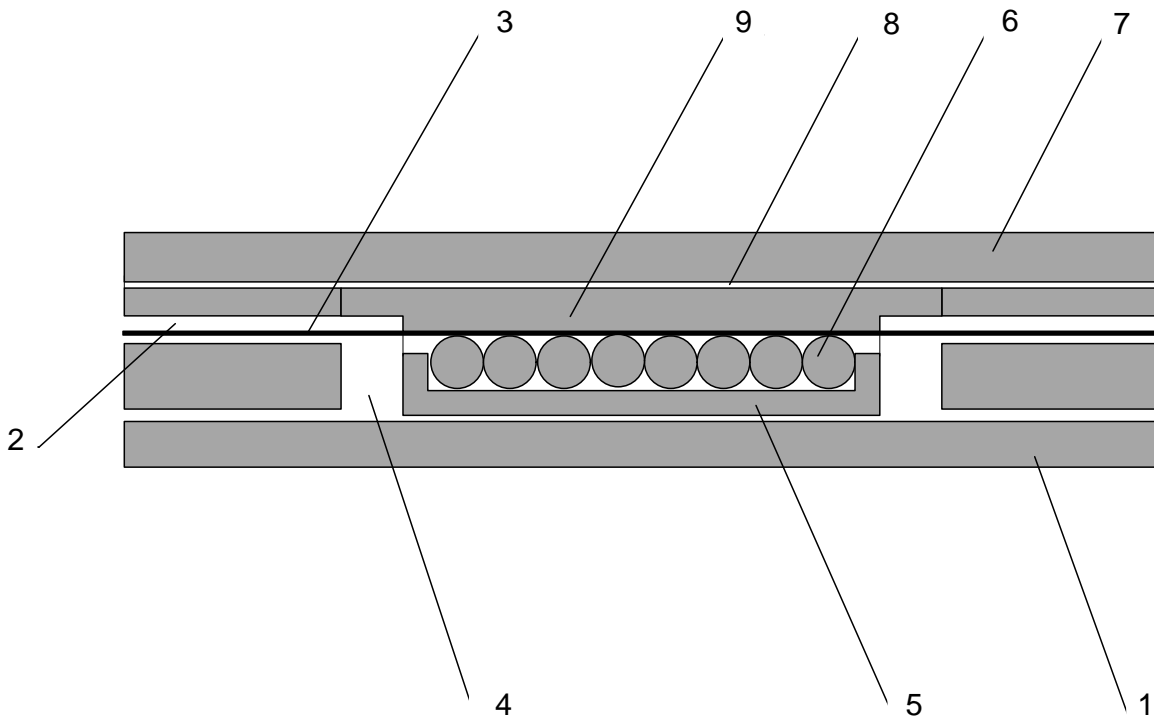


Рис. 3.7. Спрощена конструкція чутливого елемента волоконно-оптичного датчика тиску

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу спростити конструкцію і підвищити її технологічність за рахунок застосування кульок, розміщених у ряд на плоскій поверхні.

З метою значного розширення діапазону вимірювання тиску і підвищення чутливості пристрою порівняно з прототипом [30, 31] запропонований волоконно-оптичний датчик [32].

На рис. 3.8 зображено функціональну схему волоконно-оптичного датчика тиску з динамічно налагоджуваним діапазоном. На рис. 3.9 – схему з'єднання електричних контактів ізольованих прокладок.

Волоконно-оптичний датчик тиску з динамічно налагоджуваним діапазоном містить джерело оптичного випромінювання 1, світловод 2, який передає оптичне випромінювання від джерела 1 до чутливого елемента 3, світловод 4, що передає оптичне випромінювання від чутливого елемента 3 до приймача 5, блок оброблення інформації 6. Чутливий елемент 3 складається з призми повного внутрішнього відбиття 7, ізольованих прокладок 8, виконаних з п'єзоматеріалу, і відбивальної мембрани 9. Ізольовані прокладки 8, що розташовані між призмою повного внутрішнього відбиття 7 і відбивальною мембраною 9, мають електричні контакти 10 для подачі керувальної напруги $U_{кер}$ (рис. 3.9) від блока оброблення інформації 6 через блок комутації 11.

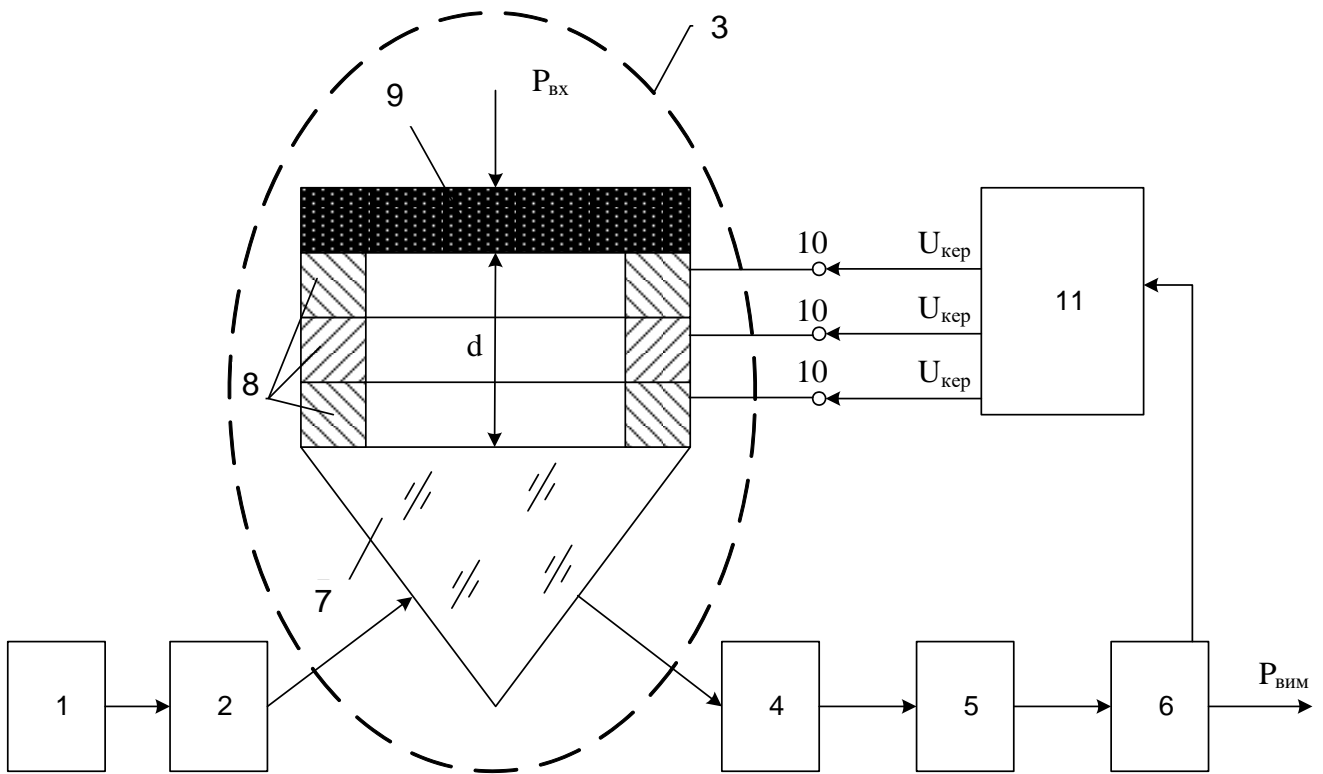


Рис. 3.8. Функціональна схема волоконно-оптичного датчика тиску

Волоконно-оптичний датчик тиску з динамічно налагоджуваним діапазоном працює таким чином.

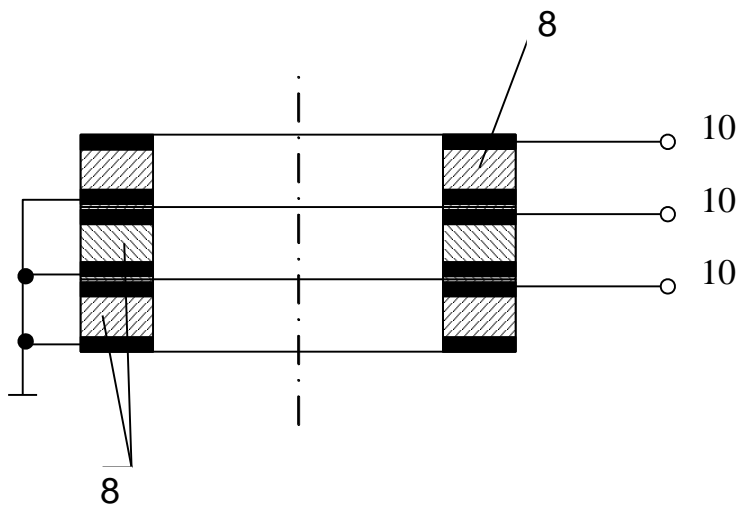


Рис. 3.9. Схема з'єднання електричних контактів ізольованих прокладок

Джерело оптичного випромінювання 1 генерує оптичне випромінювання заданої потужності і подає його в світловод 2, який передає оптичне випромінювання до призми повного внутрішнього відбиття 7. Зазор d між мембраною 9 і основою призми 7 може змінюватися під дією тиску P_{BX} , що приводить до зміни відбитої частини оптичного випромінювання. Зменшення зазору d приводить до все

більшого проникнення оптичного випромінювання в мембрану 9 і поглинання оптичної енергії. Відбите випромінювання через грань призми 7 передається оптичним світловодом 4 до приймача оптичного

випромінювання 5, який перетворює його на електричний сигнал. Блок оброблення інформації 6 перетворює електричний сигнал на значення тиску $P_{вим}$.

При перевищенні максимально допустимого тиску $P_{вх}$ зазор d між відбивальною мембраною 9 і призмою 7 повністю зникає, і чутливий елемент втрачає працездатність, що визначається за величиною вихідного сигналу приймача оптичного випромінювання 5.

Для розширення діапазону вимірювання датчика сигнал керування $U_{кер}$ із блока оброблення інформації 6 подається на контакти 10 нижньої прокладки 8. При цьому нижня прокладка 8 деформується і збільшується зазор між призмою 7 і мембраною 9.

У подальшому при зміні діапазону вимірювання тиску $P_{вх}$ сигнал керування $U_{кер}$ подається на контакти 10 другої ізолюваної від нижньої прокладки 8. При цьому кількість піддіапазонів вимірювання визначається кількістю n ізолюваних прокладок 8.

Таким чином, керування величиною зазору d між призмою і мембраною дає змогу розширити діапазон вимірювання тиску і збільшити чутливість датчика.

З метою підвищення надійності і ремонтпридатності пристрою за рахунок введення вбудованого контролю порівняно з аналогом [32] запропоновано волоконно-оптичний датчик з динамічно налагоджуваним діапазоном [33].

На рис. 3.10 зображено функціональну схему волоконно-оптичного датчика тиску з динамічно налагоджувальним діапазоном, а на рис. 3.11 – схему під'єднання електричних контактів ізолюваних прокладок до блоків комутації і порівняння.

Волоконно-оптичний датчик тиску з динамічно налагоджуваним діапазоном містить джерело оптичного випромінювання 1, світловод 2, який передає оптичне випромінювання від джерела 1 до чутливого елемента 3, світловод 4, що передає оптичне випромінювання від чутливого елемента 3 до приймача 5, блок оброблення інформації 6. Чутливий елемент 3 складається із призми повного внутрішнього відбиття 7, ізолюваних прокладок 8, виконаних із п'єзоматеріалу, і відбивальної мембрани 9. Ізолювані прокладки 8, що розташовані між призмою повного внутрішнього відбиття 7 і відбивальною мембраною 9, мають електричні контакти 10 для подачі керувальної напруги $U_{кер}$ (див. рис. 3.11) від блока оброблення інформації 6 через блок комутації 11, а також електричні контакти 12 для під'єднання до блока порівняння 13.

Волоконно-оптичний датчик тиску з динамічно налагоджуваним діапазоном працює таким чином.

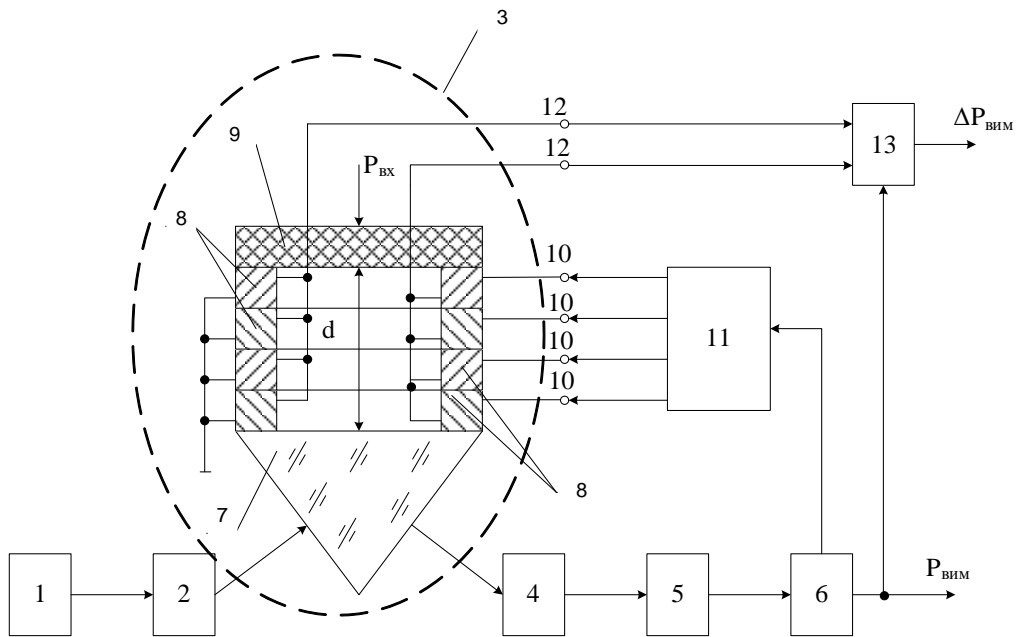


Рис. 3.10. Функціональна схема волоконно-оптичного датчика тиску підвищеної надійності

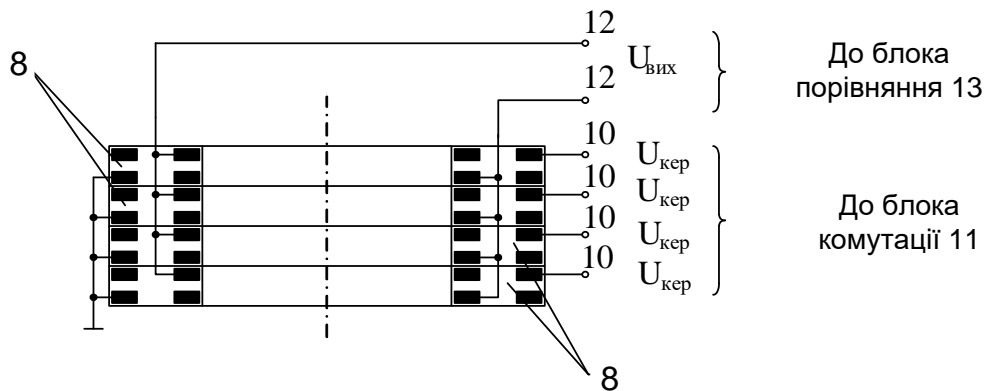


Рис. 3.11. Схема під'єднання електричних контактів ізолюваних прокладок до блоків комутації і порівняння

Джерело оптичного випромінювання 1 генерує оптичне випромінювання заданої потужності і подає його в світловод 2, який передає оптичне випромінювання до призми повного внутрішнього відбиття 7. Зазор d між мембраною 9 і основою призми 7 може змінюватися під дією тиску $P_{вх}$, що приводить до зміни відбитої частини оптичного випромінювання. Зменшення зазору d приводить до все більшого проникнення оптичного випромінювання в мембрану 9 і поглинання оптичної енергії. Відбите випромінювання через грань призми 7 передається оптичним світловодом 4 до приймача оптичного випромінювання 5, який перетворює його на електричний сигнал. Блок оброблення інформації 6 перетворює електричний сигнал на значення тиску $P_{вим}$.

При перевищенні максимально допустимого тиску $P_{вх}$ зазор d між відбивальною мембраною 9 і призмою 7 вибирається повністю, і чутливий елемент втрачає працездатність, що визначається за величиною вихідного сигналу приймача оптичного випромінювання 5.

Для розширення діапазону вимірювання датчика сигнал керування $U_{кер}$ із блока оброблення інформації 6 через блок комутації 11 подається на контакти 10 нижньої прокладки 8. При цьому нижня прокладка 8 деформується і збільшується зазор між призмою 7 і мембраною 9.

У подальшому при зміні діапазону вимірювання тиску $P_{вх}$ сигнал керування $U_{кер}$ подається на контакти 10 другої ізолюваної від нижньої прокладки 8. При цьому кількість піддіапазонів вимірювання визначається кількістю n ізолюваних прокладок 8. Таким чином, керування величиною зазору d між призмою і мембраною дає змогу розширити діапазон вимірювання тиску і збільшити чутливість датчика.

Для оцінювання працездатності датчика тиску на блок порівняння 13 надходять сигнали із блока оброблення інформації 6 та із електричних контактів 12 прокладок 8. Рівність цих сигналів ($\Delta P_{вим} = 0$) вказує на працездатність каналів вимірювання тиску запропонованим датчиком. Випадок, коли $\Delta P_{вим} \neq 0$, вказує на непрацездатність одного із каналів вимірювання.

Таким чином, волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу підвищити його надійність і ремонтпридатність за рахунок введення вбудованого контролю.

З метою підвищення чутливості та точності вимірювання тиску порівняно з аналогами [34, 35] запропоновано датчик тиску [36].

На рис. 3.12 зображено конструкцію датчика тиску, а на рис. 3.13 – розкладку вихідних торців світловодів волоконно-оптичного кабелю у відповідні отвори перед фотоприймачами для отримання двійкового коду (вхідні торці світловодів позначені цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Датчик тиску містить циліндричний корпус 1 з каналами для підведення робочого середовища та кришкою 2, всередині якого розташовано чутливий елемент у вигляді кільцевого постійного магніту 4 і циліндричного постійного магніту 3, які однойменними полюсами направлені один до одного. Циліндричний постійний магніт 3 зв'язаний зі штоком 5, верхня частина 6 якого розміщена у верхній частині циліндричного корпусу 1. Циліндричний постійний магніт 3 утворює в розточці циліндричного корпусу 1 підпоршневу порожнину 7 та надпоршневу порожнину 8, в якій виконаний вхідний канал 9, а також містить світловоди 10 волоконно-оптичного кабелю 11, що розміщені у втулці 12. При цьому втулка 12 розташована в кільцевій порожнині, утвореній між розділовою стінкою 13 та внутрішньою стінкою

циліндричного корпусу 1. Вздовж прозорого вікна 14 втулки 12, встановленої навпроти прозорого вікна 15 розділової стінки 13, по лінії розміщені торці світловодів 10 волоконно-оптичного кабелю 11, під'єданого до волоконно-оптичного перетворювача 16. На верхній частині 6 штока 5 встановлено джерело світлового випромінювання 17. Вихідні торці світловодів 10 волоконно-оптичного кабелю 11 розкладені у відповідні отвори 18 перед фотоприймачами 19 для отримання двійкового коду у волоконно-оптичному перетворювачі 16 (див. рис. 3.13).

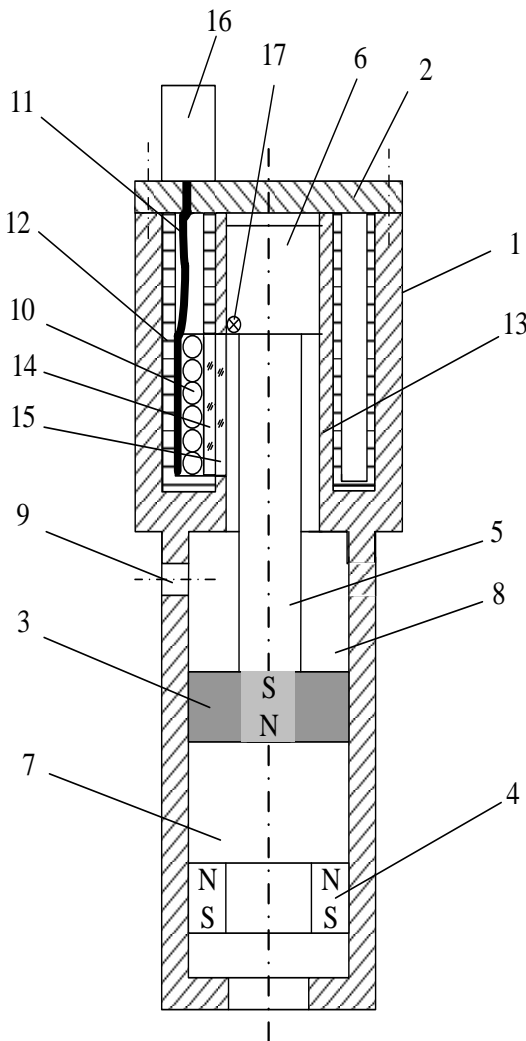


Рис. 3.12. Конструкція датчика тиску

Датчик працює таким чином. По вхідному каналу 9 підводиться більш високий тиск, ніж у підпоршневу порожнину 7. При підвищенні тиску в надпоршневій порожнині 8 виникає сила, що протидіє зусиллю між постійним магнітом 3 та кільцевим постійним магнітом 4. Циліндричний постійний магніт 3 переміщується вниз, що приводить до зміщення верхньої частини 6 штока 5 відносно вхідних торців світловодів 10 волоконно-оптичного кабелю 11. При цьому джерело світлового випромінювання 17 через прозорі вікна 14, 15 засвічує відповідний торець світловоду, що приводить до спрацювання фотоприймачів 19 волоконно-оптичного перетворювача 16. З підвищенням перепаду тиску між порожнинами 7 та 8 циліндричний постійний магніт 3 продовжує переміщуватися вниз, при цьому джерело світлового випромінювання 17 через прозорі вікна 14, 15 засвічує наступний торець світловодів 10, що приводить до спрацювання інших фотоприймачів 19 волоконно-оптичного перетворювача 16 залежно від коду, в якому реалізована

розкладка по отворах 18 вихідних торців світловодів 10 волоконно-оптичного кабелю 11 перед фотоприймачами 19 відповідних розрядів. Таким чином, на виходах фотоприймачів 19 волоконно-оптичного перетворювача 16 буде код, що відповідає поточному значенню вимірюваного тиску.

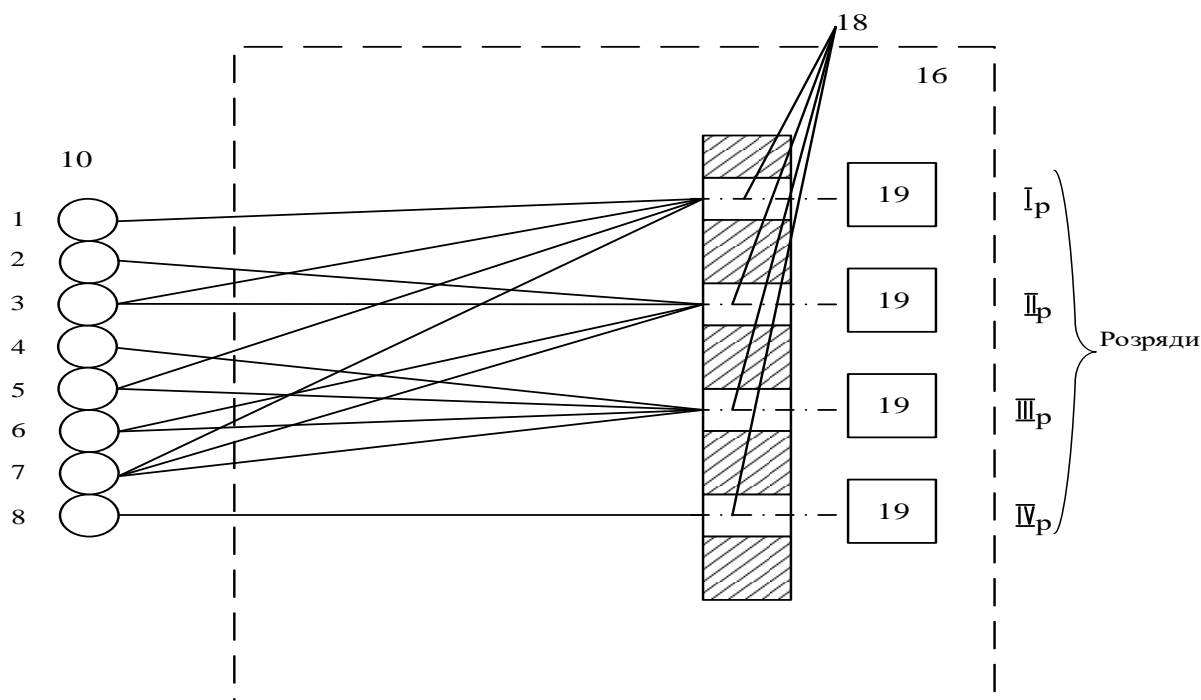


Рис. 3.13. Розкладка вихідних торців світловодів волоконно-оптичного кабелю у відповідні отвори перед фотоприймачами для отримання двійкового коду

Запропонований датчик дає змогу підвищити чутливість і точність вимірювання тиску або перепаду тисків.

З метою ліквідації помилки неоднозначності кодування переміщення чутливого елемента, що є причиною одночасного часткового засвічення цим світловим променем двох сусідніх вхідних торців волоконно-оптичного кабелю, запропоновано датчик тиску [37].

На рис. 3.14 зображено конструкцію датчика тиску, а на рис. 3.15 – розкладку вихідних торців світловодів волоконно-оптичних кабелів у відповідні отвори перед фотоприймачами для отримання двійкового коду на вході волоконно-оптичного перетворювача (вхідні торці світловодів позначені цифрами 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8).

Датчик тиску містить циліндричний корпус 1 з каналами для підведення робочого середовища та кришкою 2, всередині якого розташовано чутливий елемент у вигляді циліндричного постійного магніту 3 і кільцевого постійного магніту 4, які однойменними полюсами направлені один на одного.

Циліндричний постійний магніт 3 зв'язаний зі штоком 5, верхня частина 6 якого розміщена у верхній частині циліндричного корпусу 1.

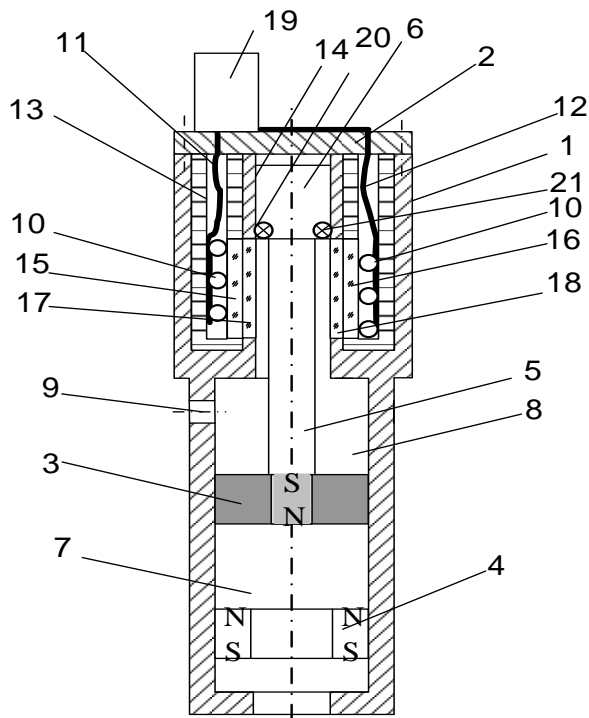


Рис. 3.14. Удосконалена конструкція датчика тиску

Циліндричний постійний магніт 3 утворює в розточці циліндричного корпусу 1 підпоршневу порожнину 7 та надпоршневу порожнину 8, в якій виконаний вхідний канал 9, а також містить світловоди 10 волоконно-оптичних кабелів 11,12, що розміщені у втулці 13. Причому втулка 13 розташована в кільцевій порожнині, утвореній розділовою стінкою 14 та внутрішньою стінкою циліндричного корпусу 1. На протилежних сторонах втулки 13 і розділової стінки 14 навпроти розміщені прозорі вікна 15,16 втулки 13 і прозорі вікна 17,18 розділової стінки.

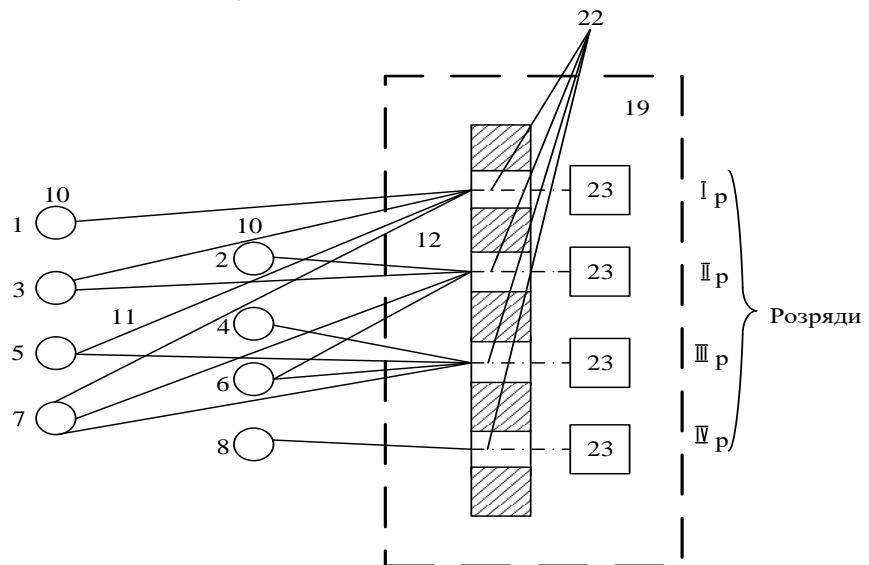


Рис. 3.15. Розкладка вихідних торців світловодів волоконно-оптичних кабелів

Уздовж прозорих вікон 15,16 втулки 13 через один розміщені по лініях вхідні торці світловодів 10 волоконно-оптичних кабелів 11,12, під'єднаних до волоконно-оптичного перетворювача 19. На верхній частині 6 штоків 5 встановлені на протилежних сторонах джерела світлового випромінювання 20, 21.

Вихідні торці світловодів 10 волоконно-оптичних кабелів 11, 12

розкладені у відповідні отвори 22 перед фотоприймачами 23 для отримання двійкового коду у волоконно-оптичному перетворювачі 19 (див. рис. 3.15).

Датчик працює таким чином. По вхідному каналу 9 підводиться більш високий тиск, ніж у підпоршневу порожнину 7. При підвищенні тиску в підпоршневій порожнині 8 виникає сила, що протидіє зусиллю між циліндричним постійним магнітом 3 та кільцевим постійним магнітом 4. Циліндричний постійний магніт 3 переміщується вниз, що приводить до зміщення верхньої частини 6 штока 5 відносно вхідних торців світловодів 10 волоконно-оптичних кабелів 11, 12. При цьому джерела світлового випромінювання 20, 21 через прозорі вікна 15, 17 та 16, 18 засвічують відповідний торець світловоду (оскільки вони розміщені через один), що приводить до спрацювання відповідних фотоприймачів 23 волоконно-оптичного перетворювача 19.

З підвищенням перепаду тиску між порожнинами 7 та 8 циліндричний постійний магніт 3 продовжує переміщуватися вниз, при цьому одно із джерел світлового випромінювання 20, 21 через прозорі вікна 15, 17 або 16, 18 засвічує наступний торець світловодів 10, що приводить до спрацювання інших фотоприймачів 23 волоконно-оптичного перетворювача 19 залежно від коду, в якому реалізована розкладка по отворах 22 вихідних торців світловодів 10 волоконно-оптичних кабелів 11, 12 перед фотоприймачами 23 відповідних розрядів. Таким чином, на виходах фотоприймачів 23 волоконно-оптичного перетворювача 19 буде код, що відповідає поточному значенню вимірюваного тиску.

Запропонований датчик тиску дає змогу ліквідувати помилку неоднозначності кодування переміщення чутливого елемента, яка є причиною одночасного часткового засвічення вхідним світловим променем двох сусідніх вхідних торців волоконно-оптичного кабелю.

З метою спрощення конструкції аналогів [38, 39] запропоновано волоконно-оптичний датчик [40]. Конструкцію волоконно-оптичного датчика тиску зображено на рис. 3.16.

Волоконно-оптичний датчик тиску містить корпус 1 із закріпленою в ньому пружною мембраною 2. На внутрішній поверхні корпусу 1 нанесений фоточутливий шар 3, підключений до реєструвального приладу 4. Рухомий світловод 5 закріплений в оптичному каналі через хомут фіксації 6 і перемичку хомута 7 та з'єднаний через штангу 8 з мембраною 2. Світловод 5 встановлений з можливістю поперечного переміщення в напрямному пазу 9 відносно своєї осі. Напрямний паз 9 виконаний у корпусі 1 датчика. Отвір 10 у корпусі 1 необхідний для подачі тиску, а отвір 11 – для сполучення з атмосферою. По торцю входу світловоду 5 розміщений сальник 12, який є ізолятором атмосферного тиску із вимірюваним, а також зменшує внутрішні втрати у світловоді в процесі його згинання.

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином.

Тиск, що вимірюється, через отвір 10 у корпусі 1 подається на пружну мембрану 2. Мембрана 2 зв'язана з штангою 8, яка переміщує хомут фіксації 6 оптичного світловоду 5 і викликає поперечне переміщення рухливого світловоду 5 у напрямному пазу 9. При цьому змінюється інтенсивність світла, що виходить із світловода 5 і потрапляє на фоточутливий шар 3. Напряга U із цього шару надходить на реєструвальний прилад 4 і перетворюється у значення тиску P . Інтенсивність світла максимальна у випадку, коли світловод 5 займає горизонтальне положення, і зменшується при його поперечному зміщенні.

Таким чином, інтенсивність світла на виході світловоду 5, а значить, і напруга на виході фоточутливого шару 3 залежать від переміщення пружної мембрани 2.

Запропонований волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу спростити конструкцію та процес налагодження фіксованого світловоду та зменшити його масогабаритні характеристики.

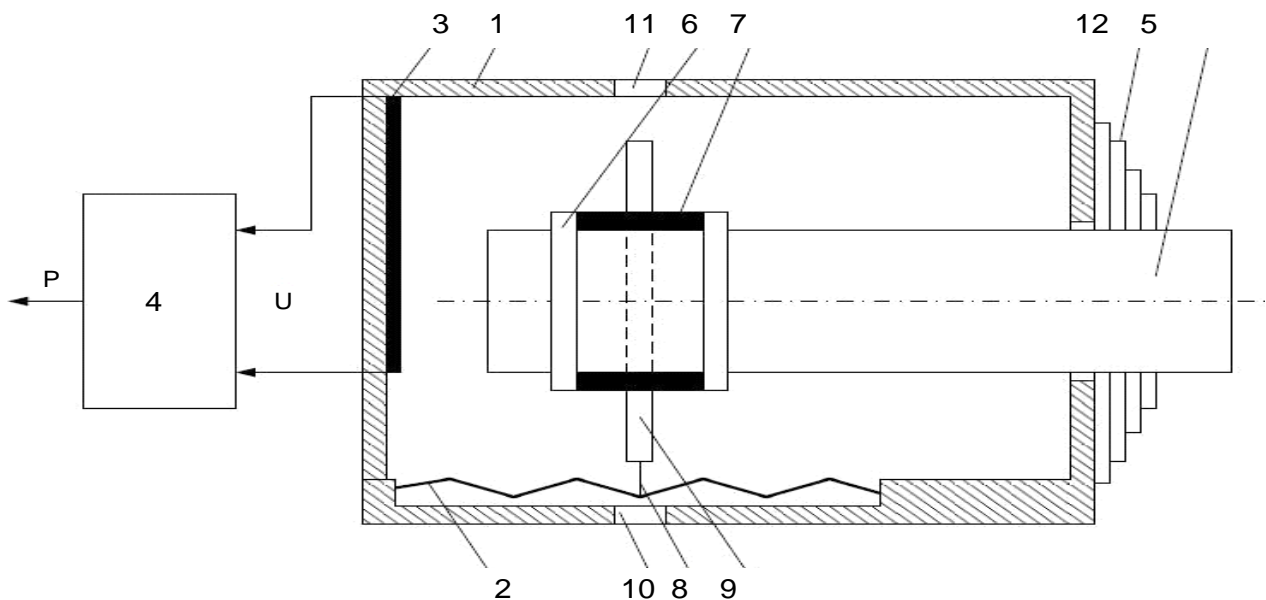


Рис. 3.16. Конструкція волоконно-оптичного датчика

З метою подальшого спрощення конструкції датчика та його налагодження запропоновано волоконно-оптичний датчик [41].

На рис. 3.17 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика тиску.

Волоконно-оптичний датчик тиску містить корпус 1 із закріпленою в ньому пружною мембраною 2, фіксований світловод 3, рухомий світловод 4, закріплений в оптичному каналі через хомут фіксації 5 і перемичку хомута 6 та з'єднаний через штангу 7 з мембраною 2. Рухомий світловод 4 встановлений з можливістю поперечного переміщення в напрямному пазу

8 відносно своєї осі. Напрямний паз 8 виконаний у корпусі 1 датчика, отвір 9 необхідний у корпусі 1 для подачі тиску, а отвір 10 – для сполучення з атмосферою. По торцях виходу та входу світловодів 3, 4 розміщено сальник 11, який є ізолятором атмосферного тиску із вимірюваним, а також зменшує внутрішні втрати у світловодах у процесі їх згинання.

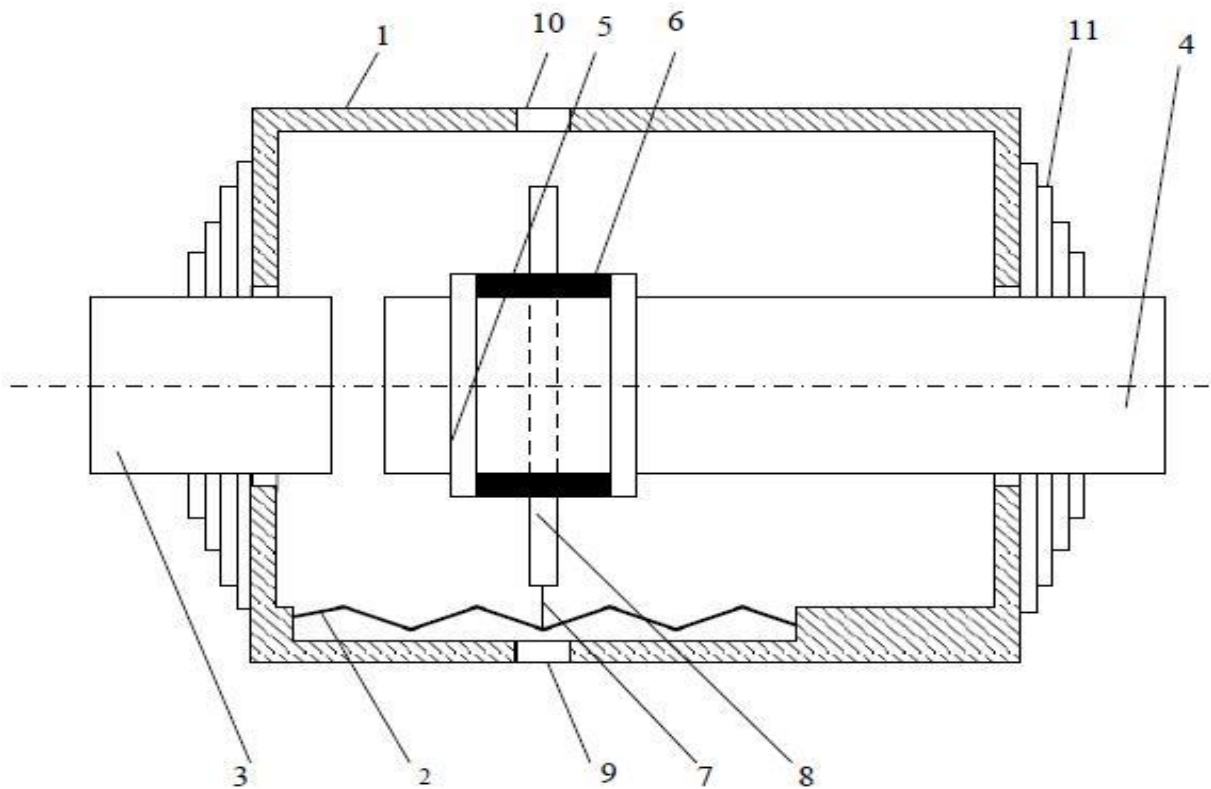


Рис. 3.17. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика тиску

Волоконно-оптичний датчик працює таким чином.

Тиск, що вимірюється, через отвір 9 у корпусі 1 подається на пружну мембрану 2. Мембрана 2 зв'язана зі штангою 7, яка переміщує хомут фіксації 5 рухомого світловоду 4 і викликає поперечне переміщення рухомого світловоду 4 у напрямному пазу 8. При цьому змінюється інтенсивність світла, що виходить із світловоду 4 і потрапляє на фіксований світловод 3.

Інтенсивність світла максимальна у випадку, коли осі світловодів співпадають, та зменшується при поперечному зміщенні рухомого світловоду 4, відносно фіксованого світловоду 3. Таким чином, інтенсивність світла на виході фіксованого світловоду 3 залежить від переміщення пружної мембрани 2.

Запропонований волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу спростити конструкцію та процес його налагодження, зменшити

масогабаритні характеристики та забезпечити застосування датчика у вибухонебезпечних середовищах у зв'язку із відсутністю електричного струму в корпусі датчика.

З метою забезпечення ремонтпридатності датчика та розширення його функціональних можливостей порівняно з аналогами [42, 43] запропоновано датчик тиску [44].

На рис. 3.18 зображено конструкцію датчика тиску, а на рис. 3.19 – конструкцію волоконно-оптичного перетворювача.

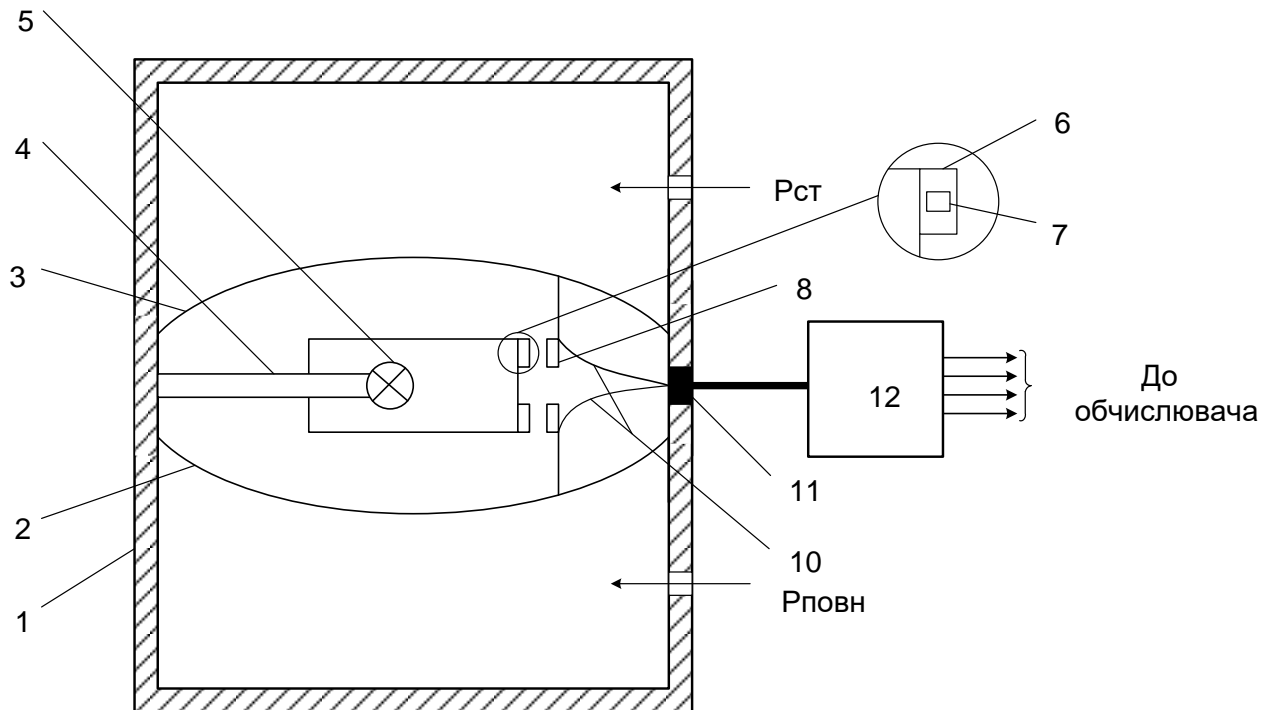


Рис. 3.18. Конструкція удосконаленого датчика тиску

Датчик тиску містить корпус 1, який має два сполучені з вимірюваним середовищем отвори, відповідно для вимірювання статичного (P_{cm}) і повного ($P_{повн}$) тисків, і всередині якого розміщений анероїдний чутливий елемент, створений двома мембранами 2, 3, які герметично попериметру прикріплені до корпусу 1, створюючи безповітряний зазор між ними.

Отвори корпусу 1 розміщені вище і нижче зазору. Всередині зазору розміщений і прикріплений до корпусу 1 стояк 4, на якому закріплені джерело живлення 5 і дві штормки 6 з прорізами 7. Дві лінійки 8, на яких закріплені торці 9 волоконно-оптичного кабелю 10 (див. рис. 3.19), прикріплені відповідно до верхньої 3 і нижньої 2 мембран і обернені до відповідних прорізів 7 штормки 6. Волоконно-оптичний кабель 10 виведено через гермопрохідник 11 до волоконно-оптичного перетворювача 12, що розміщений назовні корпусу.

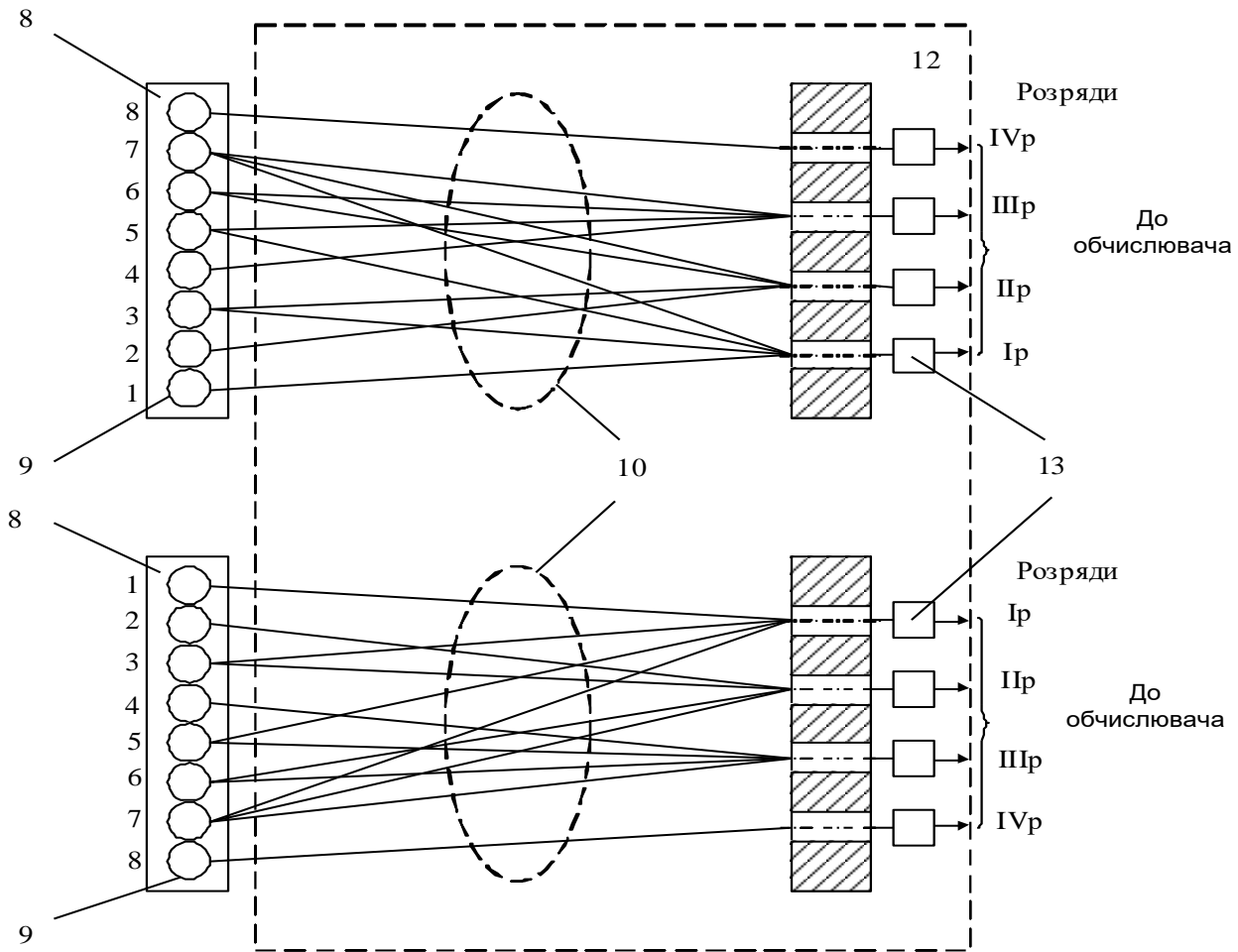


Рис. 3.19. Конструкція волоконно-оптичного перетворювача

Датчик тиску працює таким чином. У початковому стані мембрани 2, 3 пружного чутливого елемента займають таке положення, що оптичні сигнали не потрапляють на торці 9 волоконно-оптичного кабелю 10 і на виході волоконно-оптичного перетворювача 12 сигнал у вигляді двійкового коду відсутній.

При зміні статичного $P_{ст}$ і повного $P_{повн}$ тисків мембрани 2 і 3 пружного чутливого елемента деформуються. В цьому випадку зміщуються лінійки 8 з закріпленими на них торцями 9 волоконно-оптичного кабелю 10, прикріплені відповідно до верхньої 3 і нижньої 2 мембран. Оптичні сигнали від джерела живлення 5 через прорізи 7 шторок 6 потрапляють на відповідні торці 9 волоконно-оптичного кабелю 10. Оптичні сигнали по волоконно-оптичних жилах кабелю 10 надходять на відповідні фотоелементи 13 волоконно-оптичного перетворювача 12. На виході перетворювачів 13 формуються електричні сигнали у вигляді двійкових кодів, які відповідають значенням статичного $P_{ст}$ та повного $P_{повн}$ тисків.

Ці сигнали надходять до обчислювача аерометричних параметрів:

відносної барометричної висоти, приладової швидкості, істинної повітряної швидкості, вертикальної швидкості, відхилення від заданої висоти, числа Маха.

Таким чином, запропонований датчик тиску дає змогу забезпечити ремонтпридатність конструкції за рахунок розміщення електронних пристроїв назовні корпусу та розширити його функціональні можливості за рахунок формування на вході датчика електричних сигналів у вигляді двійкового коду, що необхідно для роботи обчислювача аерометричних параметрів.

З метою спрощення конструкції датчика і підвищення його технологічності порівняно з аналогами [15, 45] запропоновано волоконно-оптичний датчик тиску [46].

На рис. 3.20 зображено волоконно-оптичний датчик тиску.

Датчик містить корпус 1, оптичне волокно 2, відносно якого із зазором установлена кварцова мембрана 3, що жорстко закріплена в штуцері 4. В металевій кришці 5 установлена металева вкладка 6, в якій у ряд розміщені гумові (або пластмасові) кульки 7. По поверхні гумових кульок 7 установлено оптичне волокно 2. В зазор між оптичним волокном 2 та кварцовою мембраною 3 установлена кругова гумова прокладка 8. На вході оптичного волокна 2 установлено джерело випромінювання 9, а на виході – приймач випромінювання 10.

Датчик працює таким чином.

Від джерела випромінювання 9 світловий потік Φ_0 по оптичному волокну 2 спрямовується до приймача випромінювання 10. Під дією тиску P , що контролюється, кварцова мембрана 3 прогинається і через гумову прокладку 8 чинить тиск на оптичне волокно 2, притискаючи його до кульок 7, розміщених у вкладці 6. При цьому оптичне волокно 2 згинається і,

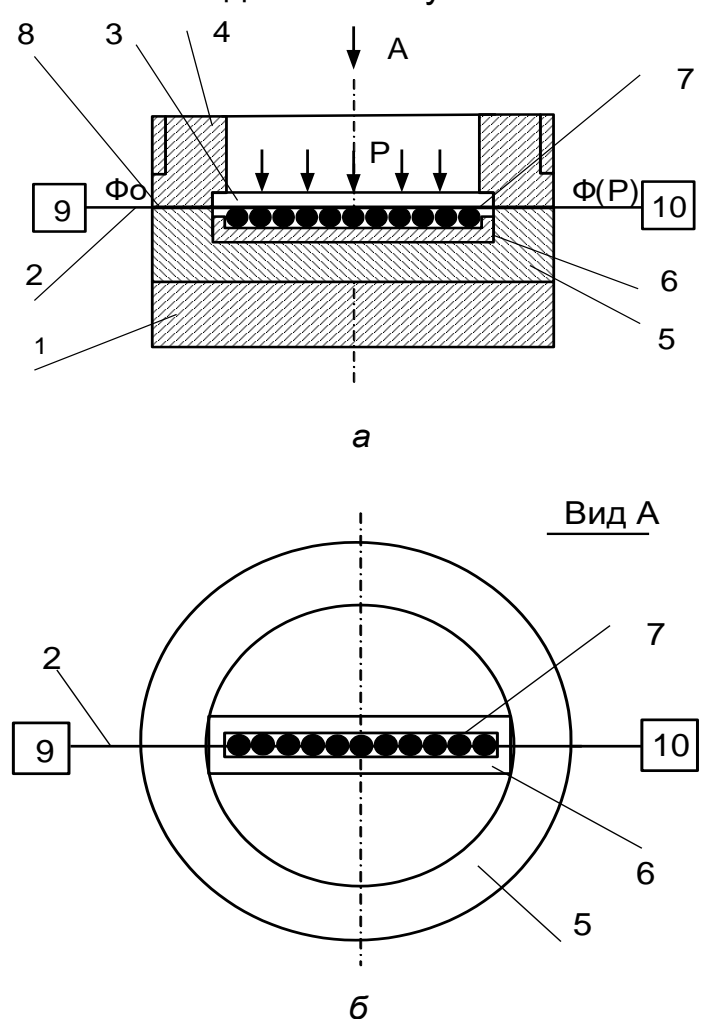


Рис. 3.20. Волоконно-оптичний датчик тиску: а – спрощена конструкція; б – вигляд А конструкції зверху, без штуцера, мембрани і прокладки

відповідно, приводить до зміни світлового потоку $\Phi(P)$, що проходить по волокну. Величина продавлення оптичного волокна 2 пропорційна тиску P , що вимірюється.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу спростити конструкцію і підвищити її технологічність за рахунок застосування кульок, розміщених у вкладці металевої кришки і по поверхні яких встановлено оптичне волокно.

З метою розширення функціональних можливостей за рахунок створення на виході цифрового сигналу в двійковому коді порівняно з аналогами [47, 48] запропоновано волоконно-оптичний датчик тиску [49].

На рис. 3.21 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика тиску, а на рис. 3.22 – розкладку вихідних торців приймальних світлових волокон у отвори волоконно-оптичного перетворювача для отримання інформації у двійковому коді.

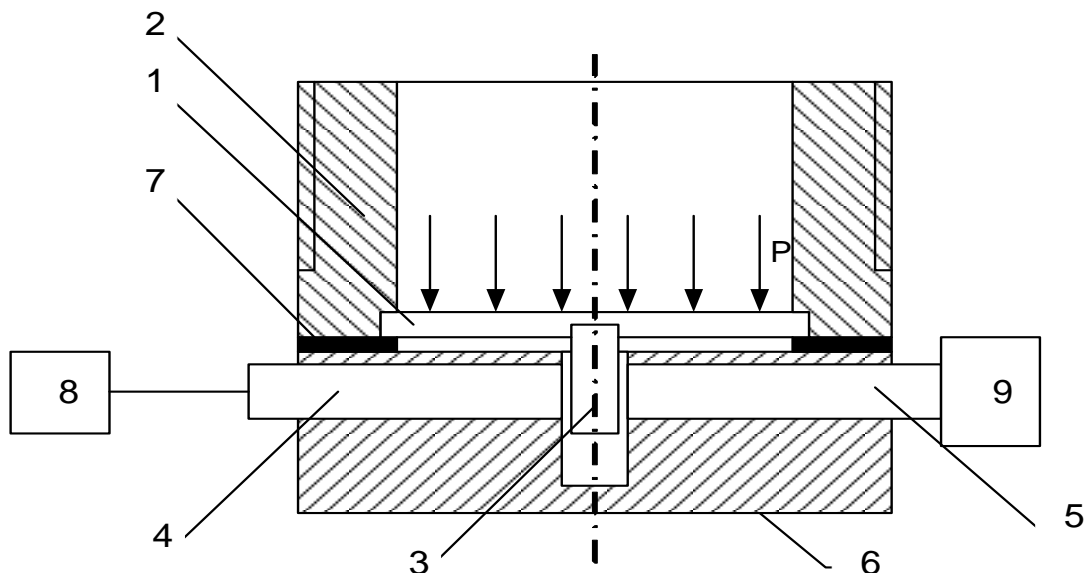


Рис. 3.21. Конструкція волоконно-оптичного датчика тиску

Мембрана 1 жорстко з'єднана із штуцером 2. В центрі мембрани 1 жорстко закріплена непрозора шторка 3 з отвором, відносно якої по різні сторони розташовані світлові волокна передавального 4 та приймального 5 джгутів, що жорстко закріплені в корпусі 6. Юстирування світлових волокон джгутів 4, 5 відносно отвору в шторці 3 виконується за допомогою металевої прокладки 7, товщина якої підбирається в процесі налагодження датчика. Перед вхідними торцями передавальних світлових волокон 4 встановлено джерело оптичних сигналів 8 (рис. 3.21), наприклад, світлодіод перед кожним світловим волокном. Вихідні торці приймальних світлових волокон 5 розкладаються в отвори волоконно-оптичного перетворювача 9 для отримання інформації у двійковому коді (рис. 3.22).

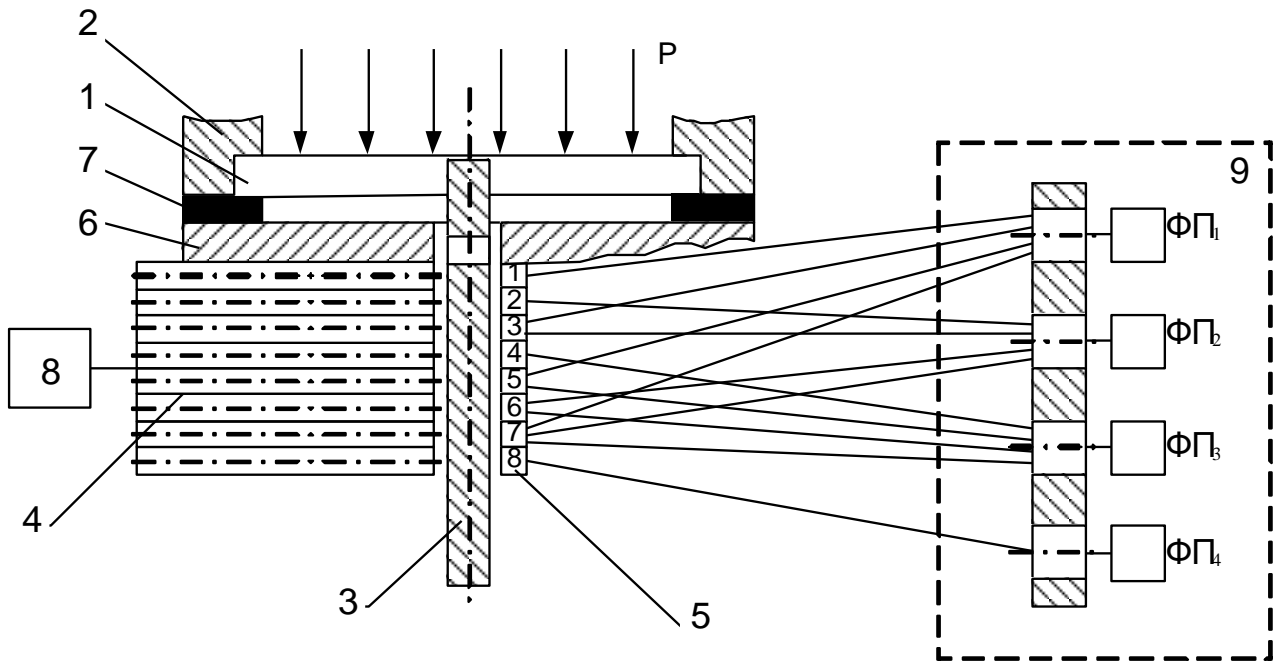


Рис. 3.22. Розкладка вихідних торців приймальних світлових волокон у отвори волоконно-оптичного перетворювача

Волоконно-оптичний датчик тиску працює таким чином.

Під дією тиску P , що вимірюється, мембрана 1 прогинається та зміщується шторка 3. При цьому отвір шторки 3 співпадає з відповідним вихідним торцем передавальних світлових волокон 4 та вхідним торцем приймальних волокон 5. Світловий потік від джерела 8 оптичних сигналів із виходу відповідного передавального волокна 4 проходить крізь отвір у шторці 3 і надходить на відповідний вхідний торець приймальних світлових волокон джгута 5. Після проходження оптичного сигналу по світлових волокнах джгута 5 спрацьовують відповідні фотоприймачі $\Phi\Pi_i$ волоконно-оптичного перетворювача 9, які перетворюють оптичні сигнали на електричні, що відповідають рівню логічної одиниці. Якщо на входи фотоприймачів оптичний сигнал не надходить, то на їх виходах буде відсутній електричний сигнал, що відповідає рівню логічного нуля.

На виходах фотоприймачів $\Phi\Pi_i$ волоконно-оптичного перетворювача 9 буде отримана інформація про величину тиску P у двійковому коді.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик тиску дає змогу розширити функціональні можливості найближчого аналога за рахунок створення на його виході інформації про величину тиску у двійковому коді.

Більш детальний аналіз волоконно-оптичних датчиків тиску розглянуто в роботах [50–60].

3.2. Датчики кутових та лінійних переміщень

3.2.1. Датчики кутових переміщень

З метою розширення функціональних можливостей запропоновано фотоелектричний датчик переміщення рульової поверхні літака [61].

На рис. 3.23 зображено принципову схему фотоелектричного датчика кутового переміщення рульової поверхні літака.

Датчик містить випромінювач 1 (рекомендується застосування лазерного випромінювача), який закріплено за допомогою затискача 2 на рульовій поверхні 3 літака, світловоди 4, вхідні торці 5 яких укладені по дузі кола, що окреслюється рульовою поверхнею 3, яка виконує кутовий рух. Вихідні торці 6 об'єднані в парні та непарні й оптично зв'язані з фотоприймачами 7 і 8, при цьому виходи парних світловодів оптично зв'язані з одним із фотоприймачів, а виходи непарних – з іншим.

Пристрій працює таким чином. Світловий потік від випромінювача 1, що закріплений за допомогою затискача 2 на рульовій поверхні 3, спрямовується на вхідні торці 5 світловодів 4, розташованих по дузі кола, що окреслюється кутовим рухом рульової поверхні 3. Внаслідок цього на вхідних торцях 5 світловодів 4 формується світловий потік, який подається на вихідні торці 6 світловодів 4, тобто на входи фотоприймачів 7 і 8, які забезпечують перетворення сигналу на електричний та формування з нього коротких імпульсних сигналів для подальшого оброблення в цифрових пристроях.

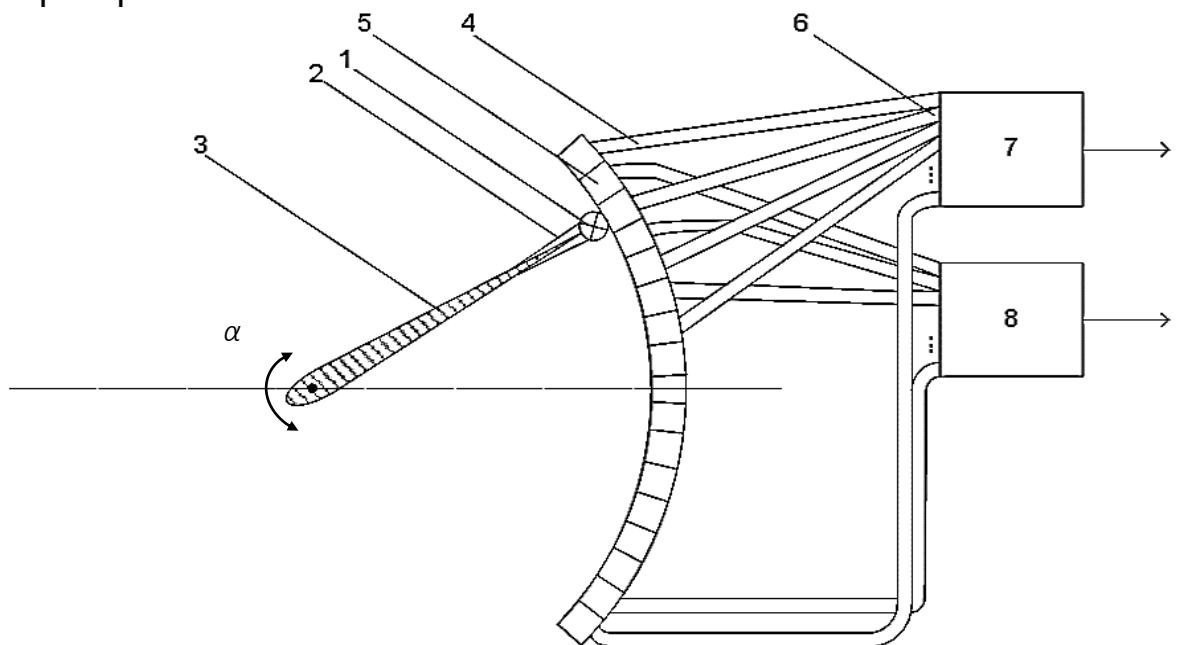


Рис. 3.23. Схема фотоелектричного датчика кутових переміщень рульової поверхні літака

Вихідні торці 6 світловодів 4 розділені на парні та непарні, об'єднані й оптично зв'язані з фотоприймачами 7 і 8. Внаслідок цього при кутовому русі рульової поверхні сигнал послідовно з'являється то в одному, то в іншому фотоприймачі.

Позитивний ефект від застосування наведеного датчика полягає в тому, що за допомогою введення затискача для кріплення випромінювача на рульовій поверхні й укладання торців світловодів по дузі кола, яка окреслюється поверхнею, що виконує кутовий рух, вдається прикріпити випромінювач до краю поверхні, яка рухається, та передати оптичний сигнал по світловодах на фотоприймачі. Завдяки цьому датчик можна застосовувати для вимірювання кута повороту плоских поверхонь, зокрема рульових поверхонь літака.

З метою розширення діапазону вимірювання, зменшення неоднозначності зчитування інформації та маси конструкції, підвищення швидкодії схеми оброблення сигналів запропоновано фотоелектричний перетворювач кутових переміщень [62].

На рис. 3.24 зображено функціональну схему перетворювача.

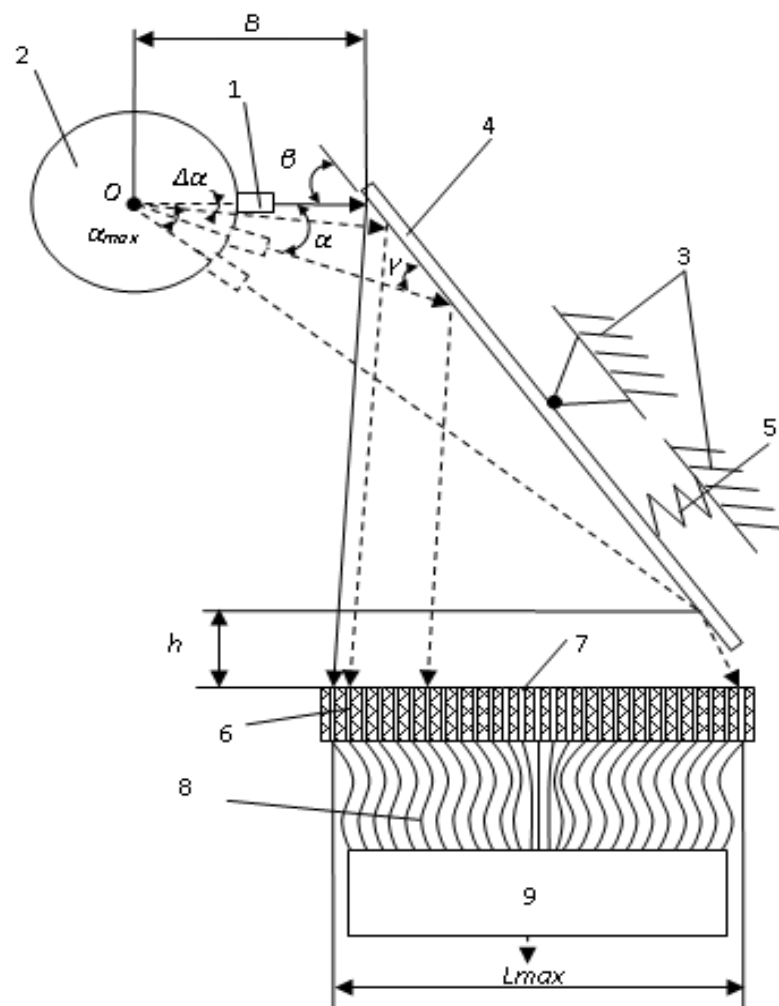


Рис. 3.24. Функціональна схема фотоелектричного перетворювача кутових переміщень

Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень складається з джерела світла 1, що закріплене на об'єкті дослідження 2, розміщених в одному корпусі 3 дзеркала 4, що за допомогою пружини 5 встановлене під кутом β до горизонтальної осі, яка проходить крізь центр обертання об'єкта дослідження 2, світловодів 6, вхідні торці 7 яких укладені по горизонтальній лінії таким чином, щоб положення кожного торця відповідало конкретному куту повороту об'єкта. Вихідні торці 8 зібрані в джгути та оптично пов'язані з фотоприймальним блоком 9.

Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень працює таким чином.

При повороті об'єкта дослідження 2 на кут α світловий промінь від джерела 1 потрапляє під деяким кутом γ на дзеркало 4, де однократно відбивається від його поверхні. Змінивши напрямок ходу, промінь потрапляє на вхідний торець 7 одного із світловодів 6, розміщених по горизонтальній лінії таким чином, щоб положення кожного вхідного торця 7 відповідало конкретному куту повороту об'єкта дослідження 2.

Отже, світловий промінь через вихідні торці 8 світловодів 6 надходить на фотоприймальний блок для подальшого оброблення сигналу з метою отримання цифрового коду.

Залежність відстані, що проходить промінь по горизонтальній лінії укладання вхідних торців 7 світловодів 6, від кутового переміщення α об'єкта дослідження 2 має такий вигляд:

$$L = \frac{H}{\operatorname{tg}(2\beta - \alpha)} + \frac{B \sin \alpha}{\sin(\beta - \alpha)} \left\{ \cos \beta - \frac{\sin \beta}{\operatorname{tg}(2\beta - \alpha)} \right\},$$

де H – відстань від горизонтальної осі, яка проходить крізь центр обертання об'єкта дослідження, до вхідних торців світловодів;

B – відстань від осі обертання об'єкта до точки дотику світлового променя до дзеркала, коли об'єкт дослідження знаходиться в початковому положенні;

β – кут нахилу дзеркала по відношенню до горизонтальної осі, яка проходить крізь центр обертання об'єкта дослідження ($\beta > \alpha_{\max}$);

α – кутове переміщення об'єкта дослідження.

Таким чином, фотоелектричний датчик кутових переміщень дає можливість розширити діапазон вимірювання кутових переміщень, забезпечити захищеність від одночасного засвічування сусідніх вхідних торців світловодів, що з'єднуються з фотоприймачами, а також зменшити масу та підвищити швидкодію схеми оброблення сигналів.

З метою підвищення точності вимірювання та зменшення габаритних

параметрів запропоновано фотоелектричний перетворювач кутових переміщень [63].

На рис. 3.25 зображено схему перетворювача з блоком підтримки рівня.

Перетворювач складається із джерела світла 1, який встановлений на блоці підтримки рівня 2, з'єднаного з об'єктом дослідження 3.

Джерело світла 1 оптично пов'язано із світловодами 4, вхідні торці 5 яких укладені по горизонтальній лінії таким чином, щоб положення кожного торця відповідало конкретному повороту об'єкта дослідження 3. При цьому відстань, яку проходить промінь по горизонтальній лінії розміщення вхідних торців світловодів, визначається як $L = R(1 - \cos \alpha)$, де R – відстань від осі обертання об'єкта до точки з'єднання джерела світла з об'єктом дослідження; α – кутове переміщення об'єкта дослідження. Вихідні торці 6 оптично пов'язані з фотоприймальним блоком 7.

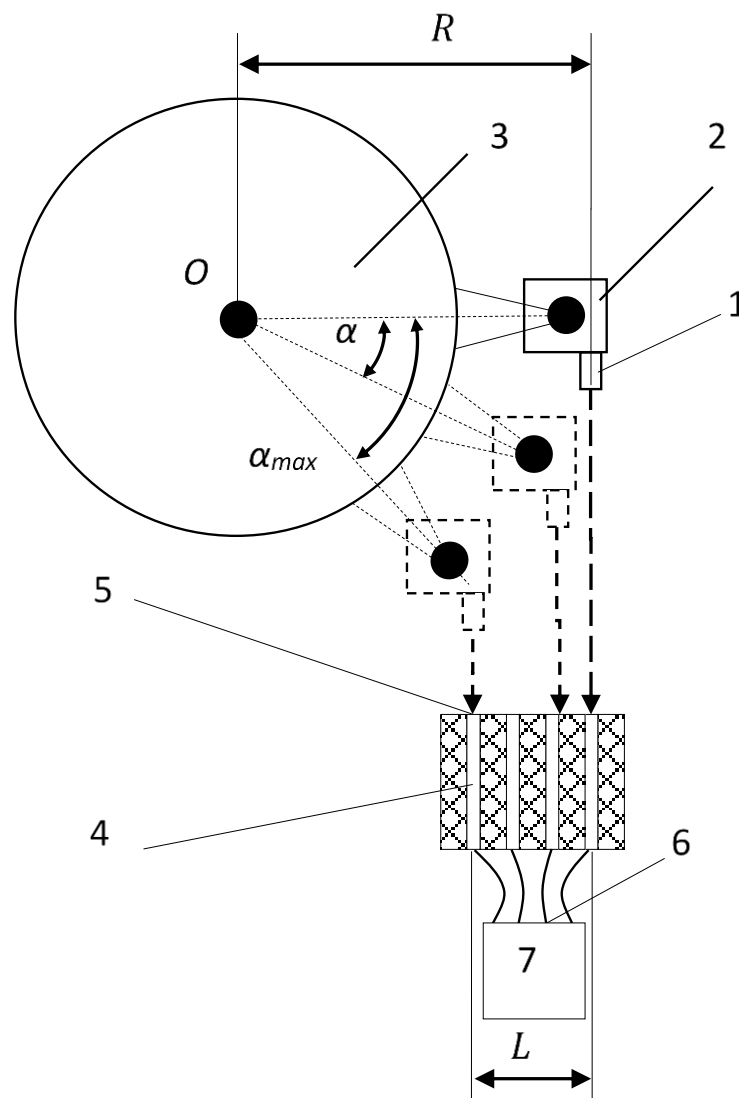


Рис. 3.25. Схема фотоелектричного перетворювача кутових переміщень з блоком підтримки рівня

Таким чином, запропонований фотоелектричний перетворювач кутових переміщень дає можливість спростити математичну модель для визначення відстані L , проводити високоточні вимірювання без зміни конструкції об'єкта обертання, що досліджується, зменшити габаритні параметри вимірювального перетворювача.

З метою спрощення пристрою, підвищення його надійності і технологічності порівняно з прототипом [64] за рахунок вдосконалення конструкції перетворювача і кодового диска запропоновано фотоелектричний перетворювач кутових переміщень [65].

На рис. 3.26 зображено диск з отворами (вигляд спереду); на рис. 3.27 – функціональну схему перетворювача в площині укладання першої та другої групи світловодів.

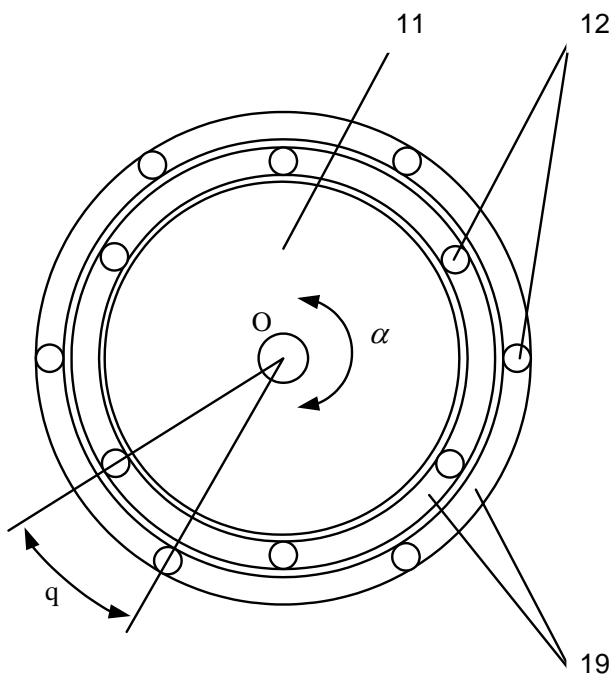


Рис. 3.26. Кодовий диск (вигляд спереду)

Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень має у своєму складі корпус 1, призначений для скріплення з об'єктом вал 2, оптично пов'язані освітлювач 3, фокон 4, що кріпиться за допомогою фіксатора 5 до вихідного отвору освітлювача 3, в якому розміщені вхідні торці першої групи світловодів 6, другу групу світловодів 7, які своїми вихідними торцями оптично зв'язані з відповідними двома фотоприймачами 8, 9, фотоприймальний блок 10, диск 11 з отворами 12, що встановлений на валу 2 і розміщений між вихідними торцями першої групи світловодів 6 та вхідними торцями другої групи світловодів 7.

Виходи фотоприймачів 8, 9 під'єднано до відповідних кіл із послідовно з'єднаних підсилювачів (13, 14) та фільтрів (15, 16), виходи яких під'єднано до мікропроцесорного блока 17, з'єданого з пристроєм відображення 18, а отвори в диску 11 виконані на двох доріжках 19 з дискретністю φ .

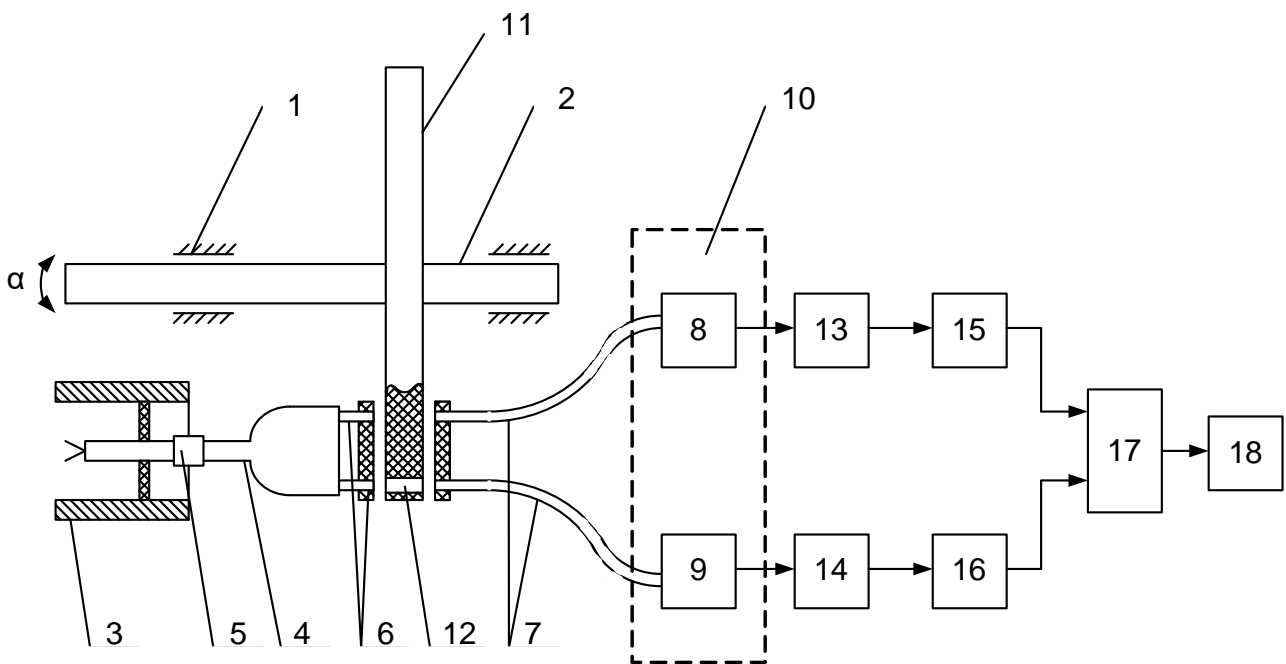


Рис. 3.27. Функціональна схема перетворювача
 Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень працює таким чином.

При повороті вала 2 на кут α світловий промінь від освітлювача 3 проходить крізь фокон 4, першу групу світловодів 6 і потрапляє на один із отворів 12 у диску 11, який у цей момент співпадає з одним із світловодів першої групи 6. Далі промінь потрапляє на вхідний торець одного із світловодів другої групи 7, розміщених в одну лінію, направлену по радіусу диска 11, а потім через вихідні торці другої групи світловодів 7 надходить на один з двох фотоприймачів 8, 9 фотоприймального блока 10 і після цього сигнал потрапляє до одного з послідовно з'єднаних підсилювачів 13, 14 та фільтрів 15, 16, виходи яких під'єднано до мікропроцесорного блока 17, з'єданого з пристроєм відображення 18.

На один із входів мікропроцесорного блока 17 надходить логічна «1», в той час як на інший вхід за відсутності сигналу – «0».

Залежно від черговості появи логічної «1» на першому або другому вході мікропроцесорного блока 17 визначають, що необхідно робити з «1» на одному із входів цього блока – додавати чи віднімати її. Таким чином враховується напрям повороту вала.

Отже, підраховуючи кількість імпульсів і помноживши її на ступінь дискретизації q , можна отримати величину кутового переміщення. Результат передається на блок відображення інформації 18.

Таким чином, запропонований фотоелектричний перетворювач кутових переміщень має спрощену конструкцію, підвищену надійність і простоту технології виготовлення кодового диска.

З метою спрощення конструкції і підвищення роздільної здатності і технологічності кодового диска порівняно з аналогами [65, 66] запропоновано фотоелектричний перетворювач кутових переміщень [67].

На рис. 3.28 показано функціональну схему фотоелектричного перетворювача кутових переміщень.

Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень має у своєму складі встановлений на валу 1 кодовий диск 2, на торцевій поверхні якого з відповідною дискретністю нанесені ділянки 3, що відбивають або не відбивають світло. Джерело випромінювання 4 і фотоприймачі 5, 6 оптично зв'язані світловодами 7. Виходи фотоприймачів 5, 6 під'єднані до логічної схеми 8, яка своїми виходами з'єднана із реверсивним лічильником 9.

Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень працює таким чином.

При повороті вала 1 на кут світлові промені від джерела випромінювання 4 через світловоди 7 потрапляють на торцеву поверхню кодового диска 2. Якщо світлове випромінювання у вигляді світлових потоків попадає на відбиваючу світло ділянку 3, то, відбившись від неї, потрапляє на відповідний фотоприймач 5, 6.

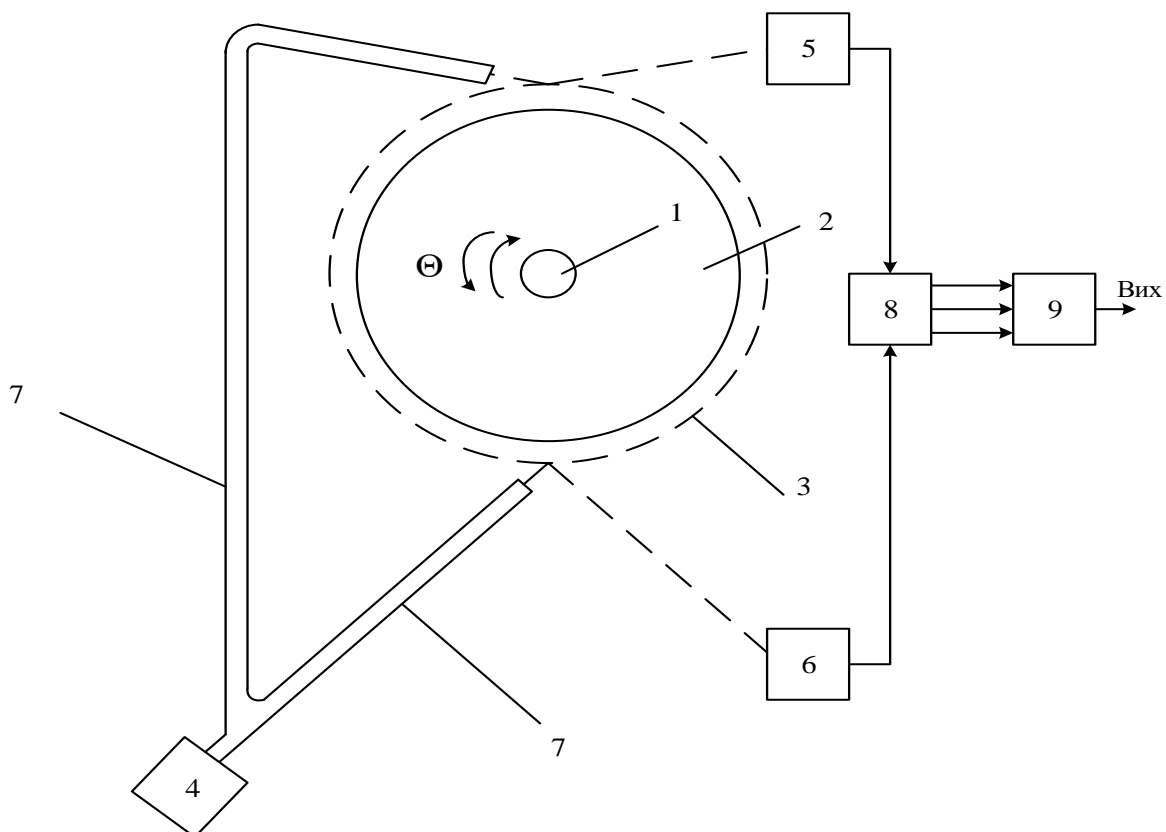


Рис. 3.28. Функціональна схема удосконаленого фотоелектричного перетворювача кутових переміщень

На виході першого фотоприймача 5 виникне імпульс напруги, який надходить на один із входів логічної схеми 8. На другий вхід логічної схеми 8 надходить імпульс із другого фотоприймача 6. Логічна схема порівнює черговість приходу цих імпульсів і визначає напрямок обертання кодового диска 2. Фотоприймачі 5, 6 і світловоди 7 розміщені таким чином, що при обертанні кодового диска 2 в позитивному напрямку першим видає імпульс фотоприймач 5, а в протилежному напрямку – фотоприймач 6. При отриманні пари імпульсів від фотоприймачів 5, 6 логічна схема 8 видає один імпульс на рахунковий вхід реверсивного лічильника 9 і одночасно – сигнали на два входи керування рахунком.

Таким чином, фотоелектричний перетворювач кутових переміщень підраховує всі зміни кута на величину кванта $\Delta\theta$, алгебрично підсумовуючи їх з урахуванням знака.

З метою розширення функціональних можливостей найближчого аналога [68], спрощення оброблення результатів вимірювання запропоновано волоконно-оптичний датчик кутових переміщень [69].

На рис. 3.29 показано функціональну схему волоконно-оптичного датчика кутових переміщень, а на рис. 3.30 – кодовий диск, на поверхні якого нанесені відбиваючі та не відбиваючі світло ділянки.

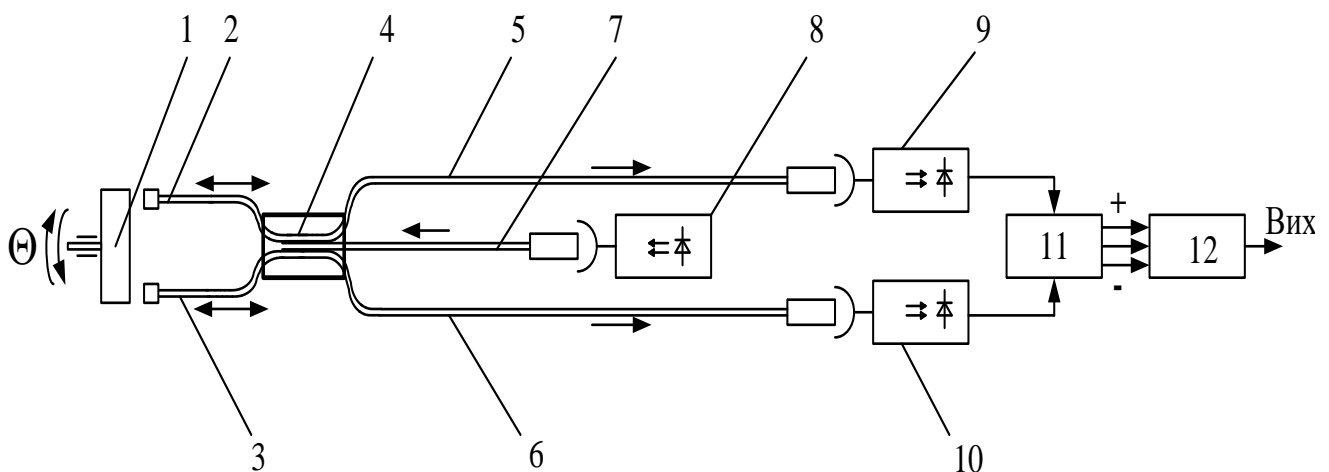


Рис. 3.29. Функціональна схема волоконно-оптичного датчика кутових переміщень

Волоконно-оптичний датчик кутових переміщень має у своєму складі встановлений на валу кодовий диск 1, перший і другий світловоди оптичного зв'язку 2, 3, оптичний розгалужувач 4, перший і другий волоконно-оптичні світловоди 5, 6, вхідний волоконно-оптичний світловод 7, джерело оптичного випромінювання 8, перший і другий фотоприймачі 9, 10, логічну схему 11, реверсивний лічильник 12. На поверхні кодового диска 1 нанесені відбиваючі 13 та не відбиваючі 14 світло ділянки, сформовані у вигляді кодової доріжки

Кодовий диск 1 оптично зв'язаний з першим і другим волоконними світловодами оптичного зв'язку 2, 3. При цьому їх входи спрямовано на протилежні кінці кодової доріжки, а виходи через оптичний розгалужувач 4 підімкнені до виходу вхідного волоконно-оптичного світловоду 7 і до входів волоконно-оптичних світловодів 5, 6. Вхід світловоду 7 під'єднано до джерела оптичного випромінювання 8, а виходи світловодів 5, 6 через відповідні фотоприймачі 9, 10 підімкнено до входів логічної схеми 11, виходи якої з'єднані з реверсивним лічильником 12.

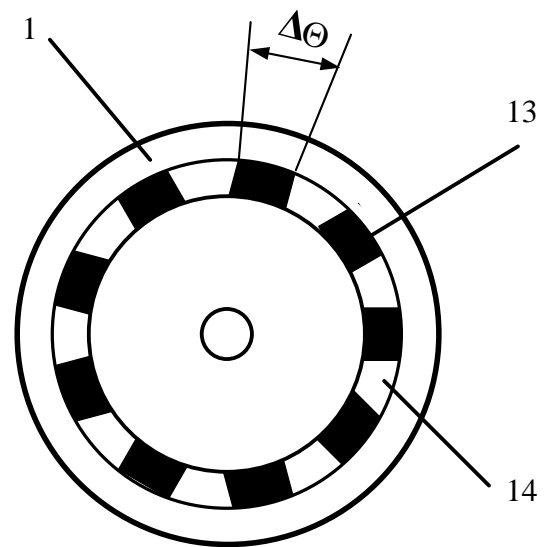


Рис. 3.30. Кодовий диск

Волоконно-оптичний датчик кутових переміщень працює таким чином.

Джерело оптичного випромінювання 8 випромінює світловий потік, який по вхідному волоконно-оптичному світловоду 7 передається на оптичний розгалужувач 4, де розподіляється на два потоки в перший і другий світловоди 2, 3. Світлові потоки по світловодам 2, 3 передаються на кодовий диск 1, від ділянок 13, 14 кодової доріжки якого відбиваються (не відбиваються) і вводяться (не вводяться) в світловоди 2, 3. По світловодам 2, 3 крізь оптичний розгалужувач 4 світлові сигнали надходять у світловоди 5, 6, по яким передаються на оптичні входи фотоприймачів 9, 10. Якщо світлове випромінювання у вигляді світлових потоків попадає на відбивальну світлову ділянку 13, то, відбившись від неї, потрапляє на відповідний фотоприймач 9 або 10. На виході першого фотоприймача 9 з'являється імпульс напруги, який надходить на один із входів логічної схеми 11. На другий вхід логічної схеми 11 надходить імпульс із другого фотоприймача 10. Логічна схема порівнює черговість приходу цих імпульсів і визначає напрямок обертання кодового диска 1. Світловоди 2, 3 розміщені таким чином, що при обертанні кодового диска 1 в позитивному напрямку першим видає імпульс фотоприймач 9, а в протилежному напрямку – фотоприймач 10. При отриманні пари імпульсів від фотоприймачів 9,10 логічна схема 11 видає один імпульс на рахунковий вхід реверсивного лічильника 12 і одночасно – сигнали на два входи керування рахунком.

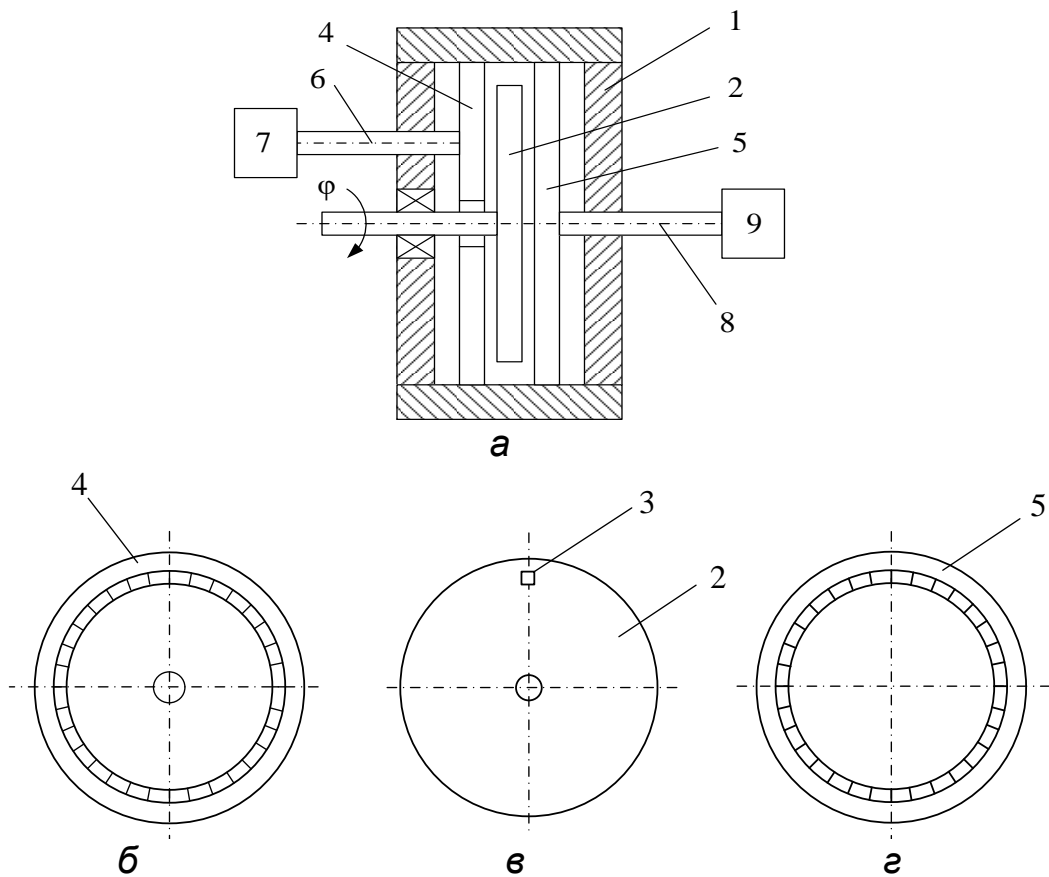
Таким чином, волоконно-оптичний датчик кутових переміщень підраховує усі зміни кута на величину кванта $\Delta\theta$, алгебрично підсумовуючи їх з урахуванням знака.

Запропонований волоконно-оптичний датчик кутових переміщень має цифровий вихідний сигнал, спрощене оброблення результатів вимірювання, технологічність виготовлення кодового диска і зменшені габаритні розміри.

З метою спрощення конструкції датчика, підвищення його технологічності та точності вимірювання порівняно з аналогами [69, 70] запропоновано волоконно-оптичний датчик кутових переміщень [71].

На рис. 3.31 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика кутових переміщень.

У корпусі 1 волоконно-оптичного датчика кутових переміщень (рис. 3.31, а) встановлений на валу кодовий диск 2 із отвором 3 (рис. 3.31, в), з протилежних сторін якого жорстко закріплені кругові пластини 4, 5. Вхідні торці вхідних світловодів 6 оптично пов'язані з джерелом оптического випромінювання 7 (рис. 3.31, д), а їх вихідні торці розміщені в отворах, обмежених колами двох радіусів та виконаних у круговій пластині 4 (рис. 31, б).



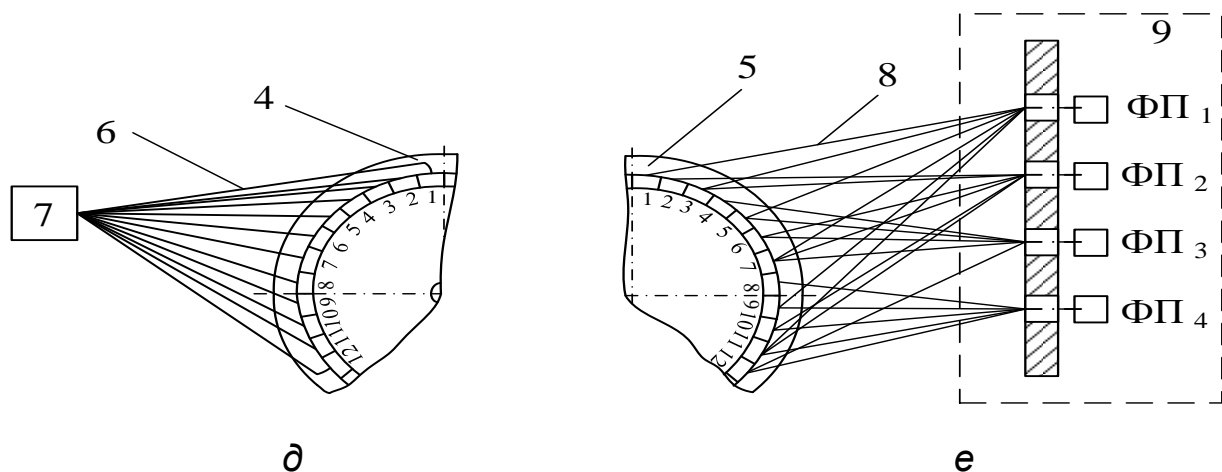


Рис. 3.31. Конструкція волоконно-оптичного датчика кутових переміщень: а – спрощена конструкція; б – кругова пластина для розміщення вихідних торців вхідних світловодів; в – кодовий диск з отвором; г – кругова пластина для розміщення вхідних торців вихідних світловодів; д – фрагмент розміщення вхідних світловодів; е – фрагмент розкладки вихідних торців вхідних світловодів у отвори волоконно-оптичного перетворювача

Вхідні торці вихідних світловодів 8 розміщені в отворах, обмежених колами двох радіусів та виконаних у круглій пластині 5 (рис. 3.31, г), а їх вихідні торці розкладені у отвори волоконно-оптичного перетворювача 9 для отримання інформації у двійковому коді (рис. 3.31, е).

Волоконно-оптичний датчик кутових переміщень працює таким чином. При повороті вала з кодовим диском 2 на кут φ його отвір 3 встановлюється навпроти відповідного вхідного торця вихідних світловодів 8, закріпленого в круглій пластині 5. Світловий потік від джерела оптичного випромінювання 7 поступає по відповідному вхідному світловоду 6 і через його вихідний торець, закріплений на круглій пластині 4, потрапляє в отвір 3 кодового диска 2 та відповідний вхідний торець вихідних світловодів 8, який закріплено на круглій пластині 5. Відповідний вихідний світловод 8 засвічує відповідні фотоприймачі ($\text{ФП}_1 \dots \text{ФП}_4$) волоконно-оптичного перетворювача 9. На виходах фотоприймачів ($\text{ФП}_1 \dots \text{ФП}_4$) формується двійковий код, який відповідає куту повороту φ , що вимірюється.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик дає змогу спростити конструкцію, підвищити її технологічність та точність вимірювання кутових переміщень.

Більш детальний аналіз волоконно-оптичних датчиків кутових переміщень розглянуто в роботах [72–77].

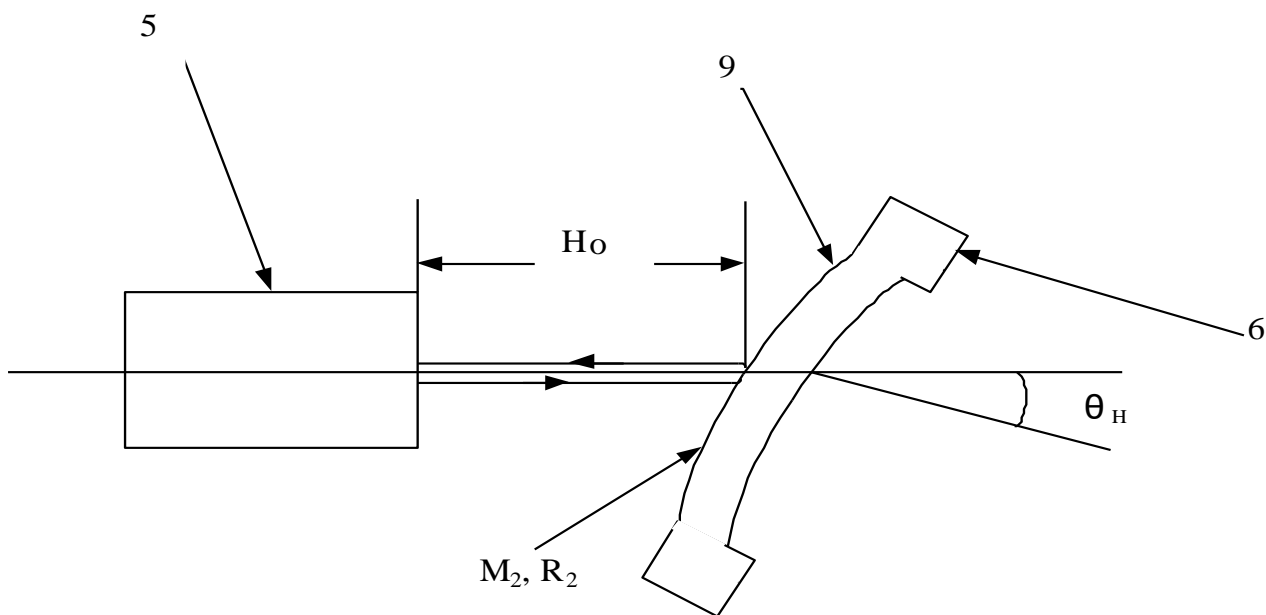


Рис. 3.33. Вимірювальна головка

При цьому мікрорезонатор 6 забезпечений шаром магнітного матеріалу, а один торець світловоду 10 волоконно-оптичного лазера 4 оптично сполучається з автоколіматором 5, розташованим між цим торцем та відбивальною поверхнею мікрорезонатора 6, яка розміщена під кутом θ_H до оптичної осі світлового пучка, другий торець світловоду 10 зв'язаний з фотоприймачем 11, підімкненим до блока оброблення інформації 12. На рухомому об'єкті 2 жорстко закріплений постійний магніт 13, а на нерухомому об'єкті 1 жорстко встановлений датчик Холла 14, підімкнений до послідовно з'єднаних підсилювача 15 та блока порівняння 16, другий вхід якого під'єднано до виходу блока оброблення інформації 12.

Мікрорезонаторний волоконно-оптичний датчик лінійних переміщень працює таким чином.

Постійний магніт 13 створює необхідне просторове розподілення напруженості магнітного поля, яке сприймається шаром магнітного матеріалу мікрорезонатора 6 і датчиком Холла 14. У початковому стані мікрорезонатор 6 орієнтується відносно оптичної осі автоколіматора 5 таким чином, щоб виконувалася умова $\theta_1 < \theta_H < \theta_2$, де θ_1 , θ_2 – межі інтервалу кута відхилення, в якому встановлюється стійкий режим автоколиваний. При зміні H_0 до 3 мм зриву автоколиваний не спостерігається. При цьому частота автоколиваний F практично співпадає з резонансною частотою f , а наявність автоколивального режиму в системі ВОЛ (4) → автоколіматор (5) → мікрорезонатор (6) реалізується за рахунок модуляції амплітуди коефіцієнта відбиття R_2 внаслідок фотоіндукованих кутових відхилень мікрорезонатора 6. Нормаль до

відбивальної поверхні мікрорезонатора 6 на початку орієнтована під кутом θ_n до оптичної осі колімованого пучка світла волоконно-оптичного лазера 4. Промодульоване випромінювання на резонансній частоті попадає на фотоприймач 11, електричний сигнал з якого надходить на блок оброблення інформації 12. З виходу блока інформації сигнал надходить на другий вхід блока порівняння 16. Одночасно на перший вхід цього блока надходить сигнал від датчика Холла 14, який підсилений у підсилювачі 15. При рівності цих сигналів на виході блока порівняння 16 буде нульовий сигнал, що підтверджує працездатність обох каналів вимірювання. Якщо сигнал на виході блока порівняння 16 не дорівнює нулю, тоді це означає, що один із каналів непрацездатний. У цьому випадку необхідно реєструвати сигнали на виході блоків 12 і 15 та порівнювати їх із дійсним переміщенням рухомого об'єкта 2 відносно нерухомого 1. Це дає можливість визначати непрацездатний канал вимірювання.

Таким чином, запропонований мікрорезонаторний волоконно-оптичний датчик лінійних переміщень має підвищену надійність за рахунок введення вбудованого контролю.

3.3. Датчики вібрацій

З метою спрощення конструкції прототипу [38] і підвищення його надійності запропоновано оптоволоконний датчик [80].

На рис. 3.34 зображено конструкцію датчика. Оптоволоконний датчик містить корпус 1 у вигляді пустотілого циліндра, крізь отвір циліндра пропущено світловод 2, закріплений на плоскій пружині 3, на якій розміщений інерційний елемент 4, джерело світла 5, дві фоточутливі смуги 6, 7, що підключені до реєструвального приладу 8.

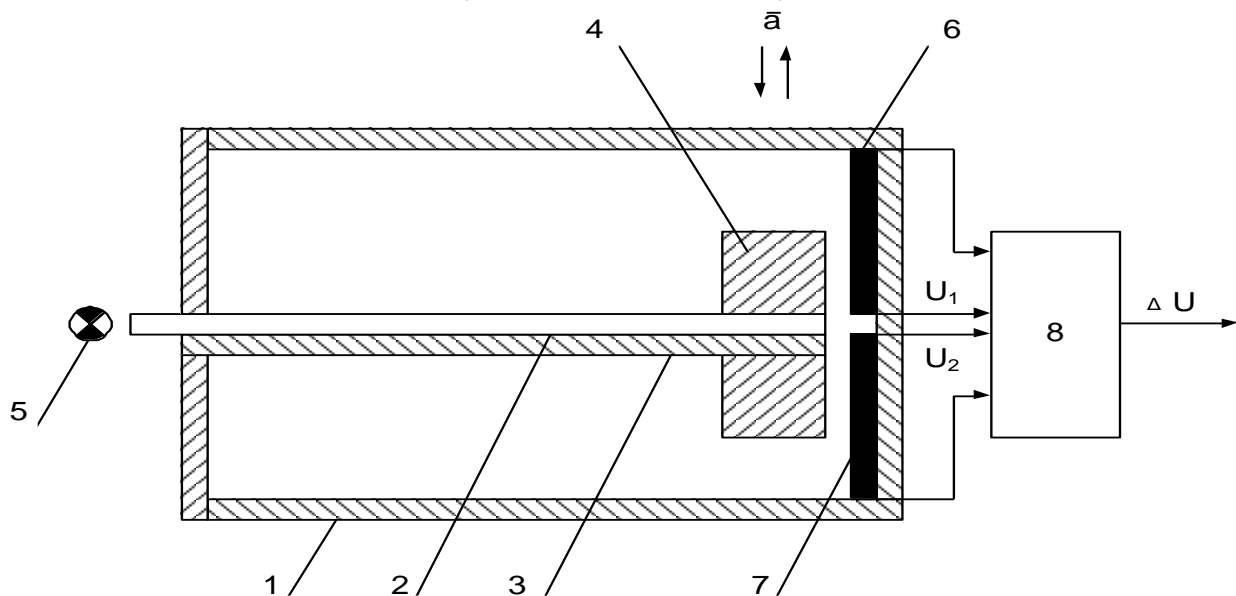


Рис. 3.34. Конструкція оптоволоконного датчика вібрацій

Оптоволоконний датчик працює таким чином.

Світло від джерела світла 5 по світловоду 2 потрапляє в середину пустотілого циліндра 1. Якщо відсутнє прискорення, світловод 2 не засвічує фоточутливі смуги 6, 7 і на виході реєструвального приладу буде нульове показання, тобто $\Delta U = 0$. При дії прискорення \bar{a} на інерційний елемент 4 діє сила інерції, яка викликає згинання плоскої пружини 3, а відповідно і світловода 2. В цьому випадку освітлюється одна з фоточутливих смуг 6, 7 залежно від напрямку прискорення \bar{a} , а на виході реєструвального приладу буде сигнал $\Delta U = U_1 - U_2$, причому $\Delta U > 0$ або $\Delta U < 0$ залежно від напрямку прискорення.

У випадку дії вібрації відбувається зміна величини і знаку напруги, причому ΔU носить коливальний характер, який можна зареєструвати осцилографом.

Таким чином, запропонований оптоволоконний датчик для вимірювання прискорень і вібрацій має спрощену конструкцію і підвищену надійність.

З метою зменшення температурної похибки та забезпечення керування джерелом світла запропоновано датчик вібрацій [81].

Пристрій пояснюється рис. 3.35, на якому зображено конструкцію датчика. Датчик вібрацій містить корпус 1 у вигляді пустотілого циліндра, крізь отвір циліндра пропущено світловод 2, який проходить між консольними п'єзопластинами 3, 4. На вільних кінцях п'єзопластин 3, 4 закріплений інерційний елемент 5. Дві фоточутливі смуги 6, 7, що нанесені на внутрішній поверхні корпусу 1, під'єднано до реєструвального приладу 8. П'єзопластини 3, 4 під'єднано до електронного ключа 9, який підімкнено до послідовно з'єднаних джерела живлення 10 і світлодіода 11.

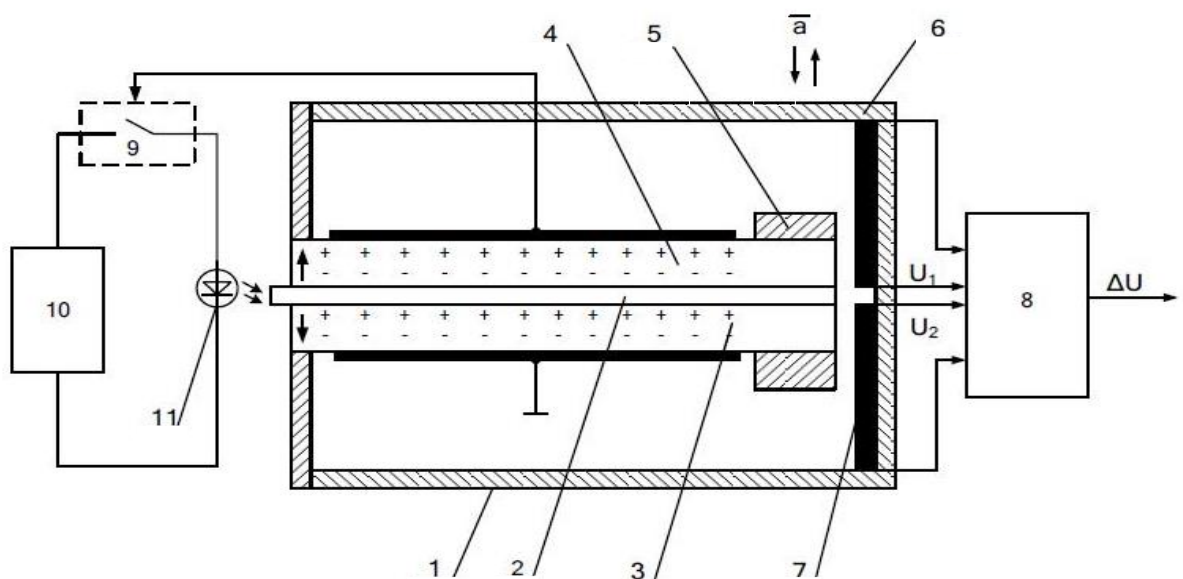


Рис. 3.35. Конструкція датчика вібрацій

Датчик вібрацій працює таким чином.

При дії вібрацій \bar{a} на інерційний елемент 5 діє сила інерції, яка викликає згинання п'єзопластин 3, 4 і світловода 2. На гранях пластин 3, 4 виникають заряди, а електрична напруга подається на електронний ключ 9, який замикає коло і вмикає світлодіод 11. Світло від світлодіода 11 по світловоду 2 потрапляє всередину пустотілого циліндра корпусу 1 і засвічує фоточутливі смуги 6 (або 7), а на виході реєструвального приладу 8 буде сигнал $\Delta U = U_1 - U_2$, причому $\Delta U > 0$ або $\Delta U < 0$ залежно від напрямку дії вібрації. Оскільки зміна величини і знаку напруги ΔU носить коливальний характер, цей процес можна зареєструвати осцилографом.

Таким чином, запропонований датчик вібрацій дає змогу зменшити температурну похибку вимірювання, а також автоматично керувати процесом увімкнення світлодіода.

З метою підвищення технологічності виготовлення датчика та забезпечення видачі інформації у цифровому вигляді запропоновано оптоволоконний датчик [82].

На рис. 3.36 зображено спрощену конструкцію оптоволоконного датчика.

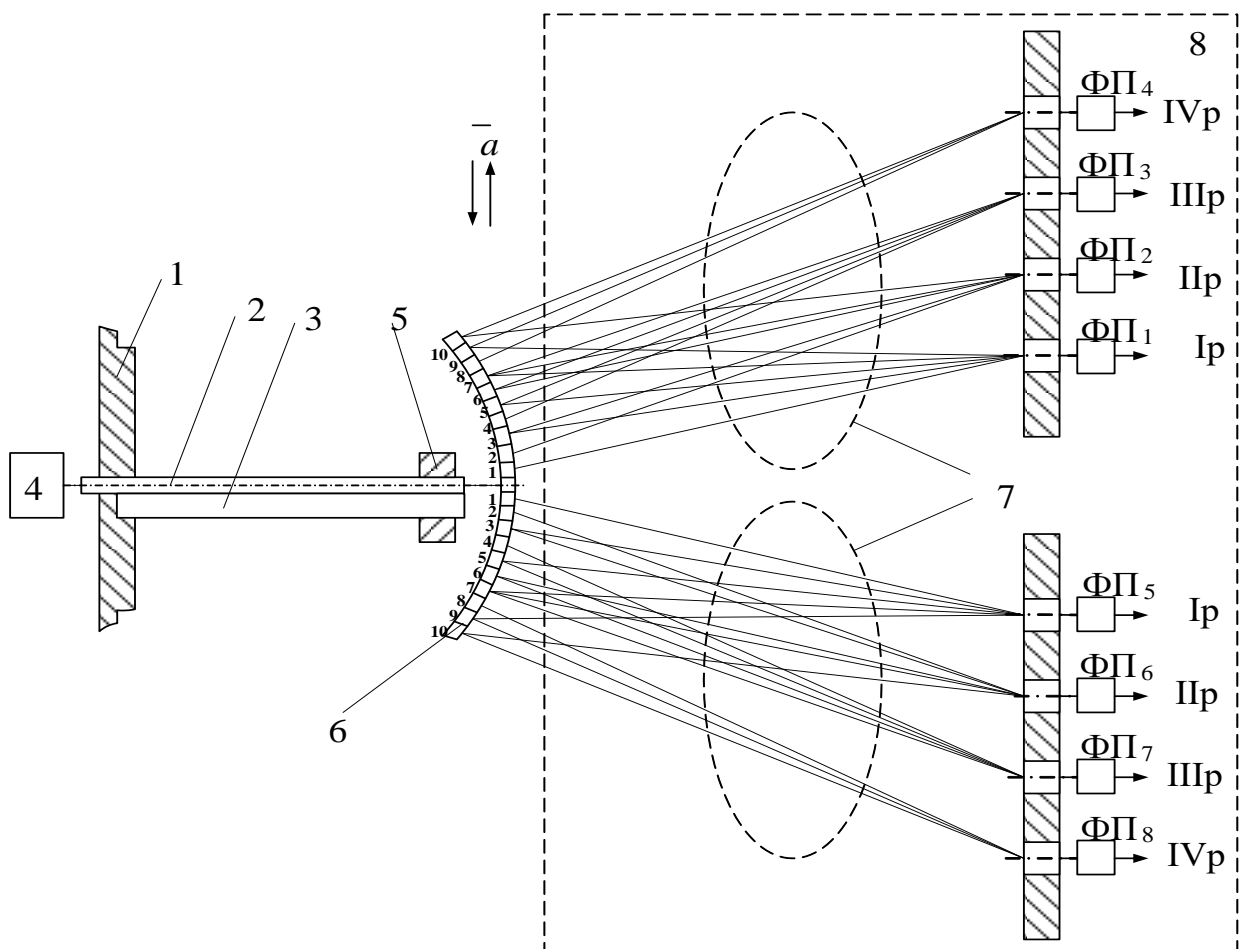


Рис. 3.36. Конструкція оптоволоконного датчика

Оптоволоконний датчик містить корпус 1, крізь отвір якого пропущено вхідний світловод 2, закріплений на консольній плоскій пружині 3, джерело світла 4. На вільних кінцях консольної плоскої пружини 3 та вхідного світловоду 2 встановлено інерційний елемент 5. На металевій дузі 6 радіусу L симетрично відносно вхідного торця вхідного світловоду 2 розміщені вхідні торці вихідних світловодів 7, а їх вихідні торці оптично пов'язані з волоконно-оптичним перетворювачем 8 для отримання інформації у двійковому коді.

Оптоволоконний датчик працює таким чином.

При дії прискорення \bar{a} на інерційний елемент 5 впливає сила інерції, яка викликає згинання консольної плоскої пружини 3 і вхідного світловоду 2. Світловий потік від джерела світла 4 по вхідному світловоду 2 поступає на відповідні вхідні торці вихідних світловодів 7 та засвічує відповідні фотоприймачі ΦP_i волоконно-оптичного перетворювача 8. Причому, якщо плоска пружина 3 згинається вгору, тоді спрацьовують фотоприймачі $\Phi P_1 \dots \Phi P_4$, а якщо плоска пружина згинається вниз, тоді спрацьовують фотоприймачі $\Phi P_5 \dots \Phi P_8$. На виході відповідних фотоприймачів формується сигнал у вигляді чотирьохрозрядного двійкового коду (відповідні розряди $I \dots IV$), який відображає прискорення, що вимірюється.

Таким чином, запропонований оптоволоконний датчик дає змогу підвищити технологічність його виготовлення та забезпечити видачу інформації про прискорення у вигляді двійкового коду.

З метою спрощення конструкції датчика, підвищення технологічності його виготовлення та зменшення масогабаритних характеристик порівняно з аналогом [83, 84] запропоновано волоконно-оптичний датчик [85]. На рис. 3.37 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичного датчика.

Волоконно-оптичний датчик містить корпус 1, в якому жорстко закріплена вісь 2 квадратного перерізу, що пронизує інерційну масу 3. Оптичне волокно 4 виконано у вигляді двох витих пружин, які з протилежних боків приєднані до інерційної маси 3 та корпусу 1. Вхідний торець оптичного волокна 4 оптично пов'язаний з джерелом випромінювання 5, а його вихідний торець приєднаний до вимірювальної системи 6, до складу якої входять оптичний та обчислювальний пристрої. Корпус 1 закріплюється на поверхні об'єкта, що контролюється. Для вимірювання вертикальних коливань волоконно-оптичний датчик орієнтується вздовж осі OY , а для реєстрації горизонтальних коливань – уздовж осі OX .

Волоконно-оптичний датчик працює таким чином.

Унаслідок дії лінійного прискорення \bar{a} на інерційну масу 3

одна із витих ділянок оптичного волокна 4 стискується, а друга – розтягується (залежно від напрямку дії прискорення).

Світловий потік від джерела випромінювання 5 передається по оптичному волокну 4 до оптичного пристрою вимірювальної системи 6. Унаслідок деформації оптичного волокна 4 змінюється величина інтенсивності світлового потоку, що пропорційна величині діючого прискорення, фіксується оптичним пристроєм та перетворюється на цифровий код в обчислювальному пристрої вимірювальної системи 6.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик дає змогу спростити конструкцію прототипу, підвищити технологічність його виготовлення та зменшити масогабаритні характеристики.

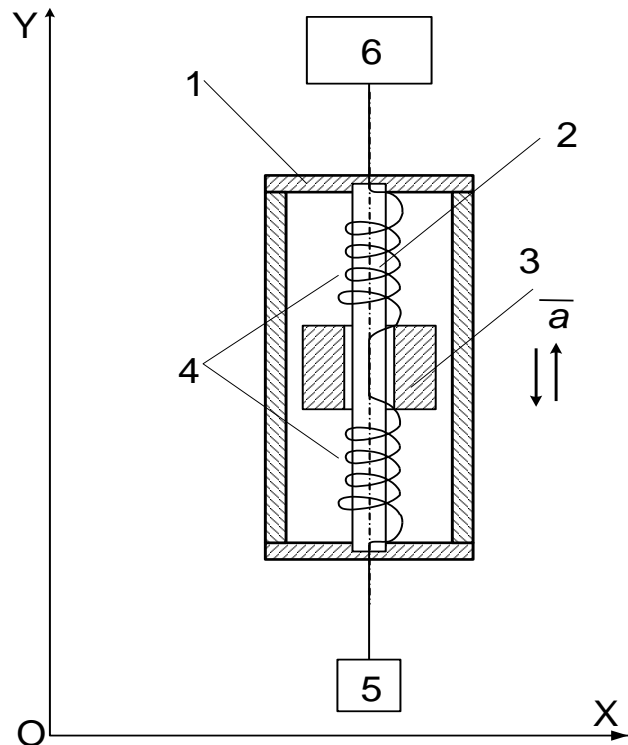


Рис. 3.37. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика

3.4. Датчики температури та вологості

3.4.1. Датчики температури

З метою забезпечення достатньої точності вимірювання, надійності і можливості реалізації контролю і діагностики пристрою в процесі його роботи, порівняно з аналогами [24, 86], запропоновано волоконно-оптичний датчик температури [87].

На рис. 3.38 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика температури.

Волоконно-оптичний датчик температури складається із чутливого елемента 1 у вигляді кварцового п'єзоелемента, який закріплено в корпусі 2. Перед чутливим елементом 1 розташовано дев'ять передавальних світловодів 3 і приймальний світловод 4, на виході якого встановлено фотоприймач 5. На входах передавальних світловодів 3 встановлено дев'ять світлодіодів 6. Торці світловодів 3 оптично зв'язані з чутливим елементом 1 і розміщені в системі координат XY згідно з точками ортогонального центрального композиційного планування, а торець світловоду 4, зв'язаного з фотоприймачем 5, розміщено на початку системи координат.

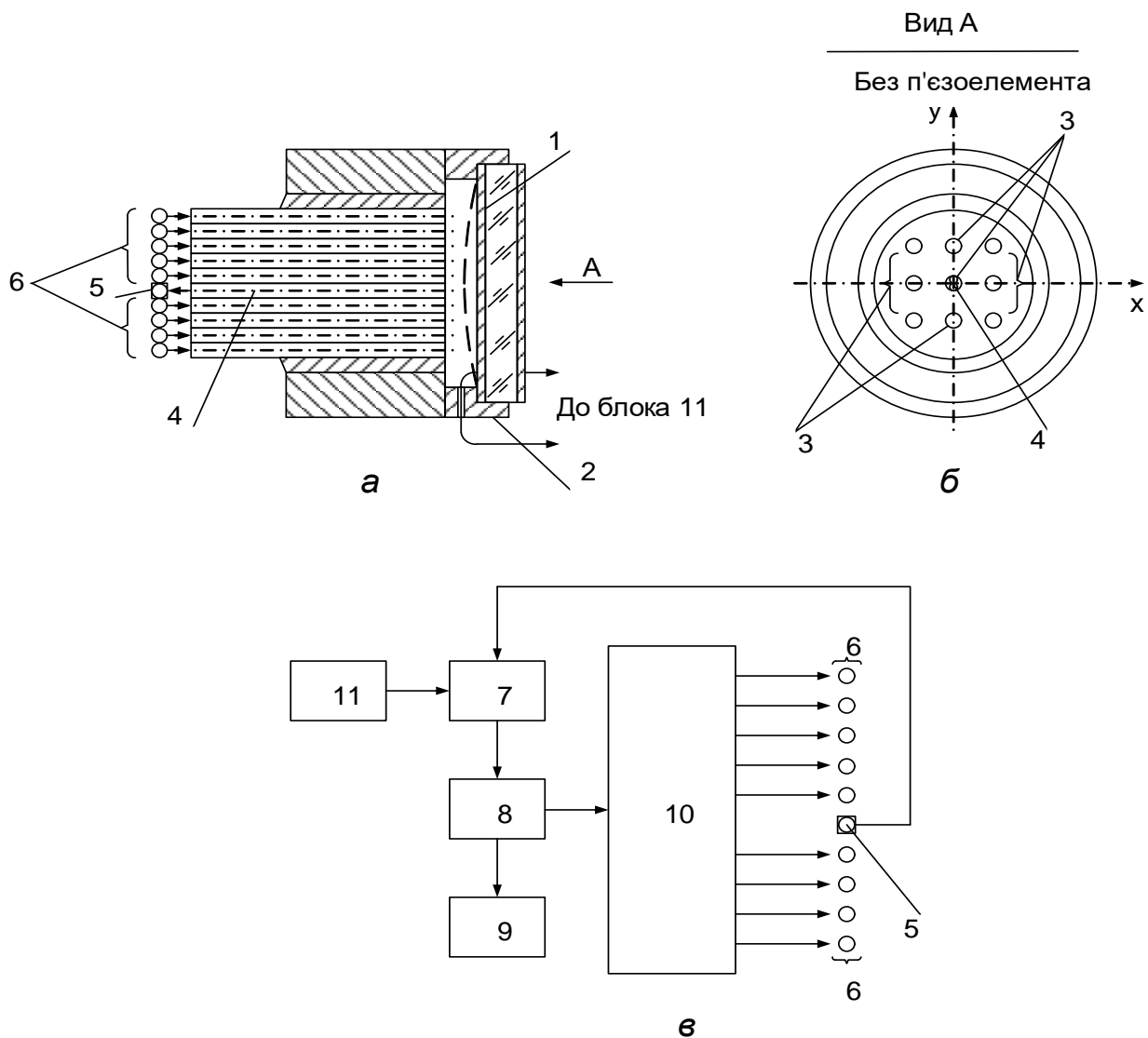


Рис. 3.38. Волоконно-оптичний датчик температури: а – спрощена конструкція; б – розміщення торців світловодів перед площиною чутливого елемента; в – функціональна схема датчика

Фотоприймач 5 через аналого-цифровий перетворювач 7 під'єднано до мікроконтролера 8, перший вихід якого під'єднано до індикатора 9, а другий вихід – до драйвера 10 світлодіодів. Драйвер 10 світлодіодів з'єднаний з дев'ятьма світлодіодами 6, які пов'язані з дев'ятьма світловодами 3. Чутливий елемент 1 через підсилювач 11 під'єднано до другого входу аналого-цифрового перетворювача 7.

Волоконно-оптичний датчик температури працює таким чином.

Мікроконтролер 8 виконує почергове ввімкнення світлодіодів 6 шляхом подачі цифрових сигналів драйверу 10 світлодіодів. Драйвер 10 перетворює отриманий сигнал у номер світлодіода, який необхідно підікнути, і подає на нього струм фіксованої величини.

Світлодіод, у свою чергу, перетворює цей струм на світловий потік. Передаючі світловоди 3 по чергово, відповідно до програми, засвічують поверхню чутливого елемента 1, який закріплено в корпусі 2 та сприймає дію температури T . Засвічування вихідних торців, наприклад, виконується зліва направо по рядках, починаючи з верхнього.

Чутливий елемент 1 під дією температури змінює свою форму. Відбиті від поверхні мембрани 1 світлові сигнали потрапляють у зону світлоприймального волокна 4, а по ньому – на фотоприймач 5, який перетворює інтенсивність світлового потоку на напругу. Отримані значення напруги в аналого-цифровому перетворювачі 7 перетворюються на цифровий код. Після того, як мікроконтролер 8 отримає дев'ять значень напруги, він виконує розрахунок поточних значень температури T_i в кожній з дев'яти точок плану ортогонального центрального композиційного планування (ОЦКП) з використанням алгоритму цифрового оброблення сигналів.

З урахуванням отриманих поточних значень температури T_i за алгоритмом оброблення результатів експерименту, отриманих за планом ОЦКП, будується математична модель

$$T = b_0 + b_1x + b_2y + b_{12}xy + b_{11}x_1^2 + b_{22}y_2^2,$$

де $b_0, b_1, b_2, b_{12}, b_{11}, b_{22}$ – коефіцієнти математичної моделі, x, y – координати точки чутливого елемента, в якій розраховується температура.

За математичною моделлю знаходять величину температури в різних точках чутливого елемента 1, а потім розраховують середнє значення температури $T_{сер}$, яке передається на цифровий індикатор 9.

За рахунок побудови математичної моделі $T = F(x, y)$ та усереднення значень температури, отриманих за цією моделлю, підвищується точність визначення температури.

Напруга на чутливому елементі 1, яка пропорційна температурі, підсилюється в підсилювачі 11 і перетворюється на двійковий код в аналого-цифровому перетворювачі 7. В мікроконтролері 8 за цим кодом розраховується значення температури T , яке передається на індикатор 9. У мікроконтролері 8 також порівнюються величини температури T і $T_{сер}$. Якщо розбіжність перевищує допустиме значення $T_{доп}$, тоді на індикатор 9 видається інформація про несправність одного із каналів вимірювання.

Для знаходження несправного каналу вимірювання на вхід чутливого елемента 1 подається еталонне значення температури, а за величинами температури T і $T_{сер}$ на індикаторі 9 визначають непрацездатний канал.

Застосування запропонованого волоконно-оптичного датчика температури дає змогу підвищити точність вимірювання, надійність пристрою і забезпечити його контроль і діагностику в процесі роботи.

З метою спрощення конструкції пристрою, підвищення чутливості та точності вимірювання температури, отримання вихідної інформації у двійковому коді, порівняно з аналогами [88, 89], запропоновано волоконно-оптичний датчик температури [90].

На рис. 3.39 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичного датчика температури.

У корпусі 1 волоконно-оптичного датчика температури закріплена біметалева спіральна пружина 2, до вихідного торця якої під'єднано непрозору пластинку 3 із отвором 4, що має можливість переміщення по напрямних 5. Передавальні 6 та приймальні 7 оптичні волокна розміщені з протилежних боків пластинки 3 один під одним у напрямку її переміщення і жорстко закріплені в корпусі 1. Перед вхідними торцями передавальних 6 оптичних волокон встановлено джерело випромінювання 8, наприклад світлодіод перед кожним оптичним волокном. Вихідні торці приймальних 7 оптичних волокон розкладаються в отвори чотирьохрядного волоконно-оптичного перетворювача 9 з метою отримання інформації у двійковому коді.

Волоконно-оптичний датчик температури працює таким чином.

При підвищенні температури в корпусі 1 датчика біметалева спіральна пружина 2 розкручується і непрозора пластинка 3 по напрямних 5 переміщується вниз, а при зменшенні температури біметалева спіральна пружина 2 закручується, що призводить до переміщення пластинки 3 вгору. При цьому отвір 4 пластинки 3 встановлюється навпроти відповідного вхідного торця приймальних 7 оптичних волокон. Світловий потік від джерела випромінювання 8 поступає по передавальному 6 оптичному волокну крізь отвір 4 непрозорої пластинки 3 на відповідний вхідний торець приймальних 7 оптичних волокон та засвічує відповідні фотоприймачі ($\Phi\Pi_1 \dots \Phi\Pi_4$) волоконно-оптичного перетворювача 9. На виходах фотоприймачів ($\Phi\Pi_1 \dots \Phi\Pi_4$) формується двійковий код, який відповідає температурі, що вимірюється.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик температури дає змогу спростити конструкцію, підвищити чутливість та точність вимірювання, отримувати вихідну інформацію в двійковому коді. Крім того, він має абсолютну іскро-, вибухо-, пожежобезпечність.

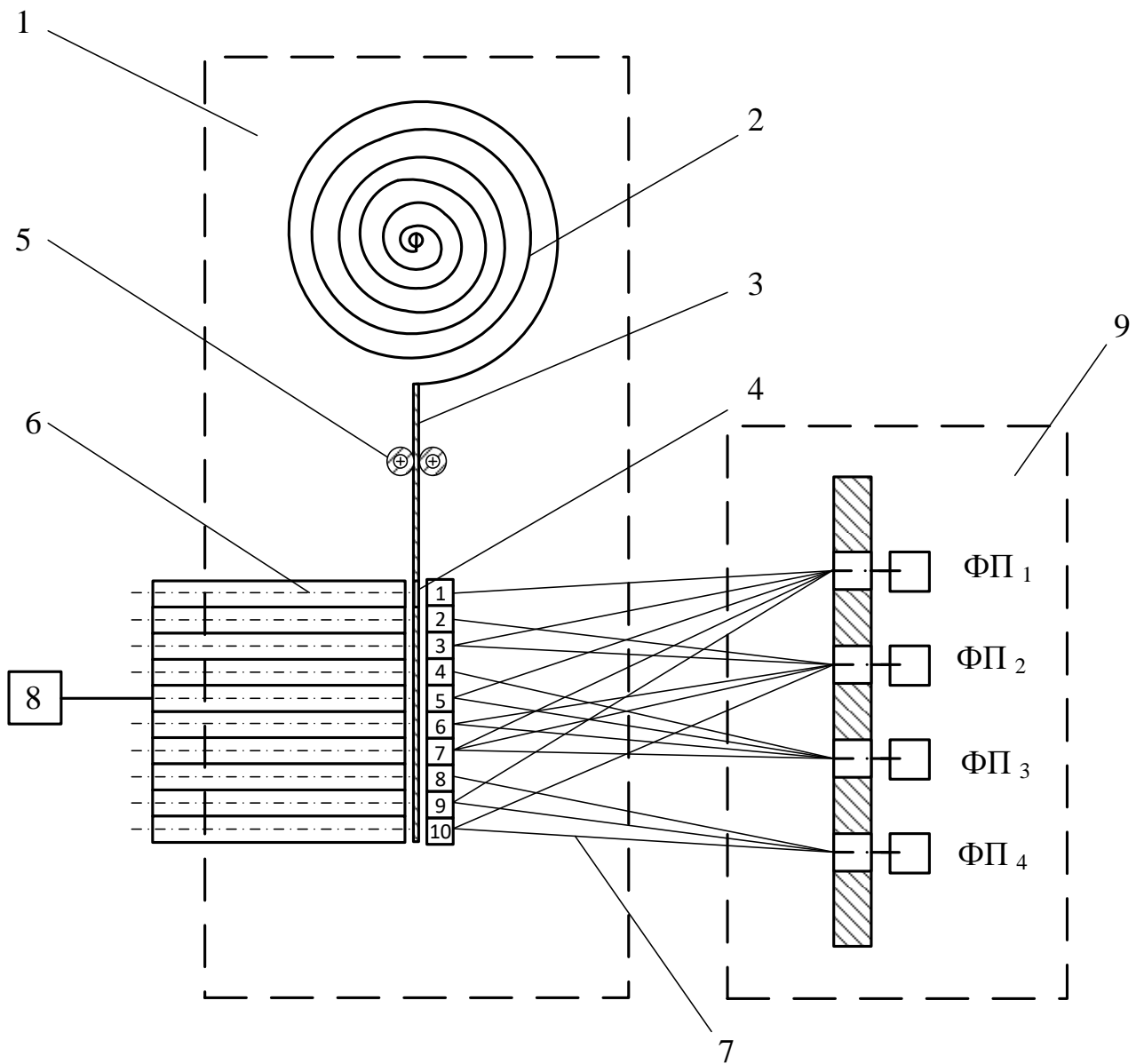


Рис. 3.39. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика температури

3.4.2. Датчики температури та вологості

З метою запобігання взаємному впливу вимірюваних параметрів на результати вимірювання та підвищення технологічності виготовлення порівняно з аналогами [91, 92] запропоновано волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості і температури [93].

На рис. 3.40 зображено конструкцію волоконно-оптичного датчика для вимірювання вологості і температури.

Волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості і температури 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 коаксіально 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.

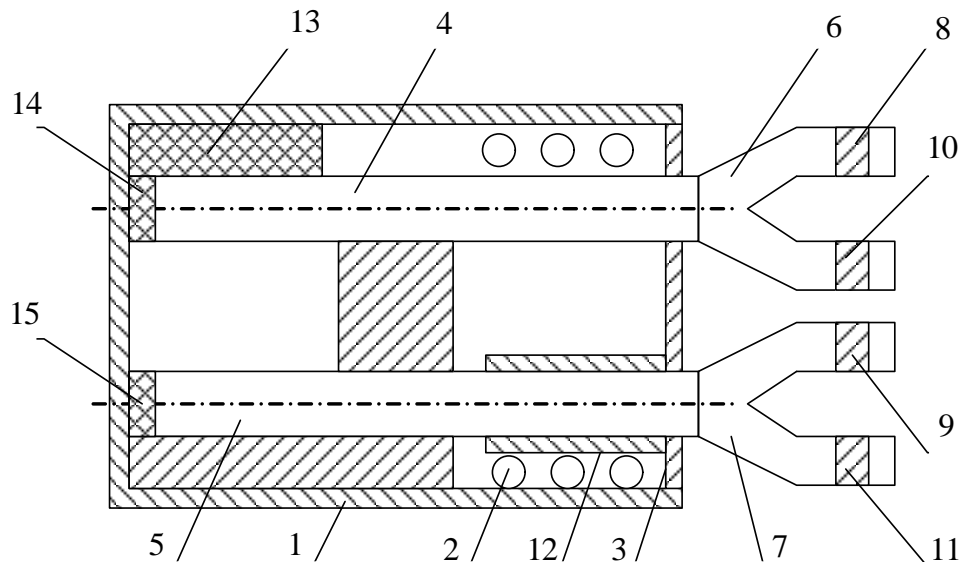


Рис. 3.40. Конструкція волоконно-оптичного датчика для вимірювання вологості і температури

Волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості і температури 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 вологість і температура вимірюються окремими незалежними каналами.

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

З метою розширення функціональних можливостей прототипу [95] за рахунок забезпечення вимірювання температури середовища запропоновано волоконно-оптичний датчик для вимірювання вологості та температури [94].

На рис. 3.41 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичного датчика для вимірювання вологості та температури.

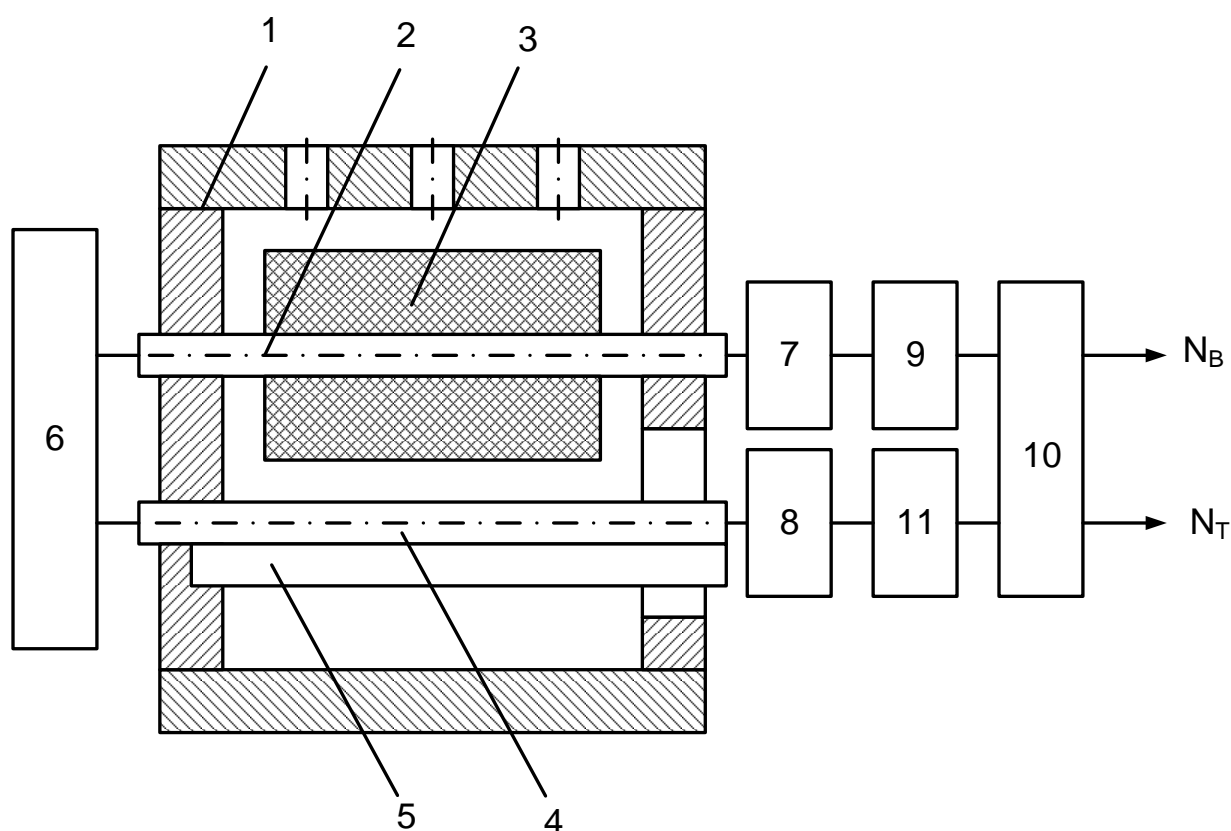


Рис. 3.41. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика для вимірювання вологості та температури

У перфорованому корпусі 1 волоконно-оптичного датчика для вимірювання вологості та температури 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 вологості та температури 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, приводить 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 перетворюється 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 вологості та температури дає змогу розширити функціональні можливості прототипу за рахунок забезпечення вимірювання температури середовища, яке контролюється.

3.4.3. Датчики вологості

З метою спрощення конструкції пристрою, підвищення його технологічності, забезпечення видачі інформації в цифровому вигляді запропоновано волоконно-оптичний датчик вологості [95].

На рис. 3.42 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичного датчика вологості.

У перфорованому корпусі 1 волоконно-оптичного датчика вологості закріплено світловод 2, встановлений у втулку 3 із гігроскопічного матеріалу. Перед вхідним торцем світловоду 2 встановлено джерело оптичного випромінювання 4, а перед його вихідним торцем розміщено фотоприймач 5, під'єднаний до послідовно з'єднаних підсилювача 6, аналого-цифрового перетворювача 7 та пристрою відображення інформації 8.

Волоконно-оптичний датчик вологості працює таким чином.

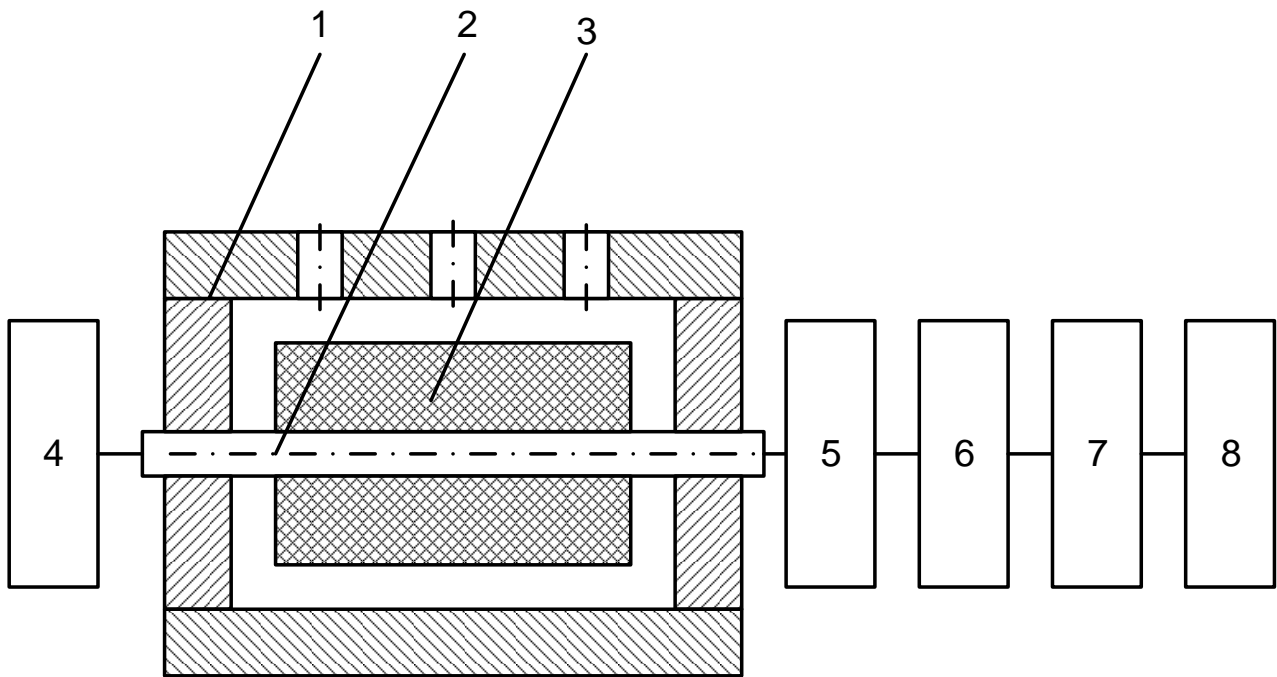


Рис. 3.42. Конструкція волоконно-оптичного датчика вологості

При змінюванні вологості середовища, що контролюється, відбувається зміна об'єму втулки 3 із гігроскопічного матеріалу. Як наслідок, відбуваються зміни її лінійних розмірів і величини прогину світловоду 2. Це приводить до зміни інтенсивності світлового потоку, що поширюється від джерела оптичного випромінювання 4 до фотоприймача 5. Величина електричного сигналу на виході фотоприймача 5, яка є пропорційною відносно величини контрольованої вологості, підсилюється у підсилювачі 6, перетворюється на двійковий код в аналого-цифровому перетворювачі 7 та відображається на пристрої відображення інформації 8.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик вологості дає змогу спростити конструкцію, підвищити технологічність її виготовлення та отримувати вихідну інформацію у цифровому вигляді.

4. ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ З ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИМИ ПЕРЕТВОРЮВАЧАМИ

4.1. Волоконно-оптичні системи вимірювання рівня рідини

З метою спрощення конструкції системи та розширення її функціональних можливостей порівняно з прототипом [96] запропоновано волоконно-оптичну систему вимірювання рівня рідини [97].

На рис. 4.1 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини, а на рис. 4.2 – фрагмент розміщення вхідних та вихідних оптичних волокон для отримання інформації про рівень рідини в одиничному та у двійковому кодах.

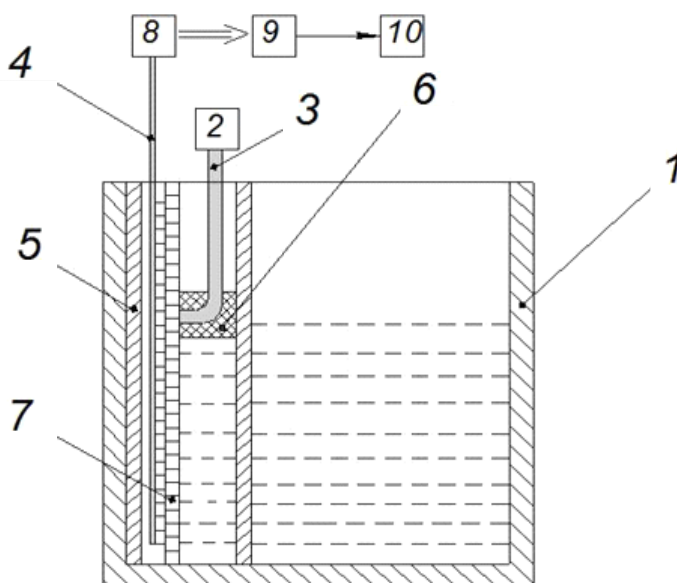


Рис. 4.1. Конструкція волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини

Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини (рис. 4.1) містить ємність для рідини 1, джерело 2 випромінювання, вхідне 3 та вихідні 4 оптичні волокна, трубу 5, поперечний переріз якої може бути круглим або прямокутним. У трубі 5 розміщені поплавок 6 та лінійка 7, на якій закріплені вхідні торці вихідних оптичних волокон 4 та обернені до вихідного торця вхідного оптичного волокна 3, вмонтованого в поплавок 6. Вихідні торці вихідних оптичних волокон

4 під'єднані до приймачів 8 випромінювання згідно з відповідним кодом (рис. 4.2). Приймачі 8 випромінювання під'єднані до послідовно з'єднаних блока 9 оброблення цифрових сигналів та блока 10 відображення інформації про рівень рідини. Поплавок 6 має можливість переміщуватися по напрямних у трубі 5, а вхідне 3 оптичне волокно має достатній запас довжини для переміщення по глибині ємності 1 для рідини.

Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини працює таким чином.

У початковому стані (коли вся ємність 1 заповнена рідиною) поплавок 6 знаходиться у верхній частині труби 5. Оптичний сигнал від джерела 2 випромінювання крізь вхідне 3 оптичне волокно потрапляє на вхідний

торець першого вихідного 4 оптичного волокна та поступає по цьому волокну на перший приймач 8 випромінювання. Електричний сигнал із виходу приймача 8 надходить на послідовно з'єднані блок 9 оброблення цифрових сигналів та блок 10 відображення інформації, які формують сигнал індикації про рівень рідини (ємність повністю заповнена рідиною).

При зміні рівня рідини поплавок 6 по напрямним опускається по трубі вниз, а вихідний торець вхідного 3 оптичного волокна зупиняється навпроти відповідного вхідного торця вихідних 4 оптичних волокон, закріплених на лінійці 7. У цьому випадку оптичний сигнал, що передається від джерела 2 випромінювання, потрапляє крізь відповідні вихідні 4 оптичні волокна (див. рис. 4.2) на відповідні приймачі 8 випромінювання. Електричні сигнали із виходів приймачів 8 випромінювання (див. рис. 4.2) у блоці 9 оброблення цифрових сигналів формуються у вигляді двійкових кодів. У блоці 10 відображення інформації формується сигнал індикації про рівень рідини.

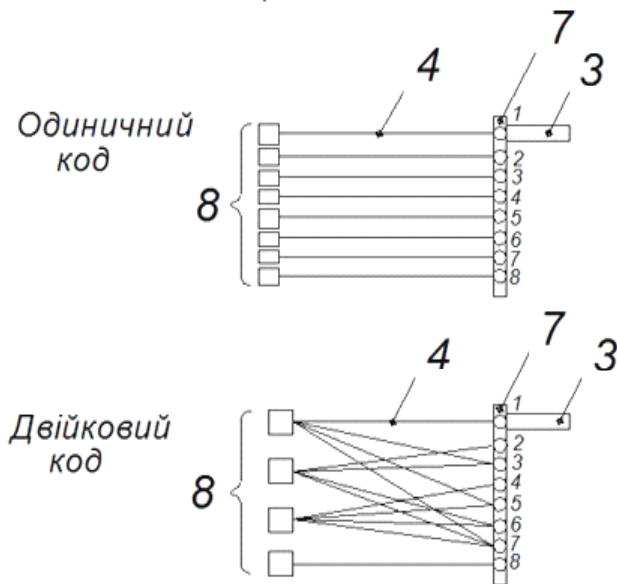


Рис. 4.2. Фрагмент розміщення вхідних та вихідних оптичних волокон для отримання інформації про рівень рідини в одиничному та у двійковому кодах

Таким чином, запропонована волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини дає змогу спростити конструкцію та підвищити її технологічність, а також розширити функціональні можливості. Крім того, вона має абсолютну іскро-, вибухо-, пожежобезпечність.

З метою подальшого спрощення конструкції системи, підвищення її надійності та технологічності, порівняно з аналогами [96, 97], запропонована волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини [98].

На рис. 4.3 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини.

Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини містить ємність для рідини 1, джерело 2 випромінювання, вхідні 3 та вихідні 4 оптичні волокна, трубу 5 з отвором, поперечний переріз якої може бути круглим або прямокутним. У трубі 5 розміщені поплавок 6 з дзеркальною поверхнею 7 та лінійка 8, на якій закріплені і чередуються вихідні торці вхідних оптичних волокон 3 та вхідні торці вихідних оптичних волокон 4. Вхідні оптичні волокна 3 оптично поєднані з джерелом випромінювання 2,

а вихідні оптичні волокна 4 – з приймачем випромінювання 9, який підімкнено до послідовно з'єднаних підсилювача 10, логічної схеми «І» 11 та двійкового реверсивного лічильника 12. Дзеркальна поверхня 7 поплавка 6 направлена в бік торців вхідних 3 та вихідних 4 оптичних волокон, а поплавок 6 має можливість переміщуватися по напрямним у трубі 5. Перший вихід блока керування 13 підключений до першого входу логічної схеми «І» 11, а два інших – до двійкового реверсивного лічильника 12. На рис. 4.3 показано розміщення торців вхідних 3 та вихідних 4 оптичних волокон на лінійці 8 для таких випадків заповнення рідиною ємності: ємність заповнено рідиною повністю; на 2/3 об'єму; на половину; на 1/3 об'єму; ємність без рідини.

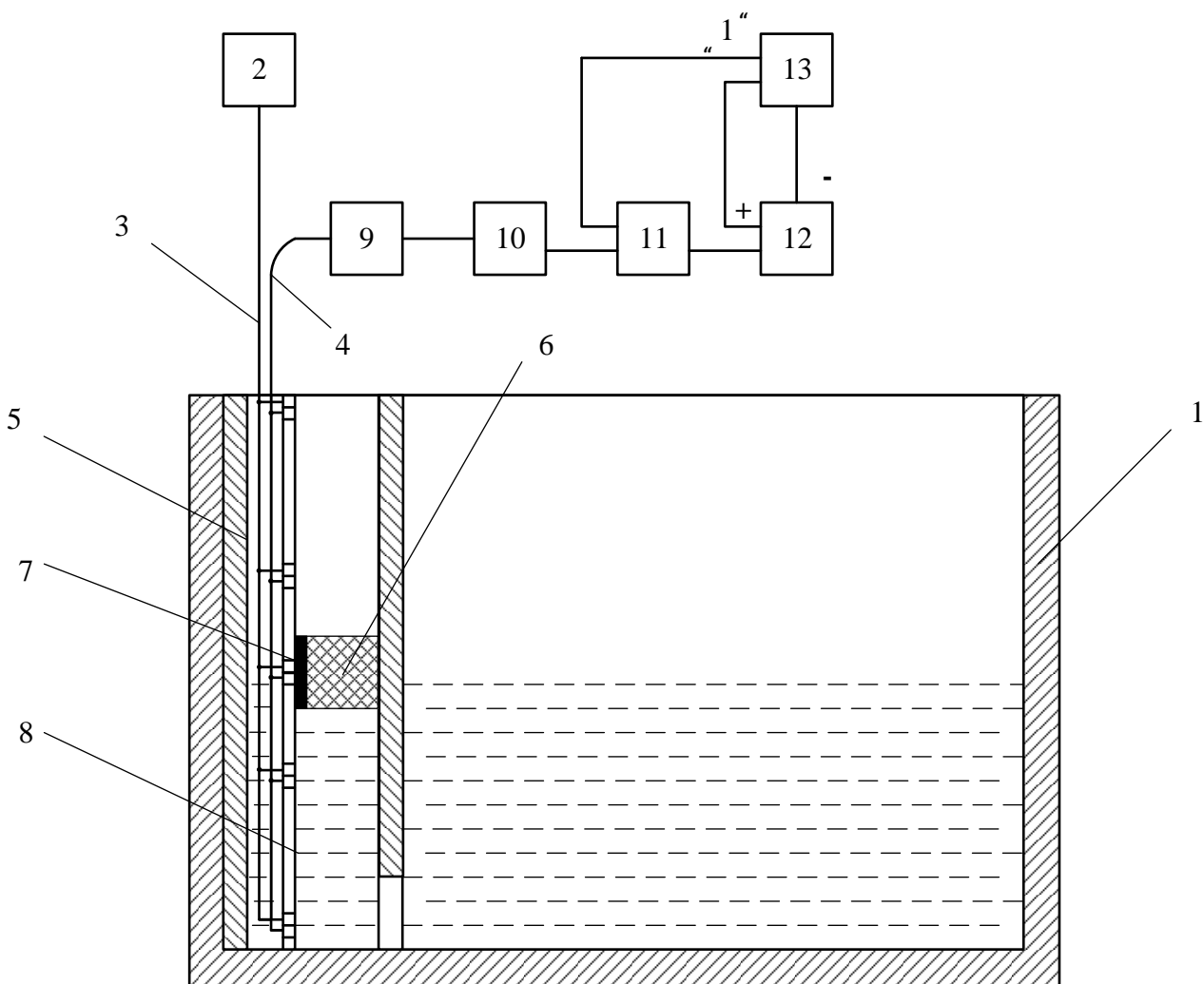


Рис. 4.3. Спрощена конструкція волоконно-оптичної системи вимірювання рівня рідини

Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини працює таким чином.

Перед початком роботи блок керування 13 подає на перший вхід логічної схеми «І» 11 сигнал рівня логічної одиниці («1»).

Під час заповнення ємності 1 рідиною поплавок 6 переміщується вгору. При розміщенні поплавок 6 перед торцями вхідних 3 та вихідних 4 оптичних волокон оптичний сигнал від джерела випромінювання 2 через вхідне оптичне волокно 3 потрапляє на дзеркальну поверхню 7, відбивається від неї та через вихідне оптичне волокно 4 засвічує приймач випромінювання 9.

Електричний сигнал з виходу приймача випромінювання 9 підсилюється в підсилювачі 10 та надходить на другий вхід логічної схеми «І» 11. Одиничний імпульс із виходу логічної системи «І» 11 потрапляє на вхід двійкового реверсивного лічильника 12. До повного заповнення ємності рідиною двійковий реверсивний лічильник 12 буде працювати в режимі складання одиничних імпульсів, що забезпечується подачею із блока керування 13 сигналу по шині «+».

При зміні рівня рідини поплавок 6 по напрямним опускається по трубі 5 униз.

У цьому випадку волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини працює аналогічно, але двійковий реверсивний лічильник 12 працює в режимі віднімання одиничних імпульсів, що забезпечується подачею із блока керування 13 сигналу по шині «-».

Таким чином, запропонована волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини дає змогу спростити конструкцію та підвищити її надійність і технологічність.

4.2. Волоконно-оптичні системи вимірювання деформації залізобетонних конструкцій

У системах моніторингу залізобетонних конструкцій можуть широко застосовуватися волоконно-оптичні датчики деформацій.

З метою спрощення конструкції, підвищення технологічності датчика та розширення його функціональних можливостей порівняно з прототипом [99] запропоновано волоконно-оптичний датчик деформацій [100].

На рис. 4.4 зображено спрощену конструкцію волоконно-оптичного датчика деформації.

Волоконно-оптичний датчик для вимірювання деформації залізобетонної конструкції 1 містить у собі передавальний 2 та приймальні 3 оптичні волокна, світлодіод 4, n фотодіодів 5 (ФД), де n – кількість розрядів двійкового коду. Металева пластина 6 жорстко закріплена на залізобетонній конструкції 1. Вихідний торець передавального 2 оптичного волокна закріплено в отворі металевої пластини 6. Передавальне 2

оптичне волокно має достатній запас по довжині. Приймальні 3 оптичні волокна розміщені одне під одним у напрямку переміщення металеві пластини 6, а вихідні торці приймальних 3 оптичних волокон розкладені у отвори волоконно-оптичного перетворювача 7 для отримання інформації в n -розрядному двійковому коді.

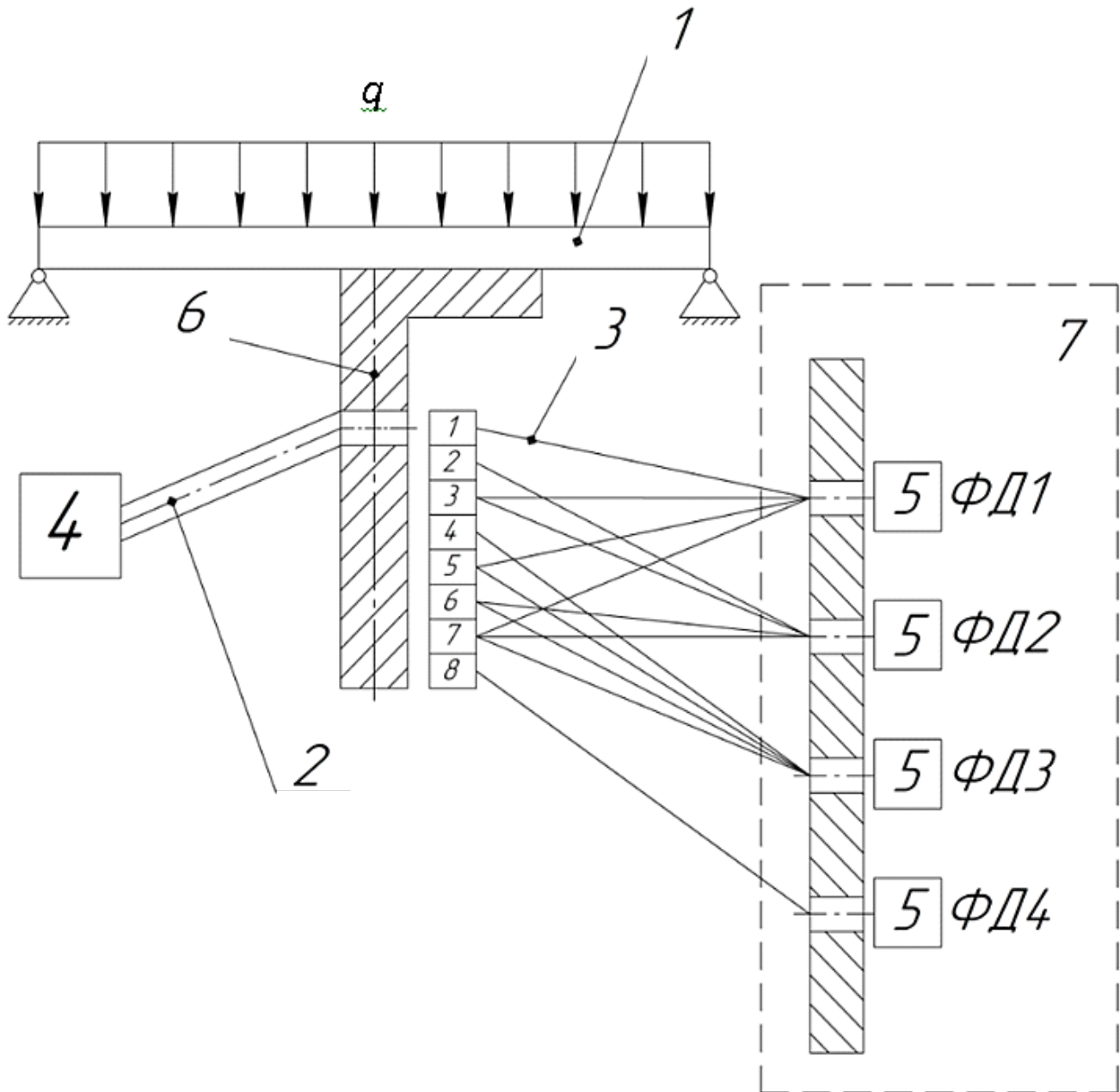


Рис. 4.4. Спрощена конструкція волоконно-оптичного датчика деформації

Волоконно-оптичний датчик деформації працює таким чином.

Деформація залізобетонної конструкції 1 спричиняє переміщення вниз металеві пластини 6. При цьому її отвір встановлюється навпроти

відповідного вхідного торця приймальних 3 оптичних волокон. Світловий потік від світлодіода 4 надходить по передавальному 2 оптичному волокну крізь отвір металевої пластини 6 на відповідний вхідний торець приймальних 3 оптичних волокон та засвічує відповідні фотодіоди 5 (ФД) волоконно-оптичного перетворювача 7. На виходах фотодіодів 5 формується двійковий код, який відповідає величині деформації залізобетонної конструкції 1.

Таким чином, запропонований волоконно-оптичний датчик деформації дає змогу спростити конструкцію та підвищити її технологічність, а також розширити функціональні можливості.

ВИСНОВКИ

У монографії вирішено важливе науково-практичне завдання аналізу й удосконалення волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин для інформаційно-вимірювальних систем.

Підсумком проведеної роботи стали такі результати:

1. Наведено основні терміни, які використовуються для опису волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин, та класифікацію цих перетворювачів.

2. Проаналізовано елементну базу волоконно-оптичних перетворювачів фізичних величин, а саме джерела та приймачі оптичного випромінювання, світлопровідні кабелі, кодові маски, волоконно-оптичні перетворювачі з цифровим виходом. Із джерел оптичного випромінювання розглянуто лазери і світлодіоди, а із приймачів – фоторезистори, фотодіоди, фототранзистори.

3. Запропоновано такі волоконно-оптичні перетворювачі для вимірювання фізичних величин: датчики тиску, кутових та лінійних переміщень, вібрацій, температури, вологості. Розроблені пристрої дають змогу підвищити чутливість і точність вимірювання, спростити конструкції, підвищити надійність, ремонтоздатність та технологічність їх виготовлення, розширити функціональні можливості та діапазон вимірювання.

Розроблені датчики фізичних величин захищені патентами України на корисну модель.

4. Запропоновано інформаційно-вимірювальні системи з волоконно-оптичними перетворювачами для вимірювання рівня рідини та моніторингу залізобетонних конструкцій, які захищені патентами України на корисну модель.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Датчики : справ. пособие / В. М. Шарапов, Е. С. Полищук, Н. Д. Кошевой, Г. Г. Ишанин, И. Г. Минаев, А. С. Совлуков ; под. ред. В. М. Шарапова, Е. С. Полищука. – М. : Техносфера, 2012. – 624 с.
2. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю : навч. посіб. / Є. Т. Володарський, В. В. Кухарчук, В. О. Поджаренко, Г. Б. Сердюк. – Вінниця : Велес, 2001. – 219 с.
3. Метрологія та вимірювальна техніка : підручник / Є. С. Поліщук, М. М. Дорожовець, В. О. Яцук, В. М. Ванько, Т. Г. Бойко ; за ред. проф. Є. С. Поліщука. – Львів : Бескид Біт, 2003. – 544 с.
4. Измерительные преобразователи : учеб. пособие / Р. Г. Джегупов, Е. Б. Плавинский, В. В. Никольский, А. М. Веретенник. – Одесса : Астропринт, 2002. – 216 с.
5. Інформаційні та вимірювальні системи: теорія і практика : посібник / Г. І. Хімичева, О. М. Величко, О. В. Іванченко, М. А. Долгов, А. С. Зенкін ; за заг. ред. проф. А. С. Зенкіна. – Київ : Основа, 2006. – 448 с.
6. Сусліков, Л. М. Первинні вимірювальні перетворювачі фізичних величин : навч. посіб. / Л. М. Сусліков, І. П. Студеняк. – Ужгород : Вид-во УжНУ, 2018. – 311 с.
7. Кошовий, М. Д. Проектування вимірювальних перетворювачів : навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл. / М. Д. Кошовий. – Харків : ФАКТ – Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2000. – 152 с.
8. Суворова, К. І. Джерела світла : навч. посіб. / К. І. Суворова, Л. Д. Гуракова. – Харків : ХНУМГ ім. Бекетова, 2021. – 110 с.
9. Афанасьєва, О. В. Оптичні вимірювання : навч. посіб. У 2 ч. Ч. 1 / О. В. Афанасьєва, Ю. С. Курський, О. М. Одаренко. – Харків : ХНУРЕ, 2021. – 180 с.
10. Чадюк, В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання : навч. посіб. У 2 кн. Кн. 1 / В. О. Чадюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – 376 с.
11. Кошовий, М. Д. Конструювання вузлів і приладів вимірювально-обчислювальних комплексів : навч. посіб. для студ. приладобудівних і радіотехнічних спеціальностей вищ. закл. освіти / М. Д. Кошовий. – Харків : ФАКТ – Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2000. – 179 с.
12. Кацуяма, Т. Инфракрасные волоконные световоды : пер. с англ. / Т. Кацуяма, Х. Мацумара. – М. : Мир, 1992. – 272 с.
13. Волоконно-оптические датчики / под ред. Э. Удда ; пер. с англ. И. Ю. Шкодиной. – М. : Техносфера, 2008. – 520 с.

14. Волоконно-оптические датчики / Т. Окоси, К. Окамото, М. Оцу и др.; пер. с яп. Г. Н. Горбунова. – Л. : Энергоатомиздат, 1991. – 255 с.

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

16. Пат. на корисну модель № 151595 Україна, МПК(2006.1) G01D 5/26. Волоконно-оптичний чутливий елемент для вимірювальних перетворювачів фізичних величин / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Г. В. Малкова, О. Т. Пилипенко. – № u202200102; заявл. 11.01.2022; опубл. 17.08.2022, Бюл. № 33.

17. Пат. на корисну модель № 121092 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/16. Волоконно-оптичний датчик фізичних величин / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко. – № u201705865; заявл. 12.06.2017; опубл. 27.11.2017, Бюл. № 22.

18. Пат. на корисну модель № 102140 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/16. Волоконно-оптичний датчик фізичних величин / С. М. Смішний, С. В. Барабан. – № u201502912; заявл. 30.03.2015; опубл. 26.10.2015, Бюл. № 20.

19. Мікроелектронні сенсори фізичних величин : наук.-навч. вид. В 3 т. Т. 3, кн. 2 / В. Вуйцік [та ін.]; за ред. З. Ю. Гонтри. – Львів : Ліга – Прес, 2007. – 367 с.

20. Кольцевые многоканальные волоконно-оптические преобразователи для оптических датчиков физических величин / В. Н. Шапарь, С. В. Свечников, В. Х. Ягнуров, В. И. Васильева // Функциональная компонентная база микро-, опто- и наноэлектроники : сб. науч. тр. III Междунар. науч. конф. – Харьков-Кацивели, 2010. – С. 224–229.

21. Пат. на корисну модель № 91917 Україна, МПК(2014.01) G01L 11/00, G01L 9/00. Спосіб вимірювання тиску / М. Д. Кошовий, Т. М. Макарюк, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова. – № u201400173; заявл. 13.01.2014; опубл. 25.07.2014, Бюл. № 14.

22. Пат. на корисну модель № 92188 Україна, МПК(2014.01) G01L 11/00, G01L 9/00. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. М. Макарюк, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова. – № u201400183; заявл. 13.01.2014; опубл. 11.08.2014, Бюл. № 15.

23. Пат. на корисну модель № 98866 Україна, МПК(2015.01) G01L 11/00. Спосіб вимірювання тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова, В. В. Ситник. – № u201412583; заявл. 24.11.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.

24. Пат. на корисну модель № 98865 Україна, МПК(2015.01) G01L 11/00. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова, В. В. Ситник. – № u201412582; заявл. 24.11.2014; опубл. 12.05.2015, Бюл. № 9.

25. Пат. на корисну модель № 101771 Україна, МПК(2015.01) G01L 23/00; МПК(2006.01) G01L 11/02, G01L 9/08. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В.О. Рожнова, В. В. Ситник, О. С. Чуйко.— № u201503945; заявл. 24.04.2015; опубл. 25.09.2015, Бюл. № 18.

26. Пат. на корисну модель № 102828 Україна, МПК(2015.01) G01L 11/02; МПК(2006.01) G01L 9/00, G01R 9/00. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова, О. С. Чуйко.— № u201503924; заявл. 24.04.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22.

27. Пат. 2420719 РФ, МПК G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / В. А. Гапанович, К. В. Григорьев, А. Ф. Комиссаров и др. — № 2010106417/28; заявл. 25.02.2010; опубл. 10.06.2011.

28. Пат. на корисну модель № 118842 Україна, МПК(2006.01) G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, О. В. Заболотний, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко. — № u201702850; заявл. 27.03.2017; опубл. 28.08.2017, Бюл. № 16.

29. Пат. на корисну модель № 124927 Україна, МПК(2006.01) G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко, Т. Г. Рожнова. — № u201711453; заявл. 23.11.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.

30. Пат. 2457453 РФ, МПК G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / В. И. Бусурин, М. А. Жеглов, А. В. Казарьян. — № 2010150855/28; заявл. 13.12.2010; опубл. 27.07.2012.

31. Пат. 2456563 РФ, МПК G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску з динамічно налагоджуваним діапазоном / В. И. Бусурин, М. А. Жеглов, Н. З. Звей, В. В. Коробков. — № 2010122460/28; заявл. 02.06.2010; опубл. 20.07.2012.

32. Пат. на корисну модель № 119363 Україна, МПК(2006.01) G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко, Т. Г. Рожнова. — № u201702823; заявл. 27.03.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

33. Пат. на корисну модель № 124929 Україна, МПК(2006.01) G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик з динамічно налагоджуваним діапазоном / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, О. В. Заболотний, О. М. Костенко, І. І. Кошова. — № u201711466; заявл. 23.11.2017; опубл. 25.04.2018, Бюл. № 8.

34. Пат. на корисну модель № 119447 Україна, МПК(2006.01) G01L 9/14. Дискретний датчик тиску / М. Ф. Смирний, А. П. Полив'янчук.— № u201703423; заявл. 10.04.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.

35. Пат. на корисну модель № 114158 Україна, МПК(2006.01) G01L 9/14. Дискретний датчик тиску / М. Ф. Смирний. — № u201610183; заявл. 06.10.2016; опубл. 27.02.2017, Бюл. № 4.

36. Пат. на корисну модель № 130046 Україна, МПК(2006.01) G01L 9/14. Датчик тиску / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, Т. Г. Рожнова, І. І. Кошова, О. М. Костенко. – № u201805138; заявл. 10.05.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22.

37. Пат. на корисну модель № 136505 Україна, МПК(2006.01) G01L 9/14. Датчик тиску / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, Т. Г. Рожнова, І. І. Кошова, О. М. Костенко. – № u201901508; заявл. 14.02.2019; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16.

38. Пат. на корисну модель №29600А Україна, МПК(2006.01) G01P 5/02, G01F 3/00. Опти-волоконний датчик тиску / В. В. Ушаков, О. А. Манський. – № 95073207; заявл. 10.07.1995; опубл. 15.11.2000, Бюл. № 6.

39. Пат. 2574227 РФ, МПК G01L 11/00. Волоконно-оптический датчик давления / А. И. Цаплин, В. Р. Каюмов; опубл. 10.02.2016, Бюл. № 4.

40. Пат. на корисну модель № 143765 Україна, МПК(2020.01) G01L 11/00. Волоконно-оптичний датчик тиску / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, В. В. Муратов, І. В. Ільїна. – № u20201348; заявл. 28.02.2020; опубл. 10.08.2020, Бюл. № 15.

41. Пат. на корисну модель № 146402 Україна, МПК(2021.01) G01L 11/00. Волоконно-оптичний датчик тиску / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, В. В. Муратов, В. А. Дергачов, І. І. Кошова. – № u202006323; заявл. 30.09.2020; опубл. 17.02.2021, Бюл. № 7.

42. Антонец, Е. В. Авиационные приборы и пилотажно-навигационные комплексы: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1 / Е. В. Антонец, В. И. Смирнов, Г. А. Федосеева. – Ульяновск : УВАУ ГА, 2007. – 119 с.

43. Пат. 2653596 РФ, МПК G01L 7/00. Датчик давления, использующий оптический метод преобразования информации / И. В. Антонец, Р. А. Борисов, Г. М. Горшков; опубл. 11.05.2018, Бюл. № 14.

44. Пат. на корисну модель № 147516 Україна, МПК(2021.01) G01L 7/00. Датчик тиску / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, В. П. Сіроклин, В. В. Муратов. – № u202100246; заявл. 25.01.2021; опубл. 12.05.2021, Бюл. № 19.

45. Пат. 2253850 РФ, МПК G01L 19/04, G01L 11/02. Волоконно-оптический датчик давления / Е. А. Бадеева, Т. И. Мурашкина, А. В. Гориш, А. Г. Пивкин; заявл. 23.06.2003; опубл. 10.06.2005, Бюл. № 16.

46. Пат. на корисну модель № 147962 Україна, МПК(2006.01) G01L 11/02, G01L 13/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, Г. В. Малкова. – № u202100401; заявл. 03.02.2021; опубл. 23.06.2021, Бюл. № 25.

47. Световодные датчики / Б. А. Красюк, О. Г. Семенов, А. Г. Шереметьев, В. А. Шестерик. – М. : Машиностроение, 1990. – 252 с.

48. Пат. 2290605 РФ, МПК G01L 19/04. Волоконно-оптический преобразователь перемещений / А. Г. Пивкин, Т. Г. Мурашкина, Е. А. Бадеева; опубл. 27.12.2006, Бюл. №36.

49. Пат. на корисну модель № 151594 Україна, МПК(2021.01) G02B 6/00; МПК(2006.01) G01L 11/02. Волоконно-оптичний датчик тиску / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Г. В. Малкова, О.Т. Пилипенко. – № u202200101; заявл. 11.01.2022; опубл. 17.08.2022, Бюл. № 33.

50. Кошовий, М. Д. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, І. І. Кошова, Т. Г. Рожнова // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка : зб. наук. пр. – Харків, 2014. – Вип. 165: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – С. 52–53. – Сер. Технічні науки.

51. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова, В. В. Ситник // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка : зб. наук. пр. – Харків, 2014. – Вип. 154: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – С. 66–67. – Сер. Технічні науки.

52. Кошевой, Н. Д. Сравнительный анализ волоконно-оптических датчиков давления / Н. Д. Кошевой, И. И. Кошечая, Т. Г. Рожнова // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали II Всеукр. наук.-техн. конф., 10–11 груд. 2015 р. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т» [та ін.]. – Харків, 2015. – С. 155–156.

53. Кошовий, М. Д. Волоконно-оптичні методи і пристрої для вимірювання тиску / М. Д. Кошовий, І. І. Кошова, Т. Г. Рожнова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2016. – № 4 (дод.) : Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті: Матеріали стенд. доп. та виступів учасників 29-ї Міжнар. наук.-практ. конф., Чорноморськ, 27–29 верес. 2016 р. – С. 23–24.

54. Кошовий, М. Д., Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, І. І. Кошова // Вісник Харків. нац. техн. ун-ту сільського господарства ім. Петра Василенка : зб. наук. пр. – Харків, 2017. – Вип. 187: Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – С. 70–71. – Сер. Технічні науки.

55. Датчики давления с цифровым выходом : монографія / Н. Д. Кошевой, Е. М. Костенко, И. И. Кошечая, Т. Г. Рожнова. – Харьков : ХАИ, 2017. – 108 с.

56. Волоконно-оптичні датчики тиску / М. Д. Кошовий, І. І. Кошова, О. М. Костенко, Т. Г. Рожнова // Датчики, прилади та системи – 2018: тези доп. VII Міжнар. наук.-техн. конф., присвяч. пам'яті проф. В. М. Шарапова, 17–21 верес. 2018р., Черкаси, Херсон, Лазурне / [Черкас. держ. техн. ун-т]. – Черкаси, 2018. – С. 67–69.

57. Кошовий, М. Д. Волоконно-оптичні датчики тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, І. І. Кошова // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2018. – № 4 (дод.): Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті : тези студ. доп. та виступів учасників 31-ї Міжнар. наук.-практ. конф. – С. 31–32.

58. Fiber-Optic Pressure Instrument Transducer / N. D. Koshevoy, O. V. Zabolotnyi, I. I. Koshevaya, V. V. Muratov, T. G. Rozhnova // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering – Synergetic Engineering. ICCM'2019: conf. proc., 28-30 Nov. 2019, Kharkov, Ukraine. – Cham: Springer, 2020. – P. 11-23. – (Advances in Intelligent Systems and Computing; Vol. 1113). – DOI: 10.1007/978-3-030-37618-5_2.

59. Волоконно-оптичні датчики тиску / М. Д. Кошовий, В. В. Муратов, Г. В. Малкова, О. М. Костенко, Т. Г. Рожнова // Збірн. пр. ІХ Міжнар. наук.-техн. конф., присвяч. пам'яті проф. В. М. Шарапова. Черкаси, Херсон, Лазурне. – Черкаси, 2021. – С. 33–35.

60. Fiber-Optic Pressure Sensors for Information-Measuring Systems / N. Koshevoy, O. Zabolotnyi, V. Siroklyn, O. Kostenko, T. Rozhnova, A. Bekirov // 2022 XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2022, 4 p. – DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9993056.

61. Пат. на корисну модель № 27040 Україна, МПК(2006) G01B 11/26. Фотоелектричний датчик кутового переміщення рульової поверхні літака / А. С. Оганесян, М. Д. Кошовий. – № u200706934; заявл. 20.06.2007; опубл. 10.10.2007, Бюл. № 16.

62. Пат. на корисну модель № 33044 Україна, МПК(2006) G01B 11/26. Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень / М. Д. Кошовий, О. Л. Бурлєєв. – № u200801273; заявл. 01.02.2008; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.

63. Пат. на корисну модель № 61840 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/26. Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень / М. Д. Кошовий, О. Л. Бурлєєв. – № u201102380; заявл. 28.02.2011; опубл. 25.07.2011, Бюл. № 14.

64. Пат. на корисну модель № 40489 Україна, МПК(2009) G01B 11/26. Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень / М. Д. Кошовий, М. В. Цеховський, О. Л. Бурлєєв. – № u200813330; заявл. 18.11.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 7.

65. Пат. на корисну модель № 114368 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/26. Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень / О. В. Заболотний, І. І. Кошова, М. Д. Кошовий. – № u201608593; заявл. 05.08.2016; опубл. 10.03.2017, Бюл. № 5.

66. Домрачев, В. Г. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений : справ. пособие / В. Г. Домрачев, В. Р. Матвиевский, Ю. С. Смирнов. – М. : Энергоатомиздат, 1987. – 392 с.

67. Пат. на корисну модель № 119374 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/26. Фотоелектричний перетворювач кутових переміщень / М. Д. Кошовий, О. В. Заболотний, В. А. Дергачов, О. М. Костенко, І. І. Кошова. – № u201702898; заявл. 27.03.2017; опубл. 25.09.2017, Бюл. № 18.
68. Пат. 2489679 РФ, МПК G01B 11/02, G01D 5/26. Волоконно-оптичний датчик переміщень / Ю. П. Казачков, О. В. Мельник. – № 2012110092/28, заявл. 16.03.2012; опубл. 10.08.2013, Бюл. № 22.
69. Пат. на корисну модель № 129946 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/26. Волоконно-оптичний датчик кутових переміщень / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко. – № u201803908; заявл. 11.04.2018; опубл. 26.11.2018, Бюл. № 22.
70. Кукушкин, А. Н. Разработка волоконно-оптического датчика угла наклона / А. Н. Кукушкин // Вестник Пензенского гос. ун-та. – 2021. – № 3. – С. 89–94.
71. Пат. на корисну модель № 153841 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/26. Волоконно-оптичний датчик кутових переміщень / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Куракін, А. В. Бичков, Н. Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u202300431; заявл. 07.02.2023, опубл. 07.09.23, Бюл. № 36.
72. Кошевой, Н. Д. Фотоэлектрический преобразователь для измерения угла поворота рулевой поверхности самолета / Н. Д. Кошевой, О. Л. Бурлеев // Інтегровані інтелектуальні робототехнічні комплекси. ІРТК'2013: VI Міжнар. наук.-практ. конф. : зб. тез, 27–29 трав. 2013 р./ М-во освіти і науки України, Нац. авіац. ун-т, Ін-т інформ.-діагност. систем. – Київ, 2013. – С. 77–78.
73. Кошовий, М. Д. Фотоелектричні перетворювачі кутових переміщень / М. Д. Кошовий, О. В. Заболотний, І. І. Кошова // Актуальні проблеми автоматики та приладобудування : матеріали I Міжнар. наук.-техн. конф., 7–8 грудня 2017 р./ М-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «ХПІ», Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т ім.Ігоря Сікорського» [та ін.]. – Харків, 2017. – С. 171–173.
74. Кошевой, Н. Д. Технологии измерения угловых перемещений для компьютерных систем контроля и управления : монография / Н. Д. Кошевой, О. Л. Бурлеев, Е. М. Костенко. – Харьков : ХАИ, 2019. – 104с.
75. Methods and Devices for Angular Measurement Movement / M. Koshevoy, A. Zabolotnyi, I. Koshevaya, E. Kostenko, T. Rozhnova, M. Tsekhovskoi, A. Bekirov // IEEE Metrology and Metrology Assurance. MMA'2020: XXX Intern. Scien. Symp., 7-11 Sept. 2020, Sozopol, Bulgaria. – [Sofia], 2020. – P.1–4. – DOI:10.1109/MMA 49863.2020.9254257.

76. Photoelectric measurement and Control Methods of Angular Displacement of the Aircraft Control Surfaces/ N. Koshevoy, O. Burlieiev, O. Zabolotnyi, O. Kostenko, I. Koshevaya, O. Potulchak // Integrated Computer Technologies in Mechanical Engineering. ICTM'2020: proceedings, 29-30 Oct., 2020, Kharkov, Ukraine. – Cham: Springer, 2021. – P.102-111. – (Lecture Notes in Networks and Systems. LNNS; vol. 188). DOI.org/ 10.1007.978-3-030-66717-7_9.

77. Measuring Transducers of Angular with Digital Output / N. Koshevoy, A. Bekirov, T. Rozhnova, V. Siroklyn, I. Koshevaya // 2022 XXXII International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance (MMA), 2022, 4 p. DOI: 10.1109/MMA55579.2022.9993422.

78. Пат. 2142116 С1, РФ, МПК G01B 11/14, G01D 5/26. Микрорезонаторный волоконно-оптический датчик линейных перемещений / В. Д. Бурков, А. В. Гориш, Ф. А. Егоров и др.– № 98117656/28; заявл. 17.09.98; опубл. 27.11.1999, Бюл. № 33.

79. Пат. на корисну модель № 152117 Україна, МПК(2006.01) G01B 11/14, G01D 5/26. Мікрорезонаторний волоконно-оптичний датчик лінійних переміщень / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Г. В. Малкова, О. Т. Пилипенко. – № u202106089; заявл. 01.11.2021; опубл. 02.11.2022, Бюл. № 44.

80. Пат. на корисну модель № 121093 Україна, МПК(2017.01) G01B 11/00. Оптоволоконний датчик / М. Д. Кошовий, В. А. Дергачов, І. І. Кошова, О. М. Костенко. – № u201705866; заявл. 12.06.2017; опубл. 27.11.2017, Бюл. № 42.

81. Пат. на корисну модель № 143766 Україна, МПК(2006.01) G01M 7/02. Датчик вібрацій / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, В. В. Муратов, І. В. Ільїна. – № u202001349; заявл. 28.02.2020; опубл. 10.08.2020, Бюл. № 15.

82. Пат. на корисну модель № 153842 Україна, МПК (2023.01) G01B 11/00. Оптоволоконний датчик / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Кураксін, А. В. Бичков, Н. Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u202300432; заявл.07.02.2023; опубл.07.09.23, Бюл. № 36.

83. Бурдышева, О. В. Амплитудный волоконно-оптический датчик вибраций / О. В. Бурдышева, И. Л. Никулин // Фотоника. – 2019. – Т.13, № 1. – С. 80–85.

84. Пат. 2749641 РФ, МПК G01P 15/06. Универсальный инерциальный волоконно-оптический акселерометр / Ю. А. Старков, И. Л. Дробот, А. В. Ямцов, А. М. Либо, В. И. Дудковский ; опубл. 16.06.2021, Бюл. № 17.

85. Пат. на корисну модель № 154961 Україна, МПК (2006.01) G01P 15/06. Волоконно-оптичний датчик / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Кураксін, А. В. Бичков, Н. Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u202300433; заявл.07.02.2023; опубл. 10.01.24, Бюл. № 2.

86. Луцик, Я. Т. Вимірювання температури : теорія та практика / Я. Т. Луцик, О. П. Гук, Б. І. Стадник. – Львів : Бескид Біт, 2006. – 56 с.

87. Пат. на корисну модель № 102834 Україна, МПК(2006.01) G01K 11/32. Волоконно-оптичний датчик температури / М. Д. Кошовий, В. В. Ситник, З. Є. Чистікова. – № u201504002; заявл. 27.04.2015; опубл. 25.11.2015, Бюл. № 22.

88. Пат. на корисну модель № 55106 Україна, МПК G01K 7/01, G01K 5/00. Біметалевий датчик температури / В. К. Гусельников, О. В. Гусельников. – № u201004949; заявл. 26.04.2010; опубл. 10.12.2010, Бюл. № 23.

89. Мурашкина, Т. И. Разработка волоконно-оптического датчика температуры и влажности на основе спиральной пружины / Т. И. Мурашкина, М. М. Савочкина // Актуальные направления научных исследований XXI века : теория и практика : сб. науч. тр. по материалам Междунар. заоч. науч.-практ. конф., 2015. – № 7. – С. 245–248.– DOI: 10.12737/15026.

90. Пат. на корисну модель модель № 155266 Україна, МПК G01K 7/01, G01K 5/00. Волоконно-оптичний датчик температури / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Кураксін, А. В. Бичков, Н. Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u202302099; заявл. 03.05.2023; опубл. 07.02.2024, Бюл. № 6.

91. 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.

92. 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.

93. 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.

94. 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.

95. 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, оубл.07.09.23, Бюл. № 36.

96. Назарова, И. Т. Модернизированная волоконно-оптическая система измерения уровня жидкости / И. Т. Назарова, Д. И. Серебряков, Т. Ю. Брустилова, Т. И. Мурашкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 4. – С. 54–59.

97. Пат. на корисну модель № 152268 Україна, МПК(2006.01) G01F 23/22. Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, О. Т. Пилипенко, Г. В. Малкова, О. У. Дрожчана. – № u202201323; заявл. 22.04.2022; опубл. 11.01.2023, Бюл. № 2.

98. Пат. на корисну модель № 155846 Україна, МПК G01F 23/22. Волоконно-оптична система вимірювання рівня рідини / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, Д. В. Кураксін, А. В. Бичков, Н. Є. Ковшар, О. В. Світличний. – № u202302100; заявл. 03.05.2023; опубл. 17.04.2024, Бюл. № 15.

99. Брустилова, Т. Ю. Волоконно-оптический датчик деформаций / Т. Ю. Брустилова, С. А. Брустилов, Т. И. Мурашкина // Надежность и качество сложных систем. – 2013. – № 1. – С. 93–99.

100. Пат. на корисну модель № 154907 Україна, МПК (2023.01) G01B 11/00; G02B 6/00. Волоконно-оптичний датчик деформації / О. М. Костенко, М. Д. Кошовий, О. Т. Пилипенко, Г. В. Малкова, О. У. Дрожчана. – № u202301474; заявл. 09.05.2022; опубл. 03.01.2024, Бюл. № 1.

Наукове видання

**Кошовий Микола Дмитрович
Костенко Олена Михайлівна
Павлик Ганна Володимирівна
Світличний Олександр Володимирович**

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Редактор Н. В. Мазепа

Зв. план, 2024

Підписано до друку 12.06.2024

Формат 60×84 1/16. Папір офс. Офс. друк

Ум. друк. арк. 5,2. Обл.-вид. арк. 5,81. Наклад 300 пр.

Замовлення Ціна вільна

Видавець

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»
61070, Харків-70, вул. Чкалова, 17
<https://www.khai.edu>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 391 від. 30.03.2001

Виготовлювач

Полтавський державний аграрний університет
36003, Полтава, вул. Сковороди, 1/3
<https://www.pdau.edu/ua>

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів
видавничої продукції сер. ДК № 2174 від. 26.04.2005