



DOI 10.28925/2663-4023.2025.28.851

УДК 004.94

Гаджисв Матін Магсуд-огли

д.т.н., проф., каф. «Інженерії програмного забезпечення»

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, Україна

ORCID ID: 0000-0001-7280-3863

gadjievmm@ukr.net**Мансуров Тофіг Магомед-огли**

д.т.н., проф., каф. «Радіотехніки та телекомунікації»,

Технічний університет, Баку, Азербайджан

ORCID ID: 0000-0002-2669-7067

tofiq-mansurov@rambler.ru**Назаренко Олександр Аскольдович**

к.ф.-м.н., доц., каф. «Кібербезпеки та технічного захисту інформації»

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, Україна

ORCID ID: 0000-0002-0187-0791

duitz.od@gmail.com**Русаловська Тетяна**

аспірант каф. «Інженерії програмного забезпечення»

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, Україна

ORCID ID: 0009-0000-2257-7255

tata_kov@ukr.net**Керімова Майя**

аспірант каф. «Енергетики»,

Азербайджанський державний університет нафти та промисловості,

Баку, Азербайджан

ORCID ID: 0000-0003-4932-7031

mayakerimova1971@gmail.com

ПОБУДОВА ТА АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ФАКТУ ТА ПАРАМЕТРІВ НЕСАНКЦІОНОВАНОГО ДОСТУПУ

Анотація: Зазначено, що часто виникає необхідність відгалуження частини вихідної потужності джерела оптичного випромінювання від основного каналу передачі з метою контролю, вимірювання або отримання сигналу зворотного зв'язку, призначеного для керування рівнем вихідної потужності джерела оптичного випромінювання, а також для розділення або об'єднання потоку оптичного випромінювання. На основі аналізу існуючих робіт розроблено багатофункціональний волоконно-оптичний датчик, який дозволяє підключити один з оптичних передавальних модулів з низьким коефіцієнтом загасання, здійснювати зняття інформації, що відповідає рівню розгалуженого оптичного випромінювання, визначати факт та масу об'єкта несанкціонованого проникнення в залежності від інтенсивності розгалуженого оптичного випромінювання та автоматично регулювати вихідну потужність розгалуженого оптичного випромінювання по ланцюгу зворотного зв'язку.

Ключові слова: волоконний світловод; вигиноутворювач; датчик; оптичне випромінювання; демультіплексор; оптичний передавальний модуль; коефіцієнт жорсткості; коефіцієнт ослаблення; маса.

ВСТУП

На даний час відомо багато пасивних компонентів волоконно-оптичних ліній зв'язку, кожен з яких виконує певні функції. Але в процесі експлуатації волоконно-оптичних ліній зв'язку виникають проблеми, вирішення яких потребує комплексного підходу до визначення режиму роботи багатфункціонального волоконно-оптичного датчика. До таких проблем можна віднести автоматичне регулювання рівня розгалуженого оптичного випромінювання шляхом зміни напруги на виході джерела живлення, несанкціоноване отримання інформації шляхом отримання електричних імпульсів, що відповідають рівню розгалуженого оптичного випромінювання, визначення факту та маси об'єкту несанкціонованого проникнення та, в залежності від рівня розгалуженого оптичного випромінювання, підключення одного з оптичних передавальних модулів з низьким коефіцієнтом загасання волоконно-оптичного світловоду і тим самим розширення функціональних можливостей.

У зв'язку з цим постає проблема розробки багатфункціонального волоконно-оптичного сенсора, а в якості чутливого елемента обрати волоконний світловод з найбільшою чутливістю до вигинів.

Метою даної роботи є розробка багатфункціонального волоконно-оптичного датчика, що дозволяє здійснювати автоматичне регулювання рівня розгалуженого оптичного випромінювання шляхом зміни напруги на виході джерела живлення, несанкціоноване зняття інформації шляхом отримання електричних імпульсів, що відповідають рівню розгалуженого оптичного випромінювання, визначати факт та масу об'єкта несанкціонованого проникнення та в залежності від рівня розгалуженого оптичного випромінювання підключати один з оптичних передавальних модулів з низьким коефіцієнтом ослаблення волоконно-оптичного світловоду і тим самим розширити функціональні можливості.

РОЗРОБКА БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА

На рис. 1 показана схема багатфункціонального волоконно-оптичного датчика. Він складається з формувача вигину та пристрою керування режимом роботи датчика [1] – [5].

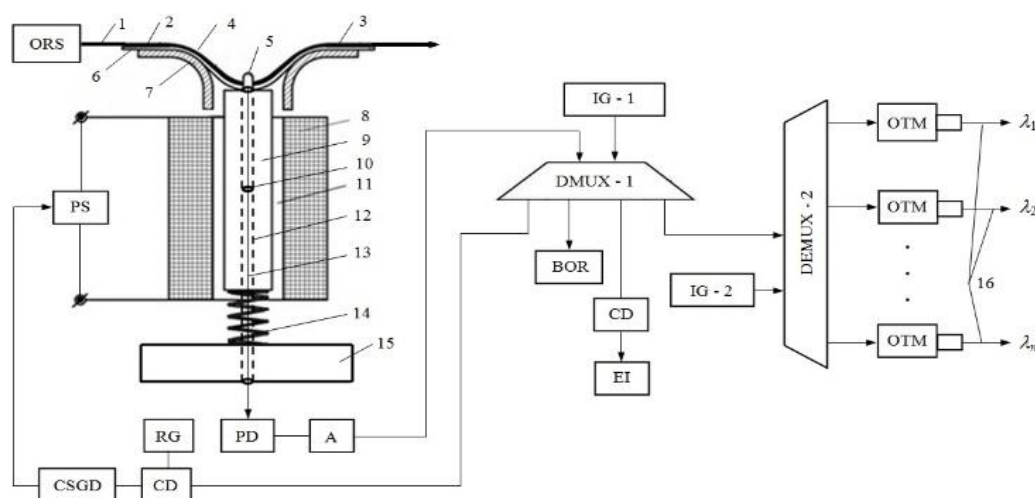


Рис. 1. Принципова схема багатфункціонального волоконно-оптичного датчика



В свою чергу, формувач вигину багатофункціонального волоконно-оптичного датчика містить перший волоконно-оптичний світловод -1 з серцевиною та відбивною оболонкою, що має першу -2 та другу -3 прямолінійну ділянку, ділянку з вигином -4, виконану по заданому радіусу, тримач вигину першого волоконно-оптичного світловода -5, фіксатор -6, направляючу планку для створення вигину -7, магнітну котушку -8, стрижень -9, фокусуючу лінзу -10, діелектричне середовище -11 з лійкоподібним отвором -12 з прозорого матеріалу для пропускання розгалуженого оптичного випромінювання, другий світловод -13 для пропускання розгалуженого оптичного випромінювання, пружину -14, опору для закріплення формувача вигину -15, третій волоконно-оптичний світловод -16, а пристрої керування режимами роботи багатофункціонального волоконно-оптичного датчика містять джерело оптичного випромінювання (ДОВ), блок живлення (БЖ) з плавною зміною вихідної напруги, фотоприймач (ФП), підсилювач (П), перший демультиплексор (ДМУ-1), перший генератор імпульсів (ГІ-1), приймач розгалуженого оптичного випромінювання (ПРВ), обчислювальний пристрій (ОП), пристрої порівняння (ПП), пристрій формування керуючих сигналів (ПФК), другий демультиплексор (DMUX-2), другий генератор імпульсів (ГІ-2), оптичні передавальні модулі (ОПМ) з різними довжинами хвиль і з відповідними вихідними оптичними роз'ємами (ОР) для підключення третього світловоду.

Джерело оптичного випромінювання генерує оптичне випромінювання потужністю 1,0 мВт на довжинах хвиль 650, 850, 1300, 1310, 1490, 1550 і 1625 нм, які використовуються для передачі інформації та контролю, вимірювання або отримання сигналу зворотного зв'язку, призначеного для управління напругою джерела живлення [1], [2], [6]. Формувач вигину створює вигини в першому волоконному світловоді діаметром від 5,0 мм до 60 мм. Якщо вихідна потужність джерела оптичного випромінювання становить 0 дБм (1,0 мВт), а ефективність (-13 дБ) багатофункціонального волоконно-оптичного датчика, то втрати на вигині першого світловоду становлять Це означає, що для формування каналу відгалуження потужності джерела оптичного випромінювання в першому світловоді необхідно сформувати вигин діаметром менше 60 мм.

ПРИНЦИП РОБОТИ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОГО ДАТЧИКА

Багатофункціональний волоконно-оптичний датчик працює наступним чином [2] – [4], [6].

Перед початком роботи датчика формувач вигину знаходиться в початковому стані і не створює вигину в першому волоконному світловоді, а отже, не відбувається розгалуження оптичного випромінювання. З виходу джерела оптичного випромінювання оптичне випромінювання з певною довжиною хвилі та інтенсивністю передається на вхід першого світловоду.

При цьому розроблений багатофункціональний волоконно-оптичний сенсор працює в 4 режимах [7] – [10].

1. Режим автоматичного регулювання рівня вихідної напруги джерела живлення за допомогою ланцюга зворотного зв'язку.
2. Режим несанкціонованого зняття інформації, що відповідає рівню розгалуженого оптичного випромінювання.



3. Режим визначення факту та маси об'єкта несанкціонованого проникнення в трубогіб в залежності від інтенсивності розгалуженого оптичного випромінювання.
4. Режим підключення одного з оптичних передавальних модулів з низьким коефіцієнтом ослаблення третього волоконного світловоду в залежності від рівня розгалуженого оптичного випромінювання. Відповідно до режимів роботи багатофункціонального волоконно-оптичного датчика деякі з виконуваних операцій повторюються і є наступними [2] – [5], [11] – [13].

Залежно від зусилля притискання на формувачі вигину першого світловоду до V-подібного паза відбувається розгалуження оптичного випромінювання з відповідною інтенсивністю. Розгалужене оптичне випромінювання фокусується лінзою, розташованою всередині воронкоподібного отвору діелектричного середовища з прозорого матеріалу, і передається на вхід фотоприймача. Фотоприймач перетворює оптичне випромінювання у відповідні електричні імпульси, які підсилюються підсилювачем. З виходу підсилювача імпульси подаються на перший вхід першого демультиплексора.

Режим 1. Режим автоматичного регулювання рівня вихідної напруги джерела живлення за допомогою ланцюга зворотного зв'язку.

При цьому з виходу першого генератора імпульсів на другий вхід першого демультиплексора подається один імпульс, під впливом якого на першому виході першого демультиплексора формується імпульс. Цей імпульс надходить на вхід пристрою порівняння, на другий вхід якого надходить імпульс з виходу опорного генератора. Амплітуди цих двох імпульсів порівнюються пристроєм порівняння, на виході якого отримується різниця амплітуд цих двох імпульсів, а отримана різниця передається на вхід пристрою формування керуючого сигналу. При порівнянні амплітуди цих двох імпульсів можливі три випадки:

Приклад 1. При де $U_{dmux1} - U_{et} < 0$, U_{dmux1} – напруга на першому виході першого демультиплексора; U_{et} – значення напруги на виході опорного генератора.

При цьому з виходу пристрою порівняння на вхід пристрою формування керуючого сигналу подається сигнал з від'ємною амплітудою на керуючий вхід джерела живлення і значення вихідної напруги збільшується до значення U_{et} . При цьому зі збільшенням напруги, що подається на вхідні клеми обмотки магнітопроводу формувача вигину, збільшується значення електричного струму, що протікає через обмотки магнітопроводу, що призводить до виникнення магнітного поля в обмотках магнітопроводу. Під дією магнітного поля стрижень плавно втягується вниз через отвір, виконаний у вигляді воронки, з відповідним зусиллям притискає вниз пружину, прикріплену з одного боку до нижньої частини стрижня, а з іншого - до опори, і перший волоконний світловод, прикріплений до верхньої частини стрижня за допомогою згинального тримача для створення вигину, також втягується вниз через отвір у вигляді воронки вздовж направляючої планки. Після досягнення необхідного значення вихідної напруги рух стрижня вниз через отвір припиняється.

Випадок 2. У цьому випадку $U_{dmux1} - U_{et} = 0$. сигнал з виходу пристрою порівняння на вхід пристрою формування керуючого сигналу не надходить, а напруга на виході джерела живлення залишається незмінною.

Випадок 3. У цьому випадку $U_{dmux1} - U_{et} > 0$. з виходу пристрою порівняння сигнал з позитивною амплітудою подається на вхід пристрою формування керуючого сигналу, з



виходу якого сигнал подається на керуючий вхід джерела живлення, і під впливом цього сигналу значення вихідної напруги зменшується до величини U_{et} .

При цьому зі зменшенням величини напруги, що подається на вхідні клеми обмотки магнітопроводу згинального формувача, зменшується величина електричного струму, що протікає по обмотках магнітопроводу, що призводить до зменшення величини магнітного поля в обмотках магнітопроводу. Тому під дією магнітного поля стрижень плавно піднімається вгору по отвору, виконаному у вигляді воронки, з відповідним зусиллям притискає вгору пружину, закріплену з одного боку до нижньої частини стрижня, а з іншого боку до опори і перший волоконний світловод, закріплений на верхній частині стрижня згинаючим тримачем для створення вигину, також піднімається вгору по отвору у вигляді воронки з направляючою планкою. При досягненні необхідного значення вихідної напруги рух стрижня вгору по отвору припиняється.

Режим 2. Режим несанкціонованого зняття інформації, що відповідає рівню розгалуженого оптичного випромінювання.

У цьому випадку з виходу першого генератора імпульсів на другий керуючий вхід першого демультиплексора подаються два імпульси, під впливом яких на другому виході першого демультиплексора формується імпульс. Під впливом цього імпульсу починає працювати приймач розгалуженого оптичного випромінювання і відбувається процес несанкціонованого зняття інформації шляхом отримання електричних імпульсів, що відповідають рівню розгалуженого оптичного випромінювання.

Режим 3. Режим визначення факту та маси об'єкту несанкціонованого проникнення на згинача в залежності від інтенсивності розгалуженого оптичного випромінювання.

Під впливом несанкціонованого проникнення об'єкта з певною масою на згинач, перший світловод згинається і відбувається процес розгалуження оптичного випромінювання, що передається через перший світловод. Розгалужене оптичне випромінювання передається через другий світловод на вхід фотоприймача. Фотоприймач перетворює розгалужене оптичне випромінювання в електричні імпульси, які підсилюються підсилювачем. З виходу підсилювача імпульси подаються на перший вхід першого демультиплексора, а з виходу першого генератора імпульсів три імпульси подаються на другий вхід першого демультиплексора. Потім на третьому виході першого демультиплексора з'являється імпульс і подається на вхід обчислювального пристрою, з виходу якого на вхід електронного індикатора.

Зв'язок між ослабленням $\Delta\alpha$ і масою об'єкта несанкціонованого проникнення m визначається наступним виразом [7]:

$$\Delta\alpha = (m \cdot g) / k, \quad (1)$$

де 1 — маса несанкціонованого проникаючого об'єкта, що діє на вигиноутворювач багатофункціонального волоконно-оптичного датчика; 2 — прискорення сили тяжіння; 3 — коефіцієнт жорсткості пружини.

Жорсткість — це характеристика пружних властивостей пружини вигиноутворювача, яка деформується. Жорсткість розглядається як здатність пружини чинити опір зовнішній силі, здатність зберігати свої геометричні параметри. Чим більша жорсткість пружини, тим менше вона змінює свою довжину під дією заданої сили. Коефіцієнт жорсткості є основним показником жорсткості.

Коефіцієнт жорсткості пружини багатофункціонального волоконно-оптичного датчика визначається за такою послідовністю.

Сила, яка виникає в результаті деформації колишньої пружини під дією маси несанкціонованого проникнення об'єкта і яка намагається повернути її в початковий

стан, називається силою пружності $\vec{F}_e$. Сила пружності з'являється тільки при деформації пружини згинача і зникає, якщо припиняється вплив маси несанкціонованого предмета, що проникає. Якщо після зняття зовнішнього навантаження на згинач він повністю відновлює свою попередню форму, то така деформація називається пружною. Розглянемо процес деформації пружини згинача під дією маси стороннього предмета, на яку діє стискаюча деформуюча сила $\vec{F}$, яка спрямована вертикально вниз (рис. 2).

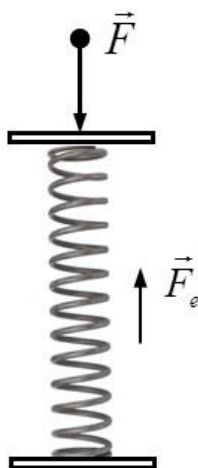


Рис. 2. Діаграма деформування під дією маси несанкціонованого проникаючого предмета на пружини згибоутворювача

Під дією деформуючої сили довжина пружини вигиноутворювача зменшується і, як наслідок, у пружині з'являється пружна сила $\vec{F}_e$, яка врівноважує силу $\vec{F}$. Якщо деформація невелика і пружна, то вкорочення довжини пружини вигиноутворювача (Δl) прямо пропорційне деформуючому зусиллю:

$$\vec{F} = k \cdot \Delta l, \quad (2)$$

де коефіцієнт пропорційності називається коефіцієнтом жорсткості пружини або коефіцієнтом пружності. Коефіцієнт жорсткості пружини формувача залежить від матеріалу, з якого виготовлена пружина, та її геометричних характеристик. Наприклад, коефіцієнт жорсткості крученої циліндричної пружини, навитої з дроту круглого перерізу, що піддається пружній деформації вздовж своєї осі, можна розрахувати як [7]:

$$k = \frac{Gd^4}{8d_p^3 n}, \text{ N/m} \quad (3)$$

де G – модуль зсуву (величина, що залежить від матеріалу); d – діаметр дроту; d_p – діаметр витка пружини; n – кількість витків пружини, що згинається.

Коефіцієнт жорсткості дорівнює величині сили, яку необхідно прикласти до пружини згинача, щоб змінити її довжину на одиницю відстані.

Використовуючи вираз (1), зв'язок між масою m , що діє на волоконно-оптичний датчик, і загасанням a , яке при цьому створюється, можна визначити за такою формулою:

$$m = (\Delta a \cdot k) / g. \quad (4)$$

Після того, як величина зміни загасання Δa відома, на виході електронного реєструючого пристрою, який виконує математичні операції згідно з виразом (2), виходить значення фізичної величини, пропорційне проникаючій масі m , яке передається на вхід електронного індикатора, шкала якого відкалібрована пропорційно масі m . Відлік

на шкалі електронного індикатора пропорційний масі, що дає можливість визначити масу m , яка здійснює несанкціоноване проникнення в об'єкт.

Режим 4. Режим підключення одного з оптичних передавальних модулів з низьким коефіцієнтом ослаблення третього волоконного світловоду в залежності від рівня розгалуження оптичного випромінювання.

При цьому з виходу другого генератора імпульсів подається один імпульс на другий керуючий вхід другого демультиплексора, під впливом якого на першому виході другого демультиплексора формується імпульс, що передається на вхід першого оптичного передавального модуля, під впливом якого перший оптичний передавальний модуль вибирається і підключається до роботи. При цьому на відповідному виході другого демультиплексора з'являється імпульс, під впливом якого вибирається і підключається відповідний оптичний передавальний модуль.

Таким чином, в залежності від амплітуди різниці імпульсів відбувається автоматичне регулювання вихідної потужності джерела живлення, тобто виконується або процес збільшення, або процес зменшення, або без зміни вихідної потужності джерела живлення.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

В результаті проведених досліджень були отримані залежності загасання оптичного випромінювання в оптичному волокні (α , дБ) в залежності від радіуса його вигину (R , мм) для різних типів оптичних волокон. На рис. 3 наведено залежності загасання сигналу оптичного випромінювання від радіуса вигину при довжині хвилі оптичного випромінювання 1310 нм.

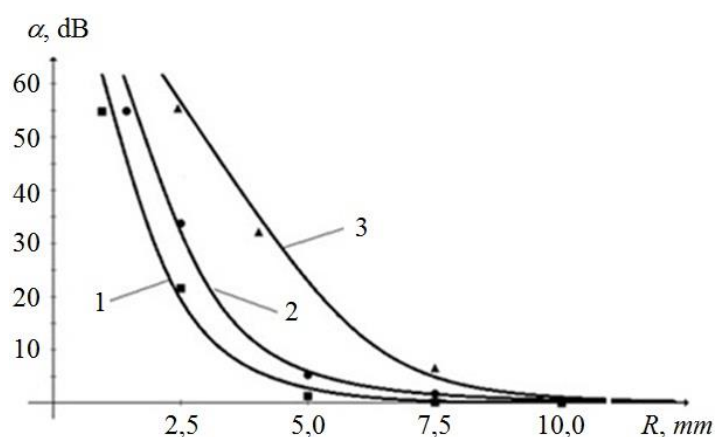


Рис. 3. Залежність загасання сигналу оптичного випромінювання в першому волоконному світловоді від радіуса вигину

1 — волоконний світловод G657; 2 — волоконний світловод G652; 3 — волоконний світловод G655.

Як видно з отриманих залежностей, зменшення радіуса вигину (R , мм) призводить до збільшення загасання оптичного випромінювання у волоконному світловоді (α , дБ). Це пов'язано з тим, що у вигнутій частині світловоду центр модової плями зміщується відносно його осі на певну величину, яка залежить від радіуса вигину. У місці переходу прямої частини світловода до вигнутої відбувається зсув модової плями, в результаті чого тільки частина потужності моди серцевини прямої частини світловода передається



в серцевину вигнутої частини, а інша частина цієї потужності переходить в моду оболонки і в кінцевому підсумку поглинається. Величина зсуву залежить від діаметра модової плями і збільшується зі збільшенням довжини хвилі. Діаметр модової плями зменшується зі зменшенням довжини хвилі сигналу оптичного випромінювання, а зі збільшенням довжини хвилі збільшується та частина потужності основної моди, яка переходить в моди оболонки. Таким чином, зі зменшенням радіуса (R , мм) розгалужена частина сигналу оптичного випромінювання, що виходить за межі серцевини, збільшується і, отже, в місці вигину світловоду може змінитися показник заломлення серцевини світловоду, що призводить до відбиття частини потужності сигналу оптичного випромінювання в точці зміни показника заломлення.

Для різних типів волоконно-оптичних світловодів необхідно формувати різні радіуси вигину (R , мм), щоб отримати однакове значення ослаблення оптичного випромінювання (α , дБ). Це пов'язано з тим, що досліджувані типи оптичних волокон мали різні структури та різні діаметри серцевини.

Зауважимо, що для інших довжин хвиль сигналу оптичного випромінювання ці залежності будуть подібними. Збільшення довжини хвилі сигналу оптичного випромінювання призводить до зменшення радіуса вигину волоконно-оптичного світловода, при якому спостерігається таке ж ослаблення сигналу оптичного випромінювання. Ці висновки підтверджуються експериментальними даними, представленими в табл. 1.

Таблиця 1

Експериментальні дані

Тип оптоволоконног о кабелю	Довжина хвилі, nm	Радіус вигину, мм		
		Ослаблення оптичного випромінювання 30 дБ	Ослаблення оптичного випромінюванн я 60 дБ	Ослаблення оптичного випромінювання 80 дБ
G652	1310	2,7	2,3	2,2
	1490	3,4	2,7	2,5
	1550	3,8	3,0	2,8
	1625	4,0	3,1	2,8
G655	1310	5,2	4,5	4,2
	1490	5,6	5,0	4,7
	1550	5,9	5,0	4,7
	1625	6,5	5,2	4,8
G657	1310	2,4	<2	< 2
	1490	2,5	<2	<2
	1550	3,0	<2	< 2
	1625	3,3	2,4	2,2

Як видно з отриманих експериментальних даних щодо ослаблення оптичного випромінювання залежно від довжин хвиль та типу оптичних волокон, наведених у таблиці 1, найменший радіус вигину, при якому досягається задане значення ослаблення сигналу оптичного випромінювання у волоконно-оптичному світловоді, відповідає довжині хвилі 1310 нм, а найбільший радіус — довжині хвилі 1650 нм.

Таким чином, значення радіуса (R , мм) вигину залежить від типу волоконно-оптичного світловода. Так, найбільше значення радіуса (R), для якого досягається задане значення ослаблення оптичного випромінювання (D , дБ), спостерігається для волоконно-оптичного світловода G655, а найменше — для G657 на всіх довжинах хвиль



оптичного випромінювання. Крім того, експериментально встановлено, що на виході волоконно-оптичного відгалужувача передається менше 50% вихідної потужності сигналу оптичного випромінювання, а основна частина вихідної потужності передається на прямий вихід 2. При значенні вихідної потужності 0 дБм (1,0 мВт) джерела сигналу оптичного випромінювання, що передається через волоконно-оптичний відгалужувач, та коефіцієнті корисної дії волоконно-оптичного відгалужувача близько 5% (-13 дБ), втрати на вигин волоконно-оптичного волокна становлять приблизно 1,0 дБ. Це означає, що для формування каналу для розгалуження потужності оптичного випромінювання у волоконно-оптичному волокні може бути сформований вигин діаметром у діапазоні від 5 мм до 60 мм.

ВИСНОВОК

Таким чином, введення діелектричного середовища з лійкоподібним отвором з прозорого матеріалу для передачі розгалуженого оптичного випромінювання та лінзи, розташованої всередині лійкоподібного отвору діелектричного середовища навпроти ділянки з вигином, другого оптичного волокна для передачі розгалуженого оптичного випромінювання, фотодетектора, підсилювача, демультиплексора, генератора керуючих імпульсів, оптичного передавального модуля, приймача розгалуженого оптичного випромінювання, обчислювального пристрою, електронного індикатора, пристрою порівняння, генератора опорної напруги, пристрою формування керуючого сигналу дозволяє забезпечити режими підключення одного з оптичних передавальних модулів з низьким коефіцієнтом ослаблення волоконно-оптичного світловода залежно від рівня розгалуженого оптичного випромінювання, зчитування інформації, що відповідає рівню розгалуженого оптичного випромінювання, визначення факту та маси об'єкта несанкціонованого проникнення на генераторі вигину залежно від інтенсивності розгалуженого оптичного випромінювання та автоматичне регулювання рівня вихідної потужності джерела живлення через схему зворотного зв'язку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Agrawal, G. (2019). *Nonlinear Fiber Optics*. 6th ed. Elsevier Science.
2. Recommendation ITU-T G.657 (11/2016) Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fiber and cable. Geneva. (2017).
3. Mansurov, T.M., Yusifbayli, N.A., Jebailova, S.A., & Mansurov, E.T. (2023). Fiber optic sensor. Intellectual Property Agency of the Republic of Azerbaijan. Patent No. İ 2023 0101. Baku.
4. Mansurov, T.M., Zenevich, A.O., Dzhebrailova, S.A., Mamedov, R.S., & Mansurov, E.T. (2023). Fiber-optic coupler. Intellectual Property Agency of the Republic of Azerbaijan. Patent No. İ 2024 0015. Baku.
5. Hajiyeve, M.M., Bagachuk, D.G., Nazarenko, O.A., Odegov, M.A., & Stepanov, D.M. (2023). Multiplex method of data transmission in residual class systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/9(126), 23–32.
6. Yatskiv, V.V. (n. d.). Method for increasing the reliability of data transmission in wireless sensor networks based on the system of residual classes. *Radioelectronics and Informatics: Scientific and Technical Journal*, 2, 30–33.
7. Ren, L. (2014). Design and experimental study of FBG hoop strain sensor for pipeline monitoring. *Fiber Optic Technology*, 20(1), 15–23.
8. Li, L. (2014). Design of high-sensitivity FBG strain sensor and its application in highway bridge construction. *Photonic Sensors*, 4(2), 162–167.
9. Chen, W., et al. (2015). Performance evaluation of FBG temperature sensors for laser tumor ablation. *IEEE Intern. Symp. on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, 324–328.



10. Li, L. (2014). Development of a high sensitivity FBG strain sensor and its application in highway bridge construction. *Photonic Sensors*, 4(2), 162–167.
11. Mamidi, V.R. et al. (2014). High temperature sensor based on fiber Bragg gratings and its low-cost, high-resolution interrogation system. *Optica Applicata*, 44(2), 299–308.
12. Zhang, H., Ouyang, S., Jiang, J., Wang, S., & Wang, Y. (2023). Research on address calibration technology for triple optical computer decoder. *Optik*, 293, 171263. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.171263>
13. Kai, S., Zhenxing, W., Jinliang, Z., Liping, Y. (2022). Research and application of error correction theory for a ternary optical computer based on the Heminge code, *Optik*, 267, 169647. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169647>

**Matin Hadzhyiev**

Dr. Habil., Prof.

State University of Intellectual Technologies and Communication, Odesa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-7280-3863

gadjievmm@ukr.net**Mansurov Tofiq Magomed-oglu**

Dr. Habil., Prof.

Technical University, Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0000-0002-2669-7067

tofiq-mansurov@rambler.ru**Aleksander Nazarenko**

Ph.D., Ass. Prof.

State University of Intellectual Technologies and Communication, Odesa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0002-0187-0791

duitz.od@gmail.com**Tetiana Rusalovska**

Postgraduate student of the department. "Software Engineering"

State University of Intellectual Technologies and Communications, Odesa, Ukraine

ORCID ID: 0000-0000-0000-0000

tata_kov@ukr.net**Maya Kerimova**

Postgraduate student of the Dept. "Power Engineering",

Azerbaijan State University of Oil and Industry,

Baku, Azerbaijan

ORCID ID: 0000-0000-0000-0000

mayakerimova1971@gmail.com

CONSTRUCTION AND ASPECTS OF APPLICATION OF A MULTIFUNCTIONAL FIBER-OPTIC SENSOR FOR DETERMINING THE FACT AND PARAMETERS OF UNAUTHORIZED ACCESS

Abstract. It is noted that it is often necessary to branch a part of the output power of an optical radiation source from the main transmission channel in order to control, measure, or receive a feedback signal intended to control the level of the output power of the optical radiation source, as well as to separate or combine the optical radiation flow. Based on the analysis of existing works, a multifunctional fiber-optic sensor has been developed that allows connecting one of the optical transmission modules with a low attenuation coefficient, collecting information corresponding to the level of branched optical radiation, determining the fact and mass of an object of unauthorized penetration depending on the intensity of branched optical radiation, and automatically adjusting the output power of branched optical radiation through a feedback circuit.

Keywords: fiber optic fiber; bender; sensor; optical radiation; demultiplexer; optical transmission module; stiffness coefficient; attenuation coefficient; mass.

REFERENCES (TRANSLATED AND TRANSLITERATED)

1. Agrawal, G. (2019). *Nonlinear Fiber Optics*. 6th ed. Elsevier Science.
2. Recommendation ITU-T G.657 (11/2016) Characteristics of a bending-loss insensitive single-mode optical fiber and cable. Geneva. (2017).
3. Mansurov, T.M., Yusifbayli, N.A., Jebailova, S.A., & Mansurov, E.T. (2023). Fiber optic sensor. Intellectual Property Agency of the Republic of Azerbaijan. Patent No. İ 2023 0101. Baku.
4. Mansurov, T.M., Zenevich, A.O., Dzhebrailova, S.A., Mamedov, R.S., & Mansurov, E.T. (2023). Fiber-optic coupler. Intellectual Property Agency of the Republic of Azerbaijan. Patent No. İ 2024 0015. Baku.



5. Hajiyeu, M.M., Bagachuk, D.G., Nazarenko, O.A., Odegov, M.A., & Stepanov, D.M. (2023). Multiplex method of data transmission in residual class systems. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6/9(126), 23–32.
6. Yatskiv, V.V. (n. d.). Method for increasing the reliability of data transmission in wireless sensor networks based on the system of residual classes. *Radioelectronics and Informatics: Scientific and Technical Journal*, 2, 30–33.
7. Ren, L. (2014). Design and experimental study of FBG hoop strain sensor for pipeline monitoring. *Fiber Optic Technology*, 20(1), 15–23.
8. Li, L. (2014). Design of high-sensitivity FBG strain sensor and its application in highway bridge construction. *Photonic Sensors*, 4(2), 162–167.
9. Chen, W., et al. (2015). Performance evaluation of FBG temperature sensors for laser tumor ablation. *IEEE Intern. Symp. on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, 324–328.
10. Li, L. (2014). Development of a high sensitivity FBG strain sensor and its application in highway bridge construction. *Photonic Sensors*, 4(2), 162–167.
11. Mamidi, V.R. et al. (2014). High temperature sensor based on fiber Bragg gratings and its low-cost, high-resolution interrogation system. *Optica Applicata*, 44(2), 299–308.
12. Zhang, H., Ouyang, S., Jiang, J., Wang, S., & Wang, Y. (2023). Research on address calibration technology for triple optical computer decoder. *Optik*, 293, 171263. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2023.171263>
13. Kai, S., Zhenxing, W., Jinliang, Z., Liping, Y. (2022). Research and application of error correction theory for a ternary optical computer based on the Heminge code, *Optik*, 267, 169647. <https://doi.org/10.1016/j.ijleo.2022.169647>

