

УДК 681.7

¹ В. О. КАТАН, ² Г. В. НЕЧИПОРЕНКО, ³ А. О. КОБЕРНІК, ¹ М. О. МЕЛЬНИК,
¹ А. Р. АГАДЖАНИЯН

МЕДИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА: ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ РОЗВИТКУ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ СЕНСОРІВ

¹ *Одеський національний політехнічний університет*
65044, 1, проспект Шевченка, м. Одеса, Україна
E-mail: ritochek@uandex.ru

² *Фізико-хімічний інститут ім. О. В. Богатського НАН України*
65080, 86, Люстдорфська дорога, м. Одеса, Україна
E-mail: nechiporenkoanna@gmail.com

³ *Одеський національний університет ім. І.І. Мечникова*
65082, 27, вул. Пастера, м. Одеса, Україна
E-mail: koberni@mail.ru

Анотація. В даній роботі проведено огляд великої кількості літератури стосовно сучасного стану розвитку волоконно-оптичних сенсорів, які домінують серед інших волоконно-оптичних пристроїв, завдяки високій чутливості й можливості прецизійного вимірювання. Особливу увагу приділено сенсорам для здійснення інвазивного і малоінвазивного дослідження біотканин. Розглянуті переваги використання оптичного волокна саме у біомедичних сенсорах. А також недолік лабораторних мереж, якщо подивитись з боку кримінальних маніпуляцій. Проведено огляд будови деяких сенсорів і основні вимоги до виробів на їх основі для медичного застосування. Також проаналізовані останні події у розробках.

Аннотация. В данной работе проведен обзор большого количества литературы по современному состоянию развития волоконно-оптических сенсоров, которые доминируют среди других волоконно-оптических устройств, благодаря высокой чувствительности и возможности прецизионного измерения. Особое внимание уделено сенсорам для осуществления инвазивного и малоинвазивного исследования биотканей. Рассмотрены преимущества использования оптического волокна именно в биомедицинских сенсорах. А также недостаток лабораторных сетей, если посмотреть со стороны криминальных манипуляций. Проведен обзор строения некоторых сенсоров и основные требования к изделиям на их основе для медицинского применения. Также проанализированы последние события в разработках.

Abstract. In this paper, reviewed a large amount of literature on the current state of development of optical fiber sensors which dominate among the other fiber optic devices. Due to its high sensitivity and possibility of the precision measurement. A special attention is paid to the sensors for invasive and minimally invasive study of biological tissues. Discussed of the advantages of using optical fibers is in biomedical sensors. And the skip of high security of laboratory networks, if looking from the side of criminal manipulation. Commented about of the some sensors structure and the basic requirements for products based on them for medical use. Also analyzed the latest advance in development

Ключові слова: оптичне волокно, датчик, передача інформації, ендоскоп, діагностика.

Ключевые слова: оптическое волокно, датчик, передача информации, эндоскоп, диагностика.

Keywords: optical fiber sensor, information transfer, endoscope, diagnostics

ВСТУП

Реалізація стратегії ефективного децентралізованого управління інформаційно-телекомунікаційними засобами потребує залучення широкого спектру сучасних засобів передачі, прийому, обробки та зберігання інформації. Значне насичення таких засобів призводить до збільшення

кількості можливих технічних каналів витоку інформації (КВІ) і, відповідно, до підвищення ймовірності здійснення несанкціонованого доступу (НСД) до інформації [1]. Одними з перспективних каналів передачі інформації, що потребують ефективного захисту від несанкціонованого доступу (НСД), є волоконно-оптичні лінії зв'язку (ВОЛЗ) [2].

1. ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО І ПЕРЕДАЧА ІНФОРМАЦІЇ

Оптичне волокно на сьогоднішній день вважається найдосконалішим фізичним середовищем для передачі інформації, особливо великих її потоків на значні відстані. У сучасних телекомунікаційних системах інформація передається у вигляді послідовностей двоїчних посилань, або бітів [3].

Питанням застосування ВОЛЗ для організації каналів передачі інформації приділено значну увагу фахівців, таких як Е. Л. Портнова [4], В. В. Виноградова [5], В. Г. Шарварка [6], Р. Л. Фримана [7], Д. Дж. Стерлінга [8], що зійшлися на тому, що перспективним напрямком подальших досліджень є розробка аналітичної моделі волоконно-оптичного каналу витоку інформації. Для сучасних комунікаційних середовищ і в першу чергу для комп'ютерних мереж, вирішення завдань ефективного електронного транспортування пакетів повідомлень є дуже актуальним напрямком досліджень. Це рішення вимагає розробки нових методів і засобів на основі волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) нового покоління. Виходячи з цього, техніка і технологія волоконно-оптичних систем передачі розвиваються динамічно і досить інтенсивно, — розроблено нове покоління ВОСП, де вже застосовуються різні методи мультиплексування [9, 10].

2. ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО І ЗАХИСТ ІНФОРМАЦІЇ

Вважається, що ВОЛЗ, в силу особливостей поширення електромагнітної енергії в оптичному волокні (ОВ), мають підвищену перехованість. Це пояснюється тим, що оптичне випромінювання, що є носієм інформації, поширюється в ОВ згідно закону повного внутрішнього відображення, а в ОВ електромагнітне випромінювання експоненціально спадає. Ділянки, де можливий витік електромагнітного випромінювання і несанкціоноване вилучення інформації (НВІ), відносно нечисленні, «класичними» радіотехнічними методами (приймально-передавальна апаратура, регенераційні пункти) вивчені і локалізовані. Тому ці ділянки порівняно легко можна контролювати. Конфіденційність переданої по ВОЛЗ інформації може бути забезпечена застосуванням спеціальних методів і засобів захисту лінійного тракту від НД. До основних переваг застосування захищених ВОЛЗ відносяться: незалежність від структури цифрових сигналів, що передаються; незалежність від швидкості передачі цифрових сигналів; універсальність застосування в локальних, абонентських або зонних мережах зв'язку [11, 12]. Але втрата фотонів на мікрозгибах й макрозгибах можуть бути використані з вигодою для вторгнення. Різними науковими групами проведено інтенсивні роботи, направлені на створення ВОЛЗ, що забезпечують захист інформації від НД. Серед основних напрямів цих робіт можна виділити розробку технічних засобів захисту від НД (та його контролю) до інформаційних сигналів, що передаються по ОВ [13, 14] та розробку технічних засобів захисту інформації, що передається по ОВ, які реалізують принципи маскування [15, 16], додавання перешкод, оптичної та квантової криптографії.

3. ОПТИЧНЕ ВОЛОКНО І ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

Зокрема, вимірювальні системи є невід'ємною частиною сучасної науки і техніки. На сьогодні, у зв'язку з комплексним ускладненням існуючих і розробкою якісно нових технологічних процесів в промисловості, посилюються вимоги, що пред'являються до експлуатаційно-технічних характеристик датчиків та ІВС. Одним з найбільш перспективних і ефективних способів вирішення питання задоволення зростаючих вимог є перехід від класичних електронних вимірювальних технологій до волоконно-оптичних датчиків і ІВС на їх основі [17]. Найважливішим з елементів вимірювальних систем є чутливі елементи, тобто датчики вимірюваних величин. Інформаційно-вимірювальні системи повинні органічно поєднувати канали передачі інформації з чутливими елементами, тому переважно отримувати в чутливих елементах сигнали тієї ж природи, що використовуються в каналі передачі. Для волоконно-оптичних систем, таким чином, бажано мати чутливі елементи оптичного типу. Тому появу волоконно-оптичних датчиків (ВОД) можна вважати закономірним кроком в розвитку сучасної науки і техніки [18].

Використання волоконних датчиків дозволяє реалізувати ряд переваг вимірювальних систем: пожежо-, вибухобезпечність, висока заводо захищеність (і електромагнітна сумісність, хімічна інертність, термостійкість, гальванічна розв'язка компонентів ІВС, дистанційність вимірів, мала вага і об'єм, можливість мультиплексування датчиків, тривалий термін експлуатації, потенційно низька вартість). Сучасні волоконно-оптичні ІВС характеризуються тенденцією до ускладнення конфігурації і створення на їх основі розподілених вимірювальних мереж, особливістю яких є можливість реконструювання просторового розподілу параметрів досліджуваного фізичного поля [19, 20, 21, 22]. У ВОД оптичне волокно може бути застосовано як лінія передачі, а також може виконувати роль

чутливого елемента датчика. Разом з ВОД на основі волоконно-оптичних елементів до теперішнього часу створений цілий ряд оптичних пристроїв і приладів науково-технічного і медичного призначення. Це волоконно-оптичні лазери і підсилювачі, терапевтичні і хірургічні лазерні прилади, волоконно-оптичні облаштування пам'яті для оптичних процесорів. У останні роки досягнутий значний прогрес в технології отримання фотонно-кристалічних волоконних світлопроводів, що відкриває нові можливості для реалізації різних нелінійно-оптичних ефектів і пристроїв, зокрема для генерації надширококуткового оптичного випромінювання з високою просторовою когерентністю (supercontinuum generation) [18, 23].

Оптичне волокно широко використовується в медичній сфері діагностики та лікування. Оскільки ОВ можуть бути дуже тонкими і можуть бути звиті в гнучкі нитки, вони можуть бути використані для досліджень кровоносних судин, легенів та інших частин тіла. Оптичні волокна дозволяють медикам проводити візуальний аналіз і лікування різних захворювань через крихітні надрізи за допомогою інструменту під назвою ендоскоп (де пучок першого оптичного волокна використовується для проектування світла на ділянки тканини, а друге оптичне волокно передає відбите світло від тканин, й дозволяє тим самим отримати чітке зображення на екрані монітору).

Слід зауважити, що діагностичні та лікувальні можливості в різних сферах медицини значно розширилися при впровадженні в клінічну практику ендоскопічних методів дослідження [24, 25]. Ендоскопи це універсальні прибори призначені для візуальної діагностики важкодоступних зон та областей (вони знайшли широке використання не лише в медицині [26], а й у інших ключових галузях індустрії: літако-, автомобіле-, суднобудівництві, електро- та ядерній енергетиці, хімії, нафтовій та газовій промисловостях, будівництві та ін.). Вони використовуються для вивчення конкретних областей людського тіла [27]. Ще один метод досліджень, при якому використовуються оптичні волокна, що одержав широке поширення для лікування різних захворювань є артроскопія. При цьому методі використовується прилад під назвою артроскоп. Цей інструмент являє собою прямий циліндр з серією лінз і оптичних призм, які вводять в розріз шириною від двох до п'яти міліметрів, безпосередньо в суглоб. Артроскоп використовується для діагностики суглобів в організмі, де ОВ можуть бути використані для вимірювання температури та інших параметрів організму, а також при виконанні хірургічних операцій. Крім того, ОВ широко використовуються для дослідження і лікування серцево-судинної системи [28, 29]. Також успішно застосовується ОВ для прямого інтенсивного лазерного випромінювання на рану [30], для зупинки кровотеч або спалення аномальних тканин.

У волоконно-оптичних датчиках оптичне волокно може бути застосоване просто як лінія передачі, а може відігравати роль самого чутливого елемента датчика. В останньому випадку використовуються чутливість волокна до електричного поля (ефект Керра), магнітного поля (ефект Фарадея), до вібрації, температури, тиску, деформаціям (наприклад, до вигину). Багато з цих ефектів в оптичних системах зв'язку оцінюються як недоліки, у датчиках же їхня поява вважається скоріше перевагою, яку варто розвивати.

В той же час, останні досягнення в мінімально інвазивній хірургії потребують менших розмірів катетерів й одноразових зондів. Ендоскопічні прилади добре знайомі, але внутрішні фізичні характеристики оптичних волокон, надають їм неймовірну привабливість для біомедичного зондування. Некаліброване волокно (зазвичай діаметру менше 250 мкм) може бути встромлено безпосередньо до підшкірних голок й катетерів, так що їх використання може бути як мінімально інвазивним, так й сильно локалізованим. Волокно-оптичні датчики (ВОД), зроблені таким чином можуть виконувати багатоточкове й багато параметричне дистанційне зондування. Оптичні волокна нітральні до електромагнітних перешкод, хімічно інертні, детоксичні і вибухобезпечні. Їх використання не будуть створювати перешкоди в електроніці, яка знаходиться у медичних установах. Й, найголовніше, інертність волокон до електромагнітних й радіохвильових сигналів робить їх ідеальними для використання в режимі реального часу підчас діагностичної візуалізації з МРТ, КТ та ін. А також при тепловому апеляційному лікуванні з участю радіохвиль чи СВЧ– випромінюванням.

4. ВОЛОКОННО-ОПТИЧНІ БІОМЕДИЧНІ ДАТЧИКИ

Волоконно-оптичні датчики містять джерело світла, оптичне волокно, зовнішній датчик, і фотодетектор. Вони мають чутливість шляхом виявлення модуляції одного або більше властивостей світла, які керуються інтенсивністю всередині волокна, наприклад довжини хвилі або поляризації. Модуляція виробляється прямим і відтвореним чином від зовнішнього обурення, викликаного фізичним параметром, величина якого повинна вимірюватись. Вимірюваний параметр, який нас цікавить виводиться з виявлених змін у світлових параметрах.

Існують два основних типи волоконно-оптичних датчиків. Зовнішні пристрої, які працюють завдяки передачі сигналу до датчику, в той час як внутрішні пристрої цього не роблять (див. Рис. 1).

У внутрішньому датчику, світло ніколи не виходить з волокна і вимірюваний параметр впливає на властивості світла, що поширюється вздовж волокна, діючи безпосередньо на саме волокно.

В зовнішньому датчику, обурення діє на перетворювач і оптичне волокно просто пропускає світло з місця перехоплення. Багато різних волоконно-оптичних механізмів датчиків були продемонстровані вже промисловими зразками [31], а деякі для біомедичного застосування [32—34], серед яких волоконні брегівські решітки (ВБР), Фабрі-Перо порожнини або торцеві волоконно-оптичні інтерферометри Фабрі-Перо (EFPI), інтерферометр Саньяка, інтерферометр Маха-Цандера, та інші. До цих пір найбільш поширені, ті що засновані на інтерферометрі Фабрі-Перо і брегівських решітках. Також поширені спектроскопічні датчики, які базуються на поглинанні світла і флуоресценції. Біомедичні ВОД можна розділити на чотири основні типи: фізичні, хімічні, біологічні та візуалізаційного призначення (табл. 1).

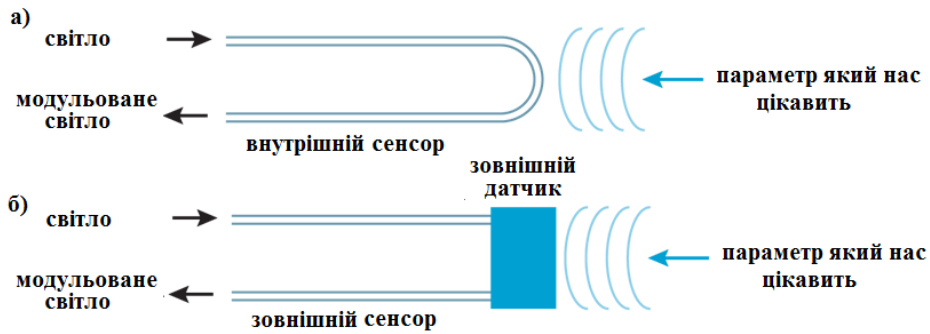


Рис. 1. Схема, зовнішнього пристрою (а), внутрішнього пристрою (б)

Таблиця 1.

Класифікація біомедичних сенсорів за формою зондування різноманітних біомедичних параметрів

Фізичні	Хімічні	Біологічні	Візуалізаційні
Температура тіла	pH	Антигени	Ендоскопія
Кров'яний тиск	pO ₂	Антитіла	Оптично-когерентна томографія
Кровоток	pCO ₂	Електроліти	Фотодинамічна терапія
Частота серцевих скорочень	Оксиметрія (SaO ₂ , SvO ₂)	Ензими	
Сила	Глюкоза	Інгібітори	
Позиція	Жовч	Метаболіти	
Дихання	Ліпіди	Протеїни	

Фізичні датчики вимірюють різні фізіологічні параметри, як температура тіла, кров'яний тиск, і переміщення м'язів. Датчики призначені для візуалізації охоплюють, як ендоскопічні прилади для внутрішнього спостереження та обробки зображень, а також для більш просунутих методик, таких як оптична когерентна томографія і фотоакустична візуалізація, де внутрішні сканування і візуалізація можуть бути зроблені не інтрузивно (тобто з мінімально можливою ступеню проникнення).

Хімічні сенсори базуються на флуоресценції, спектроскопічних методах і індикаторах для виявлення та визначення наявності певних хімічних сполук і метаболічних змінних (таких як pH, кисню в крові, або рівень глюкози). Вони виявляють специфічні хімічні домішки для діагностичних цілей, а також контролюють хімічні реакції організму і активність.

Біологічні сенсори мають тенденцію бути більш складним і базуються на біологічних реакціях таких як розпізнання ферменту-субстрату, антиген-антитіло або ліганд-рецептор для ідентифікації і кількісної оцінки конкретних біохімічних молекул, що представляють інтерес.

З точки зору розвитку датчика, базові візуалізаційні датчики є найбільш розвиненими. Волоконно-оптичні датчики для вимірювання фізичних параметрів наступні. І найменш розвинена область в плані успішності сенсорних продуктів, є датчики для біохімічного зондування.

5. ВИМОГИ ТА ВИРОБИ

У сфері розвитку біомедичних сенсорів представлено унікальні конструкторські рішення, однак дана сфера не позбавлена і деяких проблем, пов'язаних, насамперед, з їх інтерфейсом по відношенню до біологічного організму. В зв'язку з цим до біологічних сенсорів висувається ряд важливих умов. Сенсори повинні бути безпечними, надійними, володіти високою стабільністю та біосумісністю (відсутність

біологічного відторгнення), підлягати стерилізації та автоклавуванню, не повинні вимагати калібрування (або, принаймні, зберегти калібрування протягом тривалих періодів).

Сенсорне пакування є особливо важливим аспектом, оскільки ці пристрої повинні бути дуже малі, особливо ті, що використовують для імплантації або з метою перебування в організмі. Пристрої також повинні бути якомога простішими, такі як, наприклад мініатюрний волоконно-оптичний датчик тиску, показаний на кінчику пальця (див. Рис 2).

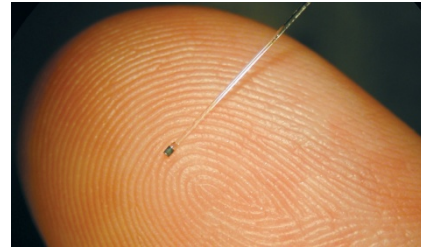


Рис. 2. Волоконно-оптичний сенсор тиску [35]

Пристрої з біомедичними датчиками можуть бути класифіковані як *in vivo* чи *in vitro*. До *in vivo* (тобто природних умовах) відносяться датчики, що застосовуються до живих організмів; до *in vitro* (або в пробірці) відносяться датчики для тестування за межами живого організму, наприклад, лабораторні аналізи біологічного матеріалу. З точки зору того, як датчики застосовуються до пацієнта або біологічної системи, вони можуть бути класифіковані як неінвазивні, контактні (з поверхнею шкіри), мінімально інвазивні (тимчасового перебування в організмі) або інвазивні (ті що імплантуються). Біомедичні датчики можуть бути використані до людей (клінічні), до тварин (ветеринарні), або до інших живих організмів (наукові). І залежно від передбачуваного використання, датчики класифікують наступним чином: діагностичні, терапевтичні (використовуються для інтенсивної терапії в клінічній практиці), дослідницькі (використовуються для доклінічних розробок та в лабораторних тестах).

6. ОСТАННІ ПОДІЇ У РОЗРОБКАХ ПРОДУКТІВ НА БАЗІ ВОД

Один з піонерів волоконно-оптичних біомедичних датчиків, Camino Labs (Сан-Дієго, Каліфорнія), в 1984 році його введено в медичний ринок як датчик внутрішньочерепного тиску (ВЧТ), який з тих пір став одним з найбільш часто використовуваних систем моніторингу ВЧП в світі. Пристрій базується на інтенсивності модуляції волоконно-оптичної схеми, спираючись на мініатюрні сільфони (тонкостінні металеві трубки, або камера з гофрованою (хвилеподібною) бічною поверхнею), як перетворювач.

Інші піонери підключення датчиків Luxtron (Santa Clara, California, а тепер частина LumaSense) з його флюорооптичним датчиком температури, і FISO (Quebec City, QC, Канада), яка позиціонує себе як провідний постачальник медичних волоконно-оптичних датчиків тиску і температури. Датчики FISO засновані на принципі EFPI пристроїв. Серед нового покоління компаній Opsens, Neoptix (Quebec, QC, Canada) і Samba датчики (Vestra Frölunda, Sweden). Дотепер найбільш поширені для вимірювання температури і тиску медичні ВОД. Але існує кілька інших різноманітних датчиків і приладів які відтворюють параметри, як коронарна візуалізація, температура, тиск, оксигенізація, пульсометр, витратомір крові, положення/форма органів, сила, ЕКГ/ІЕГ тощо. Цілком імовірно, що кількість і різноманітність біомедичних ВОД буде збільшуватися, при цьому зменшуючи собівартість приладів.

Серед останніх розробок є форми зондування системи, які використовують масиви ВБР, розташованих уздовж багатоядерних одномодових волокон. ВБР буде зміщуватися довжинами хвиль максимумів випромінювання у відповідь на деформації і кривизни стресу, отриманого при викривленні. Масиви волокна допомагають визначити точне положення і форму медичних інструментів і маніпуляторів. Ще одним важливим новим продуктом ВОД в передсертифікаційному випробуванні є EndoSense (Женева, Швейцарія) TactiCath примусовий чутливий катетер. ВБР датчики встановлені на кінчику інтра-аортального катетера, який також служить в якості доставки зонда, призначеного для лікування і фібриляції передсердь.

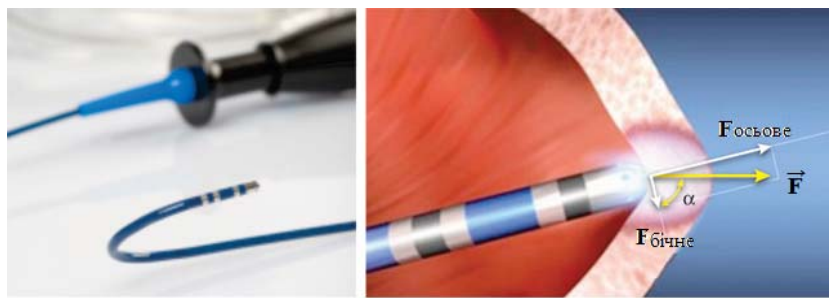


Рис. 3. Волоконно-оптичний внутрішньо-аортальний чутливий катетер

Зондування дозволяє здійснювати моніторинг в режимі реального часу від сили, прикладеної проти стінки серця по катетеру [35].

Примусовий ВБР датчик, що діє проти серцевої стінки завдяки стресу, викликаному на стінках (див. Рис. 3). Контроль сили має велике значення для доставки відповідних лазерних імпульсів, які викликані в самому серці на його стінках.

ВИСНОВКИ

Біомедичний ринок зондування являє собою прибутковий і повний зростаючих можливостей для ВОД, особливо для великих обсягів наявних зондів. Попит на більший моніторинг пацієнта в поєднанні з тенденцією до мінімально інвазивної хірургії, яка сама по собі вимагає різноманітних мінімально інвазивних медичних пристроїв, а також одноразового використання, одноразові датчики невеликого розміру, які можуть бути включені в катетери та ендоскопи — ідеально підходить до волоконно-оптичних датчиків. Існує також незаперечна можливість для ВОД, як датчиків для моніторингу життєво важливих функцій під час використання МРТ (і пов'язаних з ними методів), а також радіочастотних процедур з електромагнітними перешкодами. Хотілося б відзначити, що розглянуті види датчиків широко використовуються не тільки в медичній практиці, але й в лабораторних дослідженнях.

Пропускна здатність, продуктивність, надійність, економічність, стійкість, надмірність, і безпека є одними з вимог, що пред'являються до телекомунікацій сьогодні. З його первісного розвитку, волоконно-оптичні системи мали більшість переваг. Збільшення волоконно-оптичних систем, які замінюють комунікації базовані на міді призводить до збільшення знань і технологій. Як будь-коли раніше, всі технології є предметом злому і кримінальних маніпуляцій. І волоконна оптика не є винятком.

Кожна лабораторія має велику кількість устаткувань пов'язаних між собою мережею. І тут важлива швидкість передачі даних в мережі між устаткуванням, і особливо, захист отриманої інформації. Як приклад, розшифрування генома людини, це є об'ємний процес, з дуже великою кількістю параметрів. Гігабайти інформації передаються різноманітними датчиками до комп'ютера для подальшої обробки інформації. Забезпечити швидкість передачі і обробки великого об'єму інформації в поєднанні з захистом від НВІ може надати в наш час тільки оптичне волокно. ВОД мають величезний потенціал і забезпечують можливості і функції, які не можуть бути отримані іншими способами.

У медико-санітарної допомоги є багато різних типів систем, здатних зв'язуватися одна з одною. З метою забезпечення безперебійного потоку інформації, ці системи повинні бути інтегровані і управлятися в IT-мережах. Перевага мережі медичних пристроїв є те, що процеси обробки інформації в будь-який час доступні і можуть бути оброблені відповідно до потреб. Тим не менш, це також підвищує ризик безпеки. Сторонні особи можуть спробувати отримати доступ до лікарняного мережі. Часто бувають вільні, активні мережеві сокети. Вони зазвичай знаходяться в процедурних кабінетах або в зонах очікування. Ці безкоштовні мережеві сокети надають можливість отримати несанкціонований доступ до локальної мережі в дуже простий спосіб, часто без попереднього повідомлення з боку мережевих адміністраторів. Як ще один приклад, це аналізатор пакетів (також відомий як мережевий аналізатор, аналізатор протоколів, або для певних типів мереж, аналізатор Ethernet або бездротовий сніффер) є комп'ютерна програма або частина комп'ютерного обладнання які можуть перехопити проходження трафіку і увійти через цифрову мережу або частини мережі [36]. Аналізатор захоплює кожен пакет і, якщо необхідно, декодує вихідні дані пакета і аналізує його зміст. Отже не зважати безпекою лабораторних мереж з боку медичних і наукових установ є крайовою помилкою. Висока вартість ОВ мереж залишається перешкодою, однак, так само як і від тривалих циклів розробки необхідні нормативні процеси. Дизайн та розробка датчиків, вибір відповідного матеріалу, біосумісність, безпека пацієнта та захист інформації не є тривіальними і повинні бути прийняті до уваги.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Поповский В. В. Защита информации в телекоммуникационных системах: Учебник / В. В. Поповский, А. В. Персиков. — Харьков. : ООО «Компания СМІТ», 2006. — 238 с.
2. Гришук Р. В. Багатокритерійний синтез систем інформаційної безпеки / Р. В. Гришук, І. А. Пількевич, В. О. Хорошко та ін. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2012. — № 5/9 (59). — С. 40—44.
3. Павлов С. В. Використання волоконно-оптичних сенсорів у біомедичних дослідженнях / С. В. Павлов, Р. В. Просоловський, Т. І. Козловська // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. — 2008. — № 2 (15). — С. — 159.
4. Портнов Э. Л. Оптические кабели связи / Портнов Э. Л. — М. : Информсвязь, 2000. — 112 с.
5. Виноградов В. В. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / В. В. Виноградов, В. К. Котов, В.Н. Нуприк. — М. : ИПК «Желдориздат», 2002. — 278 с.

6. Шарварко В. Г. Волоконно-оптические линии связи : учебное пособие / В. Г. Шарварко. — Таганрог. : Изд-во ТРТУ, 2006. — 170 с.
7. Фриман Р. Л. Волоконно-оптические системы связи : 3-е дополненное издание / Р. Л. Фриман. — М. : Техносфера, 2006. — 496 с.
8. Дональд Дж. Стерлинг. Техническое руководство по волоконной оптике / Дональд Дж. Стерлинг [пер. з англ. А. Московченко]. — М. : Издательство «Лори», 1998. — 195 с.
9. Натрошвили О. Г. Применение методов временного мультиплексирования оптических сигналов в системах волоконно-оптической связи компьютерных сетей / О. Г. Натрошвили, В. П. Кожемяко, А. И. Прангишвили // Волоконно-оптичні технології в інформаційних (internet, intranet тощо) та енергетичних мережах. — 2009. — С. 195—200.
10. Amphawan Angela .Huda Ibrahim Mode Division Multiplexing of Spiral-Phased Donut Modes in Multimode Fiber / Angela Amphawan, Yousef Fazea, Huda Ibrahim.// Proceedings of SPIE — The International Society for Optical Engineering. — 2015. — Vol. 1286. — P.74.
11. Хорошко В. А. Методы и средства защиты информации / В. А. Хорошко, А. А. Чекатков. — Киев. : Юниор, 2003. — 502 с.
12. Манько А. Защита информации на волоконно-оптических линиях связи от несанкционированного доступа / А. Манько, В. Каток, М. Задорожний // Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні. — 2001. — Вип. 2.
13. Свинцов А. А. Численное моделирование систем диагностики состояния волоконно-оптического тракта ВОСП / А. А. Свинцов, А. Г. Свинцов. : Науково-технічна конференція «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні». — Україна, Київ.— 1998.
14. Свинцов А. Г. ВОСП и защита информации / А. Г. Свинцов. : Науково-технічна конференція «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні». — Україна, Київ. — 1998 р.
15. Каток В. Б. Защита информации в оптических линейных трактах методом спектрального разделения / В. Б. Каток, О. О. Манько. : Ювілейна науково-технічна конференція «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні». — Україна, Київ, 9—11 червня 1998 р.
16. Каток В. Б. Нові методи захисту інформації на ВОЛЗ / В. Б. Каток, О. О. Манько, М. Д. Задорожний : Науково-технічна конференція «Правове, нормативне та метрологічне забезпечення системи захисту інформації в Україні». — Україна, Київ, 15—20 квітня 2000 р.
17. Гублин А. С. Перспективы развития измерительных систем на основе волоконно-оптических датчиков / А. С. Гублин // Вестник Тульского государственного университета. Серия «Радиотехника и Радиооптика». — Том X. — 2008. — С. 7680.
18. Шандаров В. М. Волоконно-оптические устройства технологического назначения / В. М. Шандаров — Томск. — 2012. — 199 с.
19. Задворнов С. А. О пожаровзрывобезопасности волоконно-оптических гибридных измерительных систем / С. А. Задворнов, А. А. Соколовский // Датчики и системы. — № 3. — 2007. — С. 11—13.
20. Задворнов С. А. Многофункциональная оптоэлектронная измерительная система для трехфазных сетей переменного тока / С. А. Задворнов, А. А. Соколовский // Электротехника. — № 4 — 2009.— С. 47—51.
21. Волоконно-оптические датчики. Вводный курс для инженеров и научных работников / под ред. Э. Удда. — М. : Техносфера, 2008. — 520 с.
22. Оптико-электронные информационно-измерительные системы : [Монография] / Е. А. Макарецкий, А. Я. Паринский, М. А. Абрамова, А. С. Гублин. — Тула : ТулГУ, 2010. — 100 с.
23. Гуляев Ю. В. Волоконно-оптические технологии, устройства, датчики и системы / Ю. В. Гуляев [и др.] // Спецвыпуск «Фотон-экспресс» — НАУКА. — 2005. — № 6. — С. 114—127.
24. ГОСТ 23496-89 Эндоскопы медицинские. Общие технические требования и методы испытаний. — Введ. 01.01.91. — М. : Изд-во стандартов, 1991.
25. Кошовий М. Д. Волоконно-оптичний датчик тиску / М. Д. Кошовий, Т. Г. Рожнова, В. О. Рожнова, В.В. Ситник // Вісник ХНТУСГ ім'я П. Василенка. — 2014. — Вип. 154. —

- С. 66—67.
26. Трёмбовецкая Р. В. Выбор оптической системы для медицинских эндоскопов / Р. В. Трёмбовецкая // Вісник ЧДТУ. — 2013. — № 4. — С. 49—53.
 27. Дудковская М. А. Преломление света, законы преломления. Рефрактометрия. Волоконная оптика. Эндоскопия. Лапароскопия / М. А. Дудковская, Н. П. Лобко. — Минск : БГМУ, 2002. — 23 с.
 28. Павлов С. В. Проектування волоконно-оптичних сенсорів в контексті побудови оптико-електронних приладів дослідження периферійного кровотоку / С. В. Павлов, О. Д. Азаров, В. Б. Василенко, Р. В. Просоловський // Біомедичні оптико-електронні системи та прилади. — 2010. — № 1(19). — С. 124—133.
 29. Кожем'яко В. П. Комп'ютерні моделі оптико-електронних систем та приладів для ендовазальної лазерної коагуляції / В. П. Кожем'яко, В. В. Мороз // Біомедичні оптико-електронні системи та прилади. — 2010. — С. 173—177.
 30. Александрова Н. П. Влияние оптического излучения синего диапазона на реологические свойства крови у больных бронхиальной астмой / Н. П. Александрова, Е. И. Островский, В. И. Карандашов, Е. В. Линде, Б. В. Зубов // Физиотерапия Бальнеология Реабилитация № 4. — 2014. — С. 15—18.
 31. Culshaw B. Optical Fiber Sensors: Systems and Applications / B. Culshaw, J. Dakin // Artech House. — Vol. II. — 1989.
 32. Peterson J. I. Fiber-Optic sensors for biomedical applications / J. I. Peterson, G. G. Vurek // Science. — V 224, (4645). — 1984. — P. 123—127.
 33. Mignani A. G. Biomedical sensors using optical fibres / A. G. Mignani, F. Baldini // Rep. Prog. Phys. — V. 59. — 1996. — P. 1—28.
 34. Baldini F. Fiber Optic sensors for Biomedical Applications / F. Baldini, A. Giannetti, A. A. Mencaglia, C. Trono // Curr. Anal. Chem. — 2008. — V. 4. — P. 378—390.
 35. Mendez A. Medical applications of fiber-optics: Optical fiber sees growth as medical sensors 2015, режим доступу http://www.wikid.eu/index.php/Fiber_optic_sensing.
 36. Pinet E. True challenges of disposable optical fiber sensors for clinical environment / Pinet E., Hamel C. : Third European Workshop on Optical Fibre Sensors, EWOFS 2014, Naples, Italy.

Надійшла до редакції 22.04.2015 р.

КАТАН ВІТАЛІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ — студент групи РБ 111, кафедра інформаційної безпеки, Одеський національний політехнічний університет, м. Одеса, Україна.

НЕЧИПОРЕНКО ГАННА ВАСИЛІВНА — к.х.н., молодший науковий співробітник відділу хімії функціональних неорганічних матеріалів Фізико-хімічного інституту ім. О.В.Богатського НАН України, м. Одеса, Україна.

КОБЕРНІК АЛЬОНА ОЛЕКСАНДРІВНА — к.б.н., доцент кафедри фармацевтичної хімії Одеського національного університету ім. І.І. Мечникова, м. Одеса, Україна.

МЕЛЬНИК МАРГАРИТА ОЛЕКСАНДРІВНА — к.т.н., доцент кафедри інформаційної безпеки Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса, Україна.

АГАДЖАНЯН АРУТЮН РУБЕНОВИЧ — к.т.н., доцент кафедри радіотехнічних пристроїв Одеського національного політехнічного університету, м. Одеса, Україна.