

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет

ЯРОСЛАВСЬКИЙ ЯРОСЛАВ ІВАНОВИЧ

УДК 004.7:621.397:614

**ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ТЕЛЕМЕДИЧНА МЕРЕЖА
ДЛЯ ОБМІНУ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯМИ**

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Вінниця – 2019

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису

Робота виконана у Вінницькому національному технічному університеті Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Злепко Сергій Макарович,
Вінницький національний технічний
університет, завідувач кафедри біомедичної
інженерії

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Тимчик Григорій Семенович,
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»,
декан приладобудівного факультету

доктор технічних наук, доцент
Філатова Ганна Євгенівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
професор кафедри обчислювальної техніки та
програмування.

Захист відбудеться «25» жовтня 2019 року о 12³⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 05.052.06 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе 95, ауд. 210 ГНК.

З дисертацією можна ознайомитись у науково-технічній бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95.

Автореферат розісланий «23» вересня 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

С. В. Тимчик

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Серед стратегічних механізмів реформування системи охорони здоров'я в Україні важливу роль відіграє впровадження інформаційних технологій, здатних забезпечити виконання державних гарантій доступності та високої якості надання медичної допомоги населенню незалежно від місця проживання та соціального статусу. Важливою технологією, розвиток якої здійснює позитивний комплексний вплив на клінічні, освітні та наукові аспекти діяльності системи охорони здоров'я в Україні, є телемедицина.

Удосконалення існуючих та створення нових телемедичних інформаційних систем є одним з важливих факторів у підвищенні якості і доступності кваліфікованої медичної допомоги населенню. В Україні у 2018 році впроваджено електронну систему охорони здоров'я eHealth, яка станом на 01.12.2018 р. поєднує в центральній базі даних (базовому компоненті) взаємодію 15 провідних МІС (медичних інформаційних систем), зокрема Helsi, EMCiMED, Доктор Елекс, MEDSTAR, MEDICS, МедЕйр, UASMART, МІС «Каштан», «Поліклініка без черг» та інші.

Впровадження нових та удосконалення існуючих медичних інформаційних технологій в Україні базується на виконанні міжнародних стандартів і протоколів. Найбільш універсальним стандартом подання та обміну цифровою діагностичною інформацією у світовій медицині є DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine). DICOM – стандарт передачі радіологічних зображень та іншої медичної інформації між комп'ютерами, що спирається на базову мережеву модель взаємодії відкритих систем OSI (Open System Interconnection).

Сучасні цифрові діагностичні зображення і медіафайли мають значні розміри. Обсяг інформації серії зображень, що їх отримують на комп'ютерному томографі, може становити до 5 ГБ, а однієї серії мамографічного дослідження - до 480 МБ [..]. Для можливості швидкого обміну такими файлами необхідно забезпечити наявність комп'ютерної мережі з високою швидкістю передачі даних. Мінімальною вимогою до пропускної здатності локальної радіологічної мережі регіональної PACS-системи є 100 Мбіт/с. Тому для надійного функціонування архіву центру обробки даних (ЦОД) важливим є можливість підключення вузлів телемедичної мережі по волоконно-оптичним каналам зв'язку.

Модернізація та вдосконалення стандарту DICOM, впровадження нових алгоритмів стиснення медичних зображень дозволить в подальшому скоротити обсяги переданої інформації, час на її передачу, а значить, і фінансові витрати, що пов'язані з цими показниками.

Сьогодні у світі широко використовуються, як для діагностики, так і в для лікування пацієнтів, системи архівування, обробки і передачі медичних діагностичних зображень PACS (Picture Archiving and Communication System). Вони дозволяють ефективно формувати єдину діагностичну історію пацієнта незалежно від того, в який період часу, в якій установі та на якому

діагностичному апараті отримано дані. Отже, PACS-системи виявляються затребуваними у всіх областях медицини – як в межах однієї клініки, так і в мережах лікувальних установ регіонального рівня та країни в цілому.

Широке впровадження телемедицини дозволяє істотно підвищувати ефективність надання медико-санітарної допомоги (проведення віддаленого скринінгу високоризикових груп пацієнтів), якість діагностики соціально значущих захворювань на рівні первинної ланки та ефективність надання швидкої й невідкладної медичної допомоги. Використання для організації обміну медичними даними і зображеннями волоконних каналів оптичних транспортних мереж підвищує достовірність передачі медичної інформації про стан здоров'я пацієнта у системі. Це покращує доступність консультаційних послуг медичних експертів, оперативність та об'єктивність діагностичних досліджень при зменшенні кількості рутинних операцій у повсякденній діяльності медичних працівників.

Водночас, важливим стримуючим фактором розвитку телемедицини в Україні є неефективне застосування сучасних інфокомунікаційних мережевих технологій для організації обміну медичними зображеннями, а також недостатнє впровадження методів систематизації медичної інформації. Розвиток галузі стримують не в повній мірі вирішені проблеми інформаційної безпеки та завадостійкості транспортних мереж, які пов'язані з дотриманням вимог конфіденційності особистих даних пацієнтів і персональних даних про стан їх здоров'я.

Отже, створення в Україні загальнонаціональної інфраструктури трансляційної телемедицини на базі заводозахисених волоконно-оптичних транспортних мереж з високою пропускнуою здатністю, спроможних об'єднати в єдине ціле регіональні і корпоративні телемедичні мережі віддаленого консультування, діагностики і навчання для широкого застосування у клінічній практиці, є актуальною науково-технічною задачею.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалась відповідно до планів науково-дослідних і дослідно-конструкторських робіт Вінницького національного технічного університету в рамках держбюджетної НДР «Розробка неінвазивних оптико-електронних систем двовимірної поляризаційної томографії фазово-неоднорідних біологічних об'єктів» (номер державної реєстрації 0112U001368), в якій здобувач брав участь як виконавець.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційного дослідження є підвищення ефективності обміну медичними відеозображеннями у волоконно-оптичній телемедичній мережі шляхом розроблення її структури, моделі і методів побудови.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

1. Провести порівняльний аналіз існуючих засобів і методів побудови спеціалізованих волоконно-оптичних мереж для обміну медичними відеозображеннями.

2. Розробити метод модової модуляції оптичних сигналів для волоконних телемедичних мереж.

3. Розвинути метод двохвилевої передачі медичних даних у волоконній телемедичній мережі.

4. Побудувати модель процесу передачі інформації у волоконних телемедичних мережах.

5. Розвинути волоконно-оптичний канал зв'язку для телемедичної мережі.

6. Розробити підхід до побудови і структурно-функціональну організацію волоконної телемедичної мережі.

7. Удосконалити PACS-систему обласної лікарні (телемедичного центру).

8. Провести апробацію і дослідити волоконну телемедичну мережу.

Об'єкт дослідження – процес обміну відеозображеннями у волоконно-оптичних телемедичних мережах.

Предмет дослідження – волоконна телемедична мережа для обміну відеозображеннями, методи і модель її побудови та функціонування.

Методи дослідження. При виконанні дисертаційного дослідження застосовувались методи: системного аналізу (для обґрунтування наукових, методичних та інформаційних аспектів побудови інформаційної телемедичної мережі); бібліосемантичний метод (для вивчення вітчизняного та світового контенту щодо досвіду і наукових підходів до вирішення досліджуваної проблеми); метод інформаційного моделювання (для розроблення інформаційних моделей і методів); методи теорії біотехнічних систем (для розроблення функціональних схем та архітектури інформаційної мережі); методи алгоритмізації побудови баз даних і знань (для розроблення алгоритмічно-програмного забезпечення, баз даних і знань); медико-статистичний метод (для збору, оброблення та аналізу отриманої статистичної інформації на етапах дисертаційного дослідження).

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше для волоконно-оптичних каналів телемедичних мереж з швидкістю до 150 Мбіт/с запропоновано метод модуляції модового складу з підвищеною завадостійкістю і додатковим захистом від несанкціонованого доступу, який може розглядатись як окремий частковий випадок підвищення стабільності передачі і захисту даних у кінцевих пристроях волоконних трактів оптичних телемедичних мереж.

2. Вперше розроблено модель процесу передачі інформації у волоконно-оптичному тракті телемедичної мережі, яка визначає оптичні втрати і дисперсію сигналу в волоконно-оптичному середовищі, компенсує їх і формує сигнал, спроможний, в залежності від типу оптоволокна, подолати максимальну відстань при мінімальних часових спотвореннях і втратах.

3. Отримав подальшого розвитку метод двохвилевої передачі медичних цифрових даних шляхом представлення цифрового логічного сигналу (логічна 1) оптичним імпульсом одночасно на двох довжинах хвиль $\lambda_1=1310$ нм і $\lambda_2=1550$ нм, вибір яких виконано, виходячи із умови мінімальної дисперсії та мінімізованих втрат кварцового скла, що зменшило вплив завад і підвищило рівень сигнал/шум та загальну стабільність передачі біомедичної інформації.

4. Отримав подальшого розвитку підхід до створення волоконної телемедичної мережі для обміну медичними відеозображеннями в стандарті

DICOM 3.0, які отримано з різних типів медичного обладнання для променевої діагностики і телемедичними центрами, що дозволило визначити інформаційний простір мережі як складне ієрархічне середовище, в якому кожний рівень характеризується власними інформаційними, програмними та апаратними засобами для оброблення та інтерпретації отриманої інформації.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Запропоновано волоконну телемедичну мережу, яка забезпечує обмін оперативними результатами телемедичної діагностики і моніторингу стану здоров'я пацієнтів по оптичних каналах зв'язку між віддаленими районами та обласним центром і, на відміну від існуючих, забезпечує її адаптацію до стандарту DICOM, інформаційну підтримку прийняття рішень, гнучку систему управління роботою мережі з дотриманням вимог щодо захисту персональних даних пацієнтів.

2. Розроблено структурно-функціональну організацію телемедичної системи у вигляді сукупності трьох базових ресурсів: апаратного, аналітичного та інформаційного, представлених апаратно-програмними, інформаційними модулями, які здійснюють зв'язок між вимірювальними давачами і сенсорами та цифровими засобами оброблення даних при підтримці медико-фізіологічних алгоритмів аналізу та оброблення сукупної медичної інформації, що суттєво скорочує часові та фінансові витрати на всіх стадіях проектування подібних систем і передачі телемедичних даних.

3. Результати дисертаційної роботи впроваджено в практичну діяльність Одеського обласного центру телемедицини на базі Одеської обласної клінічної лікарні (акт впровадження від 17.12.2018 р.), що підвищило достовірність (понад 95%) і покращило якість передачі біомедичної інформації. Результати роботи також використовуються у навчальному процесі кафедри біомедичної інженерії Вінницького національного технічного університету (акт впровадження від 04.12.2018 р.), що сприяло покращенню якості викладання лекційного матеріалу і проведення практичних занять.

Особистий внесок здобувача. Всі результати, які складають основний зміст дисертації отримані здобувачем самостійно. В роботах опублікованих в співавторстві, особистий внесок здобувача полягає в наступному: в [1] – розробив методику створення уніфікованої системи трансформації довжин хвиль; в [2] – провів порівняльний аналіз технологій побудови мереж, визначив їх недоліки та шляхи удосконалення; в [3] – удосконалив класифікацію та запропонував підходи до створення нової моделі інформаційних мереж; в [4] – проаналізував модель розподіленої інформаційної мережі з фотоелектричними перетворювачами; в [5] – провів аналіз методу і засобів багатоканальної передачі інформації через повітряний простір із використанням лазерної апаратури та адаптивної системи зв'язку; в [6] – запропонував метод двохвилевої передачі даних на двох несучих довжинах хвиль; в [7] – розробив структуру методу модової модуляції сигналів та його математичний опис; у [8] – запропонував критерії оцінювання ефективності передавання інформації через оптичні волокна; у [9] – вивів основні аналітичні залежності і пояснив

природу виникнення адаптивних шумів; в [10] – запропонував структуру оптичної геоінформаційно-енергетичної мережі з розподіленими світловими джерелами енергії; в [11] – розробив підхід до навчання інтелектуально-статистичних маршрутизаторів; в [12] – визначив базові принципи побудови діагностичних систем; в [13] – запропонував спосіб уніфікованої трансформації довжини хвиль; в [14] – запропонував спосіб перетворення довжини світлових хвиль; в [15] – розробив структуру локальних геоінформаційно-енергетичних мереж з спектротрансформаторами в якості джерел живлення; в [16] – обґрунтував необхідність розвитку теоретичних основ проектування спектроенергетичних перетворювачів і спектротрансформаторів; в [17] – розробив алгоритм діагностики з'єднань комп'ютерного томографу; в [18] – обґрунтував застосування електромагнітного методу.

Апробація результатів дисертації. Наукові та практичні результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на Міжнародних конференціях, зокрема на III Міжнародній науково-технічній конференції «Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2005» (м. Вінниця, 2005 р.); на VI Міжнародній науково-практичній конференції «Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації» (м. Вінниця, 2017 р.); на IV Міжнародній науковій конференції «Вимірювання, контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017)» (м. Вінниця, 2017 р.).

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 18 наукових праць, в т. ч. 12 статей у наукових фахових виданнях України, що входять до переліку наукових фахових видань з технічних наук (з них 3 у виданнях, які індексуються міжнародною наукометричною базою даних Index Scopus), 4 матеріалів та тез доповідей на наукових конференціях; 2 патенти України. Загальна кількість публікацій у міжнародній наукометричній базі даних Scopus - 1.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку використаних літературних джерел, який нараховує 191 найменувань; 3 додатків. Загальний обсяг дисертації 201 сторінок, з яких основний зміст викладено на 136 сторінках. Дисертаційна робота містить 48 рисунків і 5 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дослідження, сформульовані мета, задачі, об'єкт, предмет і методи досліджень. Наведено наукову новизну і практичну цінність отриманих результатів. Показано зв'язок роботи з науковими програмами і планами досліджень; визначено особистий внесок здобувача у спільних публікаціях та наведено дані про апробацію результатів, обсяг і зміст дисертаційної роботи.

В першому розділі проведено аналітичний огляд волоконно-оптичних транспортних мереж для телемедицини, показано особливості взаємодії стандарту DICOM 3.0 та PACS – систем при роботі з медичними відеозображеннями. Проведений порівняльний аналіз параметрів

мультисервісних телемедичних волоконно-оптичних мереж підтвердив можливість їх використання для організації каналів телемедичних інформаційних мереж.

Визначено базові умови і вимоги для подальшого успішного впровадження стандарту DICOM 3.0 і PACS-систем, серед яких особливе місце займають достатня швидкість і безпека обміну даними; можливість віддаленого доступу до діагностичних зображень; надання лікарям-консультантам необхідної інформації по діагностичних зображеннях; наявність спеціалізованих програмних засобів; єдиний принцип ідентифікації пацієнта тощо.

Класифікація телемедичних систем за технологічною ознакою створила умови для формування телемедичних технологічних груп (ТТГ), які стали основою побудови телемедичних робочих станцій (ТМРС) і визначили два основних підходи до їх комплектації: придбання готового комплексу (станції) або самостійне розроблення і виготовлення ТМРС.

Підтверджено, що наведені положення відповідають висновкам Американської телемедичної асоціації в частині: розроблення і застосованості телекомунікаційних та інформаційних мереж і технологій для обміну медичними відеозображеннями та забезпечення питань конфіденційності, безпеки і відповідальності; інтеграції телемедицини з іншими телекомунікаційними атрибутами.

Другий розділ присвячено розробленню методів і моделі передачі даних у волоконних телемедичних мережах, а саме: методу модової модуляції оптичних сигналів; методу двохвилевої передачі даних і моделі процесу передачі медичних відеозображень.

При дослідженні параметрів якості передачі імпульсів у цифрових мережах передачі (Убайдулаєв Р. Р., 1998) встановлено, що для одного каналу волоконної лінії з довжиною хвилі λ_i , вихідний сигнал, який враховує часові та хвильові властивості, має вигляд:

$$S(t, \lambda_i) = A \left[a_j \cdot A_m(t - j\Delta T) \right] + N_{\zeta}(t, \lambda_i), \quad (1)$$

де a_j – коефіцієнт, який дорівнює 0 при передачі логічного «0» та 1 при передачі логічної «1»; A_m – амплітуда оптичного сигналу, що передається; $N_{\zeta}(t, \lambda_i)$ – рівень адитивної завади в момент передачі t , який представляє собою вузькосмугові квазігармонійні коливання шумів із випадковими параметрами.

Для підвищення надійності та завадостійкості при передачі даних у волоконних мережах було запропоновано метод модової модуляції оптичних сигналів, який полягає у кодуванні цифрових сигналів (логічні «0» та «1») зміною модового режиму (кількістю мод випромінювання у оптичному волокні) із одномодового (передається тільки одна мода) на багатомодовий (передаються відразу декілька мод, $N \geq 2$). Критерієм його реалізації є параметр нормованої частоти (Куссуль Н. Н., 2008), а додатковими критеріальними умовами для встановлення відповідного модового режиму та формування цифрових сигналів у запропонованому методі є такі (Круцкевич Н., 2003):

- якщо нормована частота лежить у межах $0 < V < 2,405$, то встановлюється

одномодовий режим (поширюються моди HE₁₁ або TEM₀₀, незалежно від типу ОВ),

- якщо $V > 2,405$, встановлюється багатомодовий режим передачі.

Кількість мод у оптоволокну з стандартним ступеневим профілем показника заломлення за нормованою частотою визначається як

$$N = V^2 / 2. \quad (2)$$

Вважаємо, що усі геометричні та оптичні параметри волокна, від яких залежить його нормована частота V , окрім довжини хвилі λ , є сталими. Тоді цифрову модуляцію оптичних сигналів можна здійснювати, змінюючи модовий склад у ОВ шляхом зміни значення довжини хвилі λ (в певних межах поблизу границі критичної частоти V), щоб виконувалась умова логічної функції:

$$F_{\log}[1,0] = \begin{cases} 1, & \text{при } V > 2,405 \\ 0, & \text{при } V < 2,405 \end{cases} = \begin{cases} 1, & \text{при } \lambda > \frac{2\pi d NA}{2,405} \\ 0, & \text{при } \lambda < \frac{2\pi d NA}{2,405} \end{cases}, \quad (3)$$

де $NA = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ – числова апертура оптичного волокна.

Таким чином, у багатомодовому режимі при $V > 2,405$ передається логічна «1», а у одномодовому – логічний «0». Ілюстрацію методу модової модуляції цифрового сигналу наведено на рис. 1.

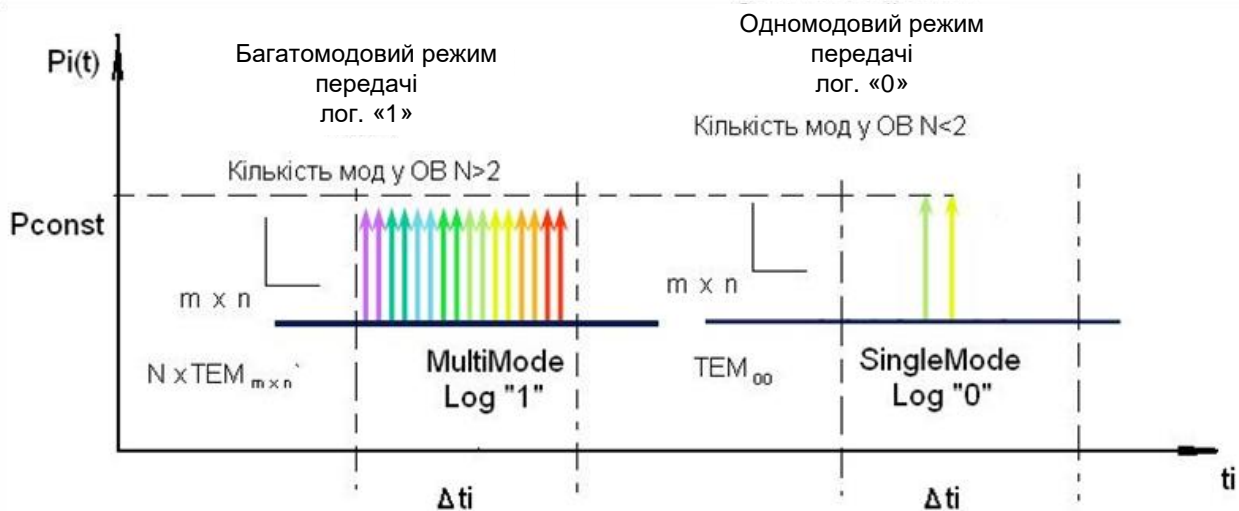


Рисунок 1 – Залежність оптичної потужності інформаційного сигналу в часі при реалізації методу модової модуляції (Кожем'яко В. П., 2008)

Згідно з рис. 1 у часовому вікні Δt_i оптична потужність перерозподіляється між модами без зміни амплітудних значень $P_{\max i}(t)$ та знаходиться на визначеному постійному рівні P_{const} .

Сигнали логічної «1» і логічного «0» формуються у одному часовому вікні Δt_i . Принцип реєстрації сигналів полягає у тому, що детектується не тільки рівень оптичної потужності на фотоприймачі, але і кількість мод (модовий склад) із усталеним рівнем потужності P_{const} . При детектуванні сигналу ця кількість мод N розділяється у просторі апаратними засобами та фіксується

окремими фотоприймачами для сигналів з логічною «1» та логічним «0».

Отже, модулюючи (змінюючи) довжину хвилі в часі $\lambda(t)$, теоретично можлива передача інформації шляхом зміни модового складу випромінювання і реєстрації його на виході волокна, коли в одному режимі можна передавати один логічний сигнал, а в другому – інший, без виконання амплітудної модуляції потужності. Застосування такого підходу теоретично дозволяє мінімізувати імпульсні та адитивні завади, які наявні у стандартному методі амплітудної модуляції оптичних сигналів.

На основі запропонованого методу модуляції модового складу розроблено варіант структури апаратної реалізації оптичного тракту передачі даних для волоконно-оптичної телемедичної мережі (рис. 2).

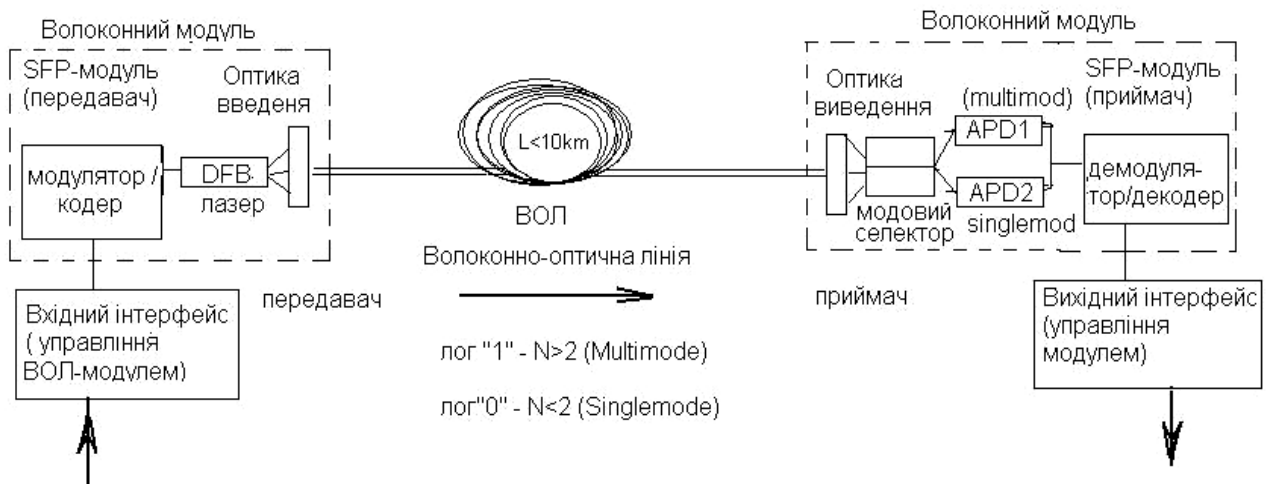


Рисунок 2 – Структура тракту передачі даних для телемедичної волоконної мережі на основі методу модуляції модового складу

Відомо, що для моделі організації телемедичної волоконної мережі з декількома спектральними каналами λ_i , де $i=1..N$, і врахуванням часових та хвильових компонент завади, оптичний сигнал матиме вигляд

$$S(t, \lambda_i) = \sum_{j=1}^n A [a_j \cdot A_m(t - j\Delta T)] + N_3(t, \lambda_i). \quad (4)$$

За умови використання двох довжин хвиль λ_1 та λ_2 ($n=2$) у одному каналі мережі сигнал (4) трансформується в

$$\begin{aligned} S(t, \lambda_1, \lambda_2) &= \sum_{j=1}^2 A [a_j \cdot A_m(t - j\Delta T)] + N_3(t, \lambda_j) = \\ &= A [a_1 \cdot A_m(t - \Delta T)] + A [a_2 \cdot A_m(t - 2\Delta T)] + N_3(t, \lambda_1, \lambda_2), \end{aligned} \quad (5)$$

де t_i – часовий інтервал імпульсу існування завади; a_1 , a_2 , A_m – діючі та максимальне значення амплітуд хвиль на довжинах хвиль λ_1 та λ_2 ; $A[a_1 A_m(t - \Delta T)]$ – сигнал у відповідному часовому вікні; $N_3(t, \lambda_1, \lambda_2)$ – амплітуда завади.

В реальній ситуації можливо, що канали на довжинах хвиль λ_1 та λ_2 матимуть однакові функції розподілу ймовірностей виникнення завад $p(\lambda) = p(\lambda_1) \approx p(\lambda_2)$, а час виникнення імпульсної складової завади в обох каналах

однаковий в часовому інтервалі t_i , тоді формула (5) прийме вигляд

$$S(t, \lambda_1, \lambda_2) = A[a_1 \cdot A_m(t - \Delta T)] + A[a_2 \cdot A_m(t - 2\Delta T)] + N_3(t_i, \lambda). \quad (6)$$

де t_i – часовий інтервал імпульсу існування завади.

У випадку одночасної передачі сигналів на двох довжинах хвиль за умови однакових значень параметрів a_j у відповідних часових інтервалах t_i ($a_1 = a_2 = a_i$, $t_1 = t_2 \rightarrow t_i$) вираз (6) спрощується:

$$S(t, \lambda_1, \lambda_2) = A[a \cdot (A_m(t - \Delta T) + A_m(t - 2\Delta T))] + N_3(t_i, \lambda). \quad (7)$$

де різниця між $A_m(t - \Delta T)$ та $A_m(t - 2\Delta T)$ проявляється через зсув фази $\Delta\varphi$ відносно сигналів на різних довжинах хвиль λ_1 та λ_2 .

Це дало змогу запропонувати двоххвильовий метод передачі інформації у волоконних телемедицинських мережах, який базується на представленні цифрового логічного сигналу (лог. «1») оптичним імпульсом на двох довжинах хвиль $\lambda_1 = 1310 \text{ нм}$ та $\lambda_2 = 1550 \text{ нм}$ одночасно. Довжини хвиль обрано, виходячи із умов мінімальної дисперсії (уширення імпульсів), мінімальних втрат кварцового скла (найпоширенішого матеріалу для волоконних світловодів оптичних кабелів зв'язку) та функціонування більшості компонентів волоконної та інтегральної оптики саме в цих діапазонах.

Формування єдиного оптичного імпульсу (лог. «1») сукупністю одразу двох оптичних сигналів (рис. 3) представимо узагальненою формою сигналу в частотній області:

$$\begin{aligned} S(l, t, \lambda) &= \int_{\lambda_2}^{\lambda_1} \int_{-\infty}^{\infty} I_0(k, \lambda) \exp \left[j \left[\omega_0 + \left(\frac{d\omega}{dk} \right)_0 t - l(k - k_0) \right] \right] dk d\lambda = \\ &= I_0(k, \lambda) \left[l - \left(\frac{d\omega}{dk} \right)_0 t \right] \exp(j(\omega_0 t - k_0 l)). \end{aligned} \quad (8)$$

Залежність (8) характеризує зміну в процесі передачі оптичного інформаційного імпульсу з груповою швидкістю $v_g = (d\omega/dk)_0$ у волоконній телемедицинській мережі (при застосуванні додатків ряду Тейлора більш високих порядків враховується вплив інших спектральних складових ω_i ($i=1 \dots n$)). Відповідний оптичний сигнал, сформований за методом двоххвильової передачі інформації у волоконній телемедицинській мережі показаний на рис. 3.

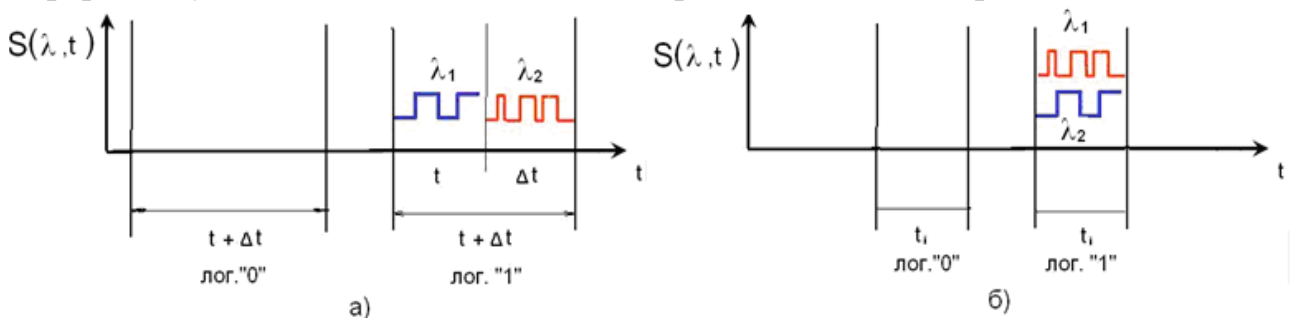


Рисунок 3 – Формування оптичних імпульсів одночасно на двох довжинах хвиль λ_1 та λ_2 : а) у різних часових вікнах $t_i + \Delta t$; б) у одному часовому вікні t_i

Для стандартної архітектури оптичної транспортної мережі «точка-точка»

розроблено структуру волоконного телемедичного каналу одночасною передачею сигналів у двох спектральних каналах, яку наведено на рис. 4.

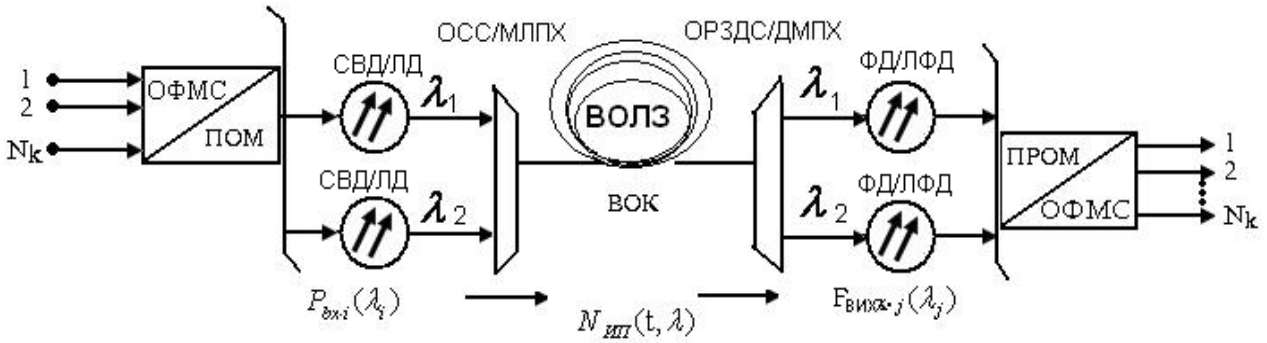


Рисунок 4 – Структура каналу двохвильової телемедичної волоконної мережі:

ПОМ – передавальний оптичний модуль; ПРОМ – приймальний оптичний модуль; ВОК – волоконно-оптичний кабель; ОСС/МЛПХ – оптичний суматор/мультиплексор; ОРЗДС/ДМПХ – оптичний розділювач-демультиплексор; СВД/ЛД – світлодіодне/лазерне джерело світла; ФД/ЛФД – фотодіод/лавинний фотодіод

Слід відзначити, що для методу двохвильового кодування, в якому сигнал передається одразу на двох довжинах хвиль $\lambda_1=1550$ нм та $\lambda_2=1310$ нм, як максимальні втрати оптичної потужності, так і максимальна дальність передачі складаються із суми потужностей кожної із довжин хвиль P_{λ_1} та P_{λ_2} . Оптичні втрати визначаються окремо для кожної спектральної складової як середньоарифметичне втрат:

$$a_{S\lambda_1\lambda_2}[dB] = \frac{-10 \left[\lg \frac{P_{out\lambda_1}}{P_{in\lambda_1}} + \lg \frac{P_{out\lambda_2}}{P_{in\lambda_2}} \right]}{2} = -5 \lg \left[\lg \frac{P_{out\lambda_1}}{P_{in\lambda_1}} + \lg \frac{P_{out\lambda_2}}{P_{in\lambda_2}} \right], \quad (9)$$

де $P_{in\lambda_1}$, $P_{in\lambda_2}$ – вхідні та $P_{out\lambda_1}$, $P_{out\lambda_2}$ – оптичні потужності на довжинах хвиль λ_1 та λ_2 .

Водночас, для окремого спектрального каналу мережі з довжиною хвилі λ_i загальний вираз сигналу має вигляд

$$S(t, \lambda_i) = A[a_j \cdot A_m(t - j\Delta T)] + N_{IP}(t, \lambda_i), \quad (10)$$

Аналітичний вираз моделі сигналу телемедичної мережі, що функціонує згідно запропонованого двохвильового методу передачі:

$$S_{in}(t, \lambda_i) = A[a_j \cdot A_m \sin(\omega t_i - j\Delta T)] = A[a_j \cdot A_m \sin(2\pi \nu t_i - j\Delta T)]; \quad (11)$$

$$S_{out}(t, \lambda_i) = D(\lambda_i) \cdot S_{in}(t, \lambda_i) = A[a_j \cdot a_{KT} \cdot D(\lambda_i) \cdot a_d \cdot A_m \sin(\omega t_i - j\{\Delta T + \tau + \Delta t_{zi}\})] + N_{IMP}(t, \lambda_i),$$

де λ_i – довжина хвилі, a_j – коефіцієнт сигналу (0 при передачі логічного «0» та 1 – логічної «1»), A_m – амплітуда оптичного сигналу, ω – циклічна частота, ν – частота, t_i – тривалість імпульсу, j – комплексна змінна, ΔT – період імпульсу, $D(\lambda_i)$ – спектральний коефіцієнт загасання; a_d – коефіцієнт оптичних втрат (для чисельних розрахунків $a_d = D$); a_{KT} – коефіцієнт впливу температури; τ – дисперсія волокна, Δt_{zi} – додатковий часовий зсув імпульсу, зумовлений

розбіжностями спектральних складових та нелінійностями; $N_{IMPI}(t, \lambda)$ – адитивні завади.

Аналогічно (11), залежність завад $N_{IMPI}(t, \lambda_j)$ з урахуванням дисперсійних характеристик і оптичних втрат визначається як:

$$N(\lambda, i_n, t) = \frac{D(\lambda_i) \cdot a_d}{\sigma_n(t+) \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{i_n^2}{2\sigma_n^2(t)}\right], \quad (12)$$

де i_n і $\sigma_n(t)$ – миттєві та середньоквадратичні значення сумарного струму завади в момент часу t на вході порогового фотоприймального пристрою.

Отже, повна модель сигналу матиме вигляд

$$S_{out}(t, \lambda_i) = D(\lambda_i) \cdot S_{in}(t, \lambda_i) = A \left[a_j \cdot D(\lambda_i) \cdot a_d \cdot a_{KT} \cdot \right. \\ \left. \cdot A_m \text{Sim}(\omega t_i - j\{\Delta T + \tau + \Delta t_{zi}\}) \right] + \frac{D(\lambda_i) \cdot a_d}{\sigma_n(t+) \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{i_n^2}{2\sigma_n^2(t)}\right] \quad (13)$$

При двохвильовій передачі інформації узагальнений сигнал $S(t, \lambda_1, \lambda_2)$ є логічною суперпозицією амплітуд окремих спектральних складових $A_{m\lambda 1}$ та $A_{m\lambda 2}$, для яких забезпечується стабільна передача імпульсів. Логічна суперпозиція сигналів амплітуд може бути подана однією із базових булевих функцій.

В третьому розділі розглянуто питання проектування волоконно-оптичної телемедичної мережі для обміну медичними відеозображеннями.

В дисертаційній роботі розроблено підхід до побудови волоконно-оптичної мережі для обміну медичними відеозображеннями, який полягає в створенні структури республіканської волоконно-оптичної телемедичної мережі для обміну медичними відеозображеннями в стандарті DICOM 3.0, що отримані з різних типів медичного обладнання для променевої діагностики і телемедичними центрами, для мінімізації попереднього оброблення зображень і втрат його якості.

Предметом дослідження виступають канали зв'язку і процедури отримання та формування візуальної діагностичної інформації з різних типів апаратури для інтроскопічної діагностики: магніторезонансного томографа; спірального комп'ютерного томографа; ЯМР-томографа; ангиографів, рентгенівських апаратів та приладів для ультразвукової діагностики; технологій і систем передачі даних медичних досліджень – ADSL, HDSL тощо.

Запропонована модель взаємодії суб'єктів телемедичного консультативного процесу в загальному вигляді представлена трьома активними рівнями функціонування: на рівні села або селища міського типу, району або обласного центру; на рівні республіканського центру.

Включення до складу локальних центрів відповідного комплексу медичної діагностичної апаратури разом з функціонально потужною апаратурою, якою оснащений сімейний лікар, дозволяє наблизити лікувально-діагностичний процес до місця проживання хворого і ліквідувати той розрив між селом і райцентром, який сьогодні існує в частині надання кваліфікованої медичної допомоги, в т. ч. і невідкладної.

Одним із варіантів досягнення вищезазначеного є доповнення чотирьох

основних типів елементів, взаємодія яких утворює волоконо-оптичну телемедичну мережу (ВОТМ) – каналоутворюючого середовища, консультаційного центру, диспетчерського пункту і віддалених пунктів – п'ятим – центром «інтернет-медицини», що позиціонується як одна із телемедичних послуг в середовищі, де глобальна комп'ютерна мережа виступає в якості інформаційного і комунікаційного каналу, в межах якого взаємодіють всі учасники телемедичного процесу.

Структура телемедичного процесу побудована таким чином, що вона максимально захищає пацієнта від непрофесійних дій, які властиві молодим лікарям відразу після закінчення навчання. Це і врахування різних ризиків, пов'язаних із хворобою пацієнта, і наявність бази даних лікарських засобів, що практично виключає помилки при призначенні ліків, і подвійний контур підтримки прийняття рішень лікарем і багато того, що необхідно для надання високоякісної медичної допомоги пацієнту.

Розроблена структура, на відміну від існуючих, встановлює попередній діагноз, після чого проводить його перевірку на наявність хоча б одного із вищеперерахованих ризиків. При їх наявності відбувається корекція попереднього діагнозу, який затверджується в подальшому як основний і на його основі призначається лікування.

Отримавши від сімейного лікаря необхідну інформацію, черговий лікар визначається, чи в змозі він самостійно надати необхідні пояснення і рекомендації сімейному лікарю чи ні. Якщо відповідь позитивна, то він самостійно проводить консультування, якщо негативна – черговий лікар скликає за участі модератора консилиум, який і визначає діагноз, тактику лікування і необхідні заходи по їх виконанню. В обох випадках прийняття рішення повинно бути затверджено на адміністративному рівні, і тільки після цього, відправлено сімейному лікарю.

Розглянуті в дисертаційній роботі алгоритми в повній мірі відповідають не тільки загальним вимогам до алгоритмічно-програмного забезпечення (АЛПЗ), а і вимогам до системного та прикладного.

Перш за все, це вимоги модульності, максимальної надійності виконання алгоритмів відповідно до специфікації з одного боку та адекватності, яка передбачає відповідність заданому алгоритму; захист від несанкціонованого доступу, а з іншого – ефективності; верифікованості; простоти і наочності складу, структури та вихідних текстів програм; ієрархічності побудови тощо. Серед загальних вимог особливого значення набуває вимога живучості АЛПЗ, яка, на жаль, не завжди враховується, хоча і передбачає виконання покладених функцій в повному або частковому обсязі при збоях і відмовах та відновленні після збоїв.

Структурно-функціональна організація запропонованої здобувачем телемедичної системи, наведена на рис. 5. Систему представлено у вигляді сукупності трьох базових ресурсозберігаючих компонент будь-якої системи: апаратного, аналітичного та інформаційного ресурсів. Таке представлення є більш наочним і сприйнятливим, оскільки одночасно надає необхідну інформацію про склад і функції кожного із компонент.

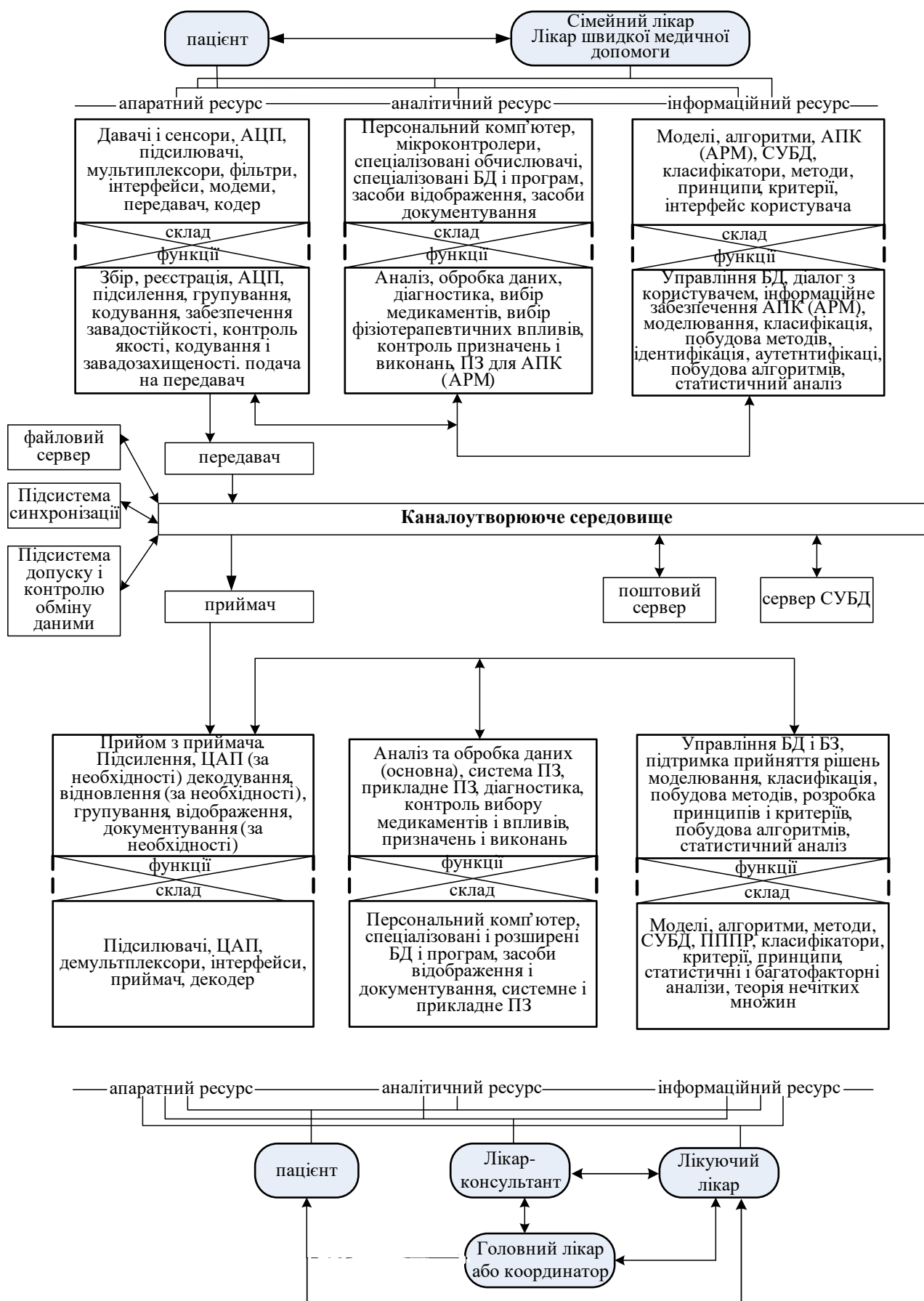


Рисунок 5 – Структурно-функціональна організація телемедичної мережі

До складу мережі також входять: каналоутворююче середовище, сервери СУБД, поштовий і діалоговий сервіс, підсистема допуску і контролю обміну даними, підсистема синхронізації.

Для практичної реалізації методу двохвилевої передачі оптичних сигналів у волоконних телемедицинських мережах з урахуванням новітніх промислових стандартів для волоконно-оптичних систем передачі інформації, пропонується узагальнена схема побудови лінійного оптичного тракту передачі даних з підвищеною стабільністю (рис. 6), яка побудована на основі SFP-модулів (*small form-factor pluggable modules*), орієнтованих на стандартні вікна прозорості оптичного волокна $\lambda_1=1310$ нм, $\lambda_2=1550$ нм (рис. 7).

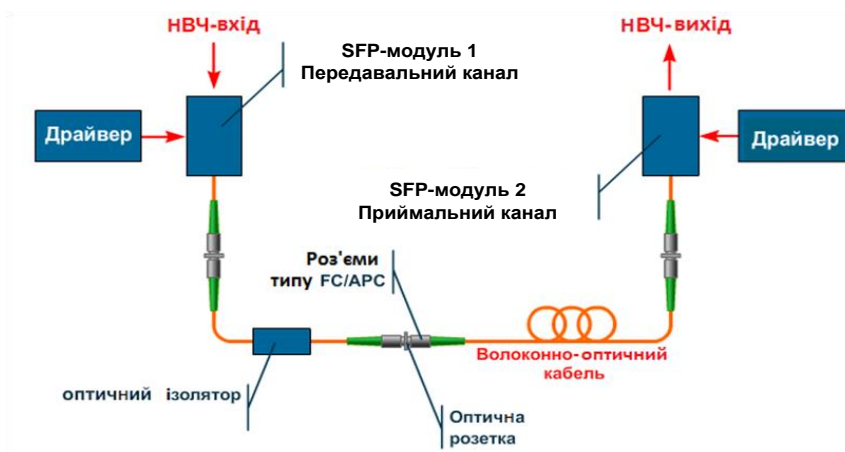


Рисунок 6 – Структурна схема організації каналу волоконного зв'язку оптичної транспортної мережі

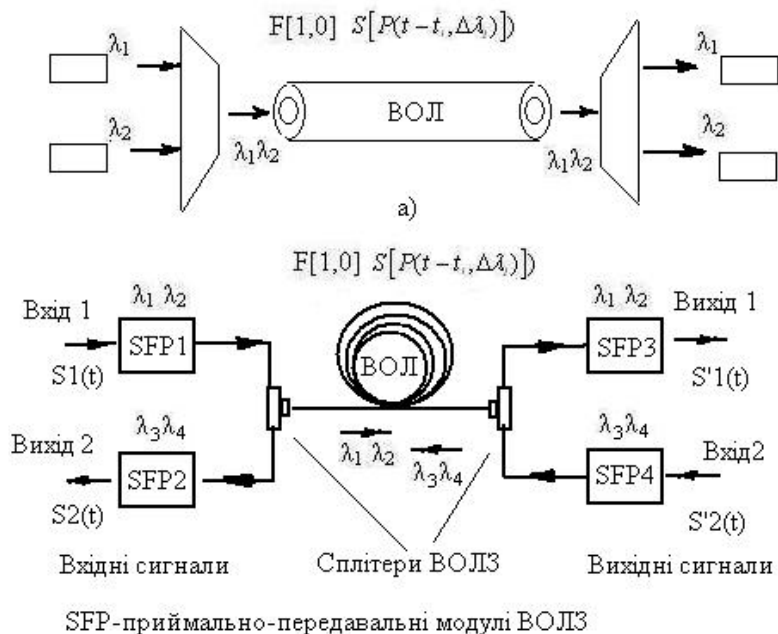


Рисунок 7 – Структура волоконно-оптичних каналів телемедицинської мережі:
а) узагальнена схема побудови однонаправленого каналу; б) структура двонаправленого каналу мережі із використанням чотирьох SFP-модулів

Наведена на рис. 7, б структура волоконно-оптичного каналу телемедичної мережі призначена для передачі інформації у двохсторонньому напрямку через одне оптичне волокно, що зумовлює її використання у комп'ютерних мережах для більшості задач передачі інформації у телемедицині. Це реалізується за рахунок використання двох каналів на 4-х довжинах хвиль $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ (по дві на кожний SFP-модуль). Оптичні суматори організовують двонаправлене введення сигналів у волоконний канал. Так, на вході 1 сигнал $S_1(t)$ надходить на SFP1-модуль, який формує двоххвильовий сигнал передачі на базі логіко-часової функції тривалості $F[1,0]$ на відповідних довжинах хвиль λ_1, λ_2 . На виході 1 модулем SFP3 здійснюється прийом двоххвильового сигналу $S_1(t)$, його демодуляція і декодування за схемою диференціального фотоприймача. Передача сигналу від входу 2 (SFP4) на довжинах хвиль λ_3, λ_4 до виходу 2 (SFP2) здійснюється аналогічно.

Для наведеної на рис. 7, б схеми прямого каналу волоконної телемедичної мережі пропонується обрати довжини хвиль $\lambda_1=1310\text{нм}$ для SFP1 та $\lambda_2=1550\text{нм}$ для SFP3, а для зворотного каналу – $\lambda_3=1320\text{нм}$ для SFP2 та $\lambda_4=1560\text{нм}$ для SFP4, відповідно, (дисперсія та оптичні втрати у зворотного тракту при цьому також будуть мінімальними).

Четвертий розділ присвячено експериментальному дослідженню волоконно-оптичної телемедичної мережі для обміну відеозображеннями.

Для моделювання процесів передачі інформації у запропонованій мережі (рис. 7) у спеціалізованому середовищі OptiSim (R-Soft) використано схему функціонування, що наведена на рис. 8, для якої були отримані модельні залежності хроматичної дисперсії при потужності двоххвильового сигналу 10 мВт на довжинах хвиль 1550 нм та 1330 нм для волокна SMF-LS типу NZDSF. Також було досліджено спотворення форми інформаційного імпульсу при передачі його по мережі, про що свідчить рис. 9, на якому видно, що спотворення сигналу незначні та визначаються переважно дисперсійною складовою.

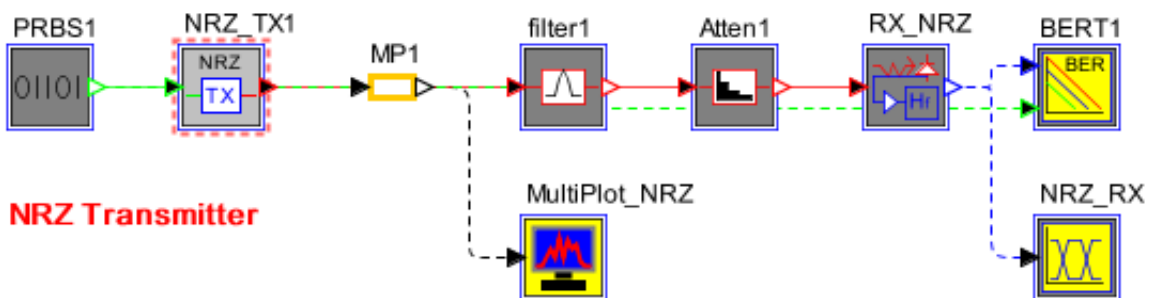


Рисунок 8 – Модель функціональної схеми мережі у середовищі OptiSim

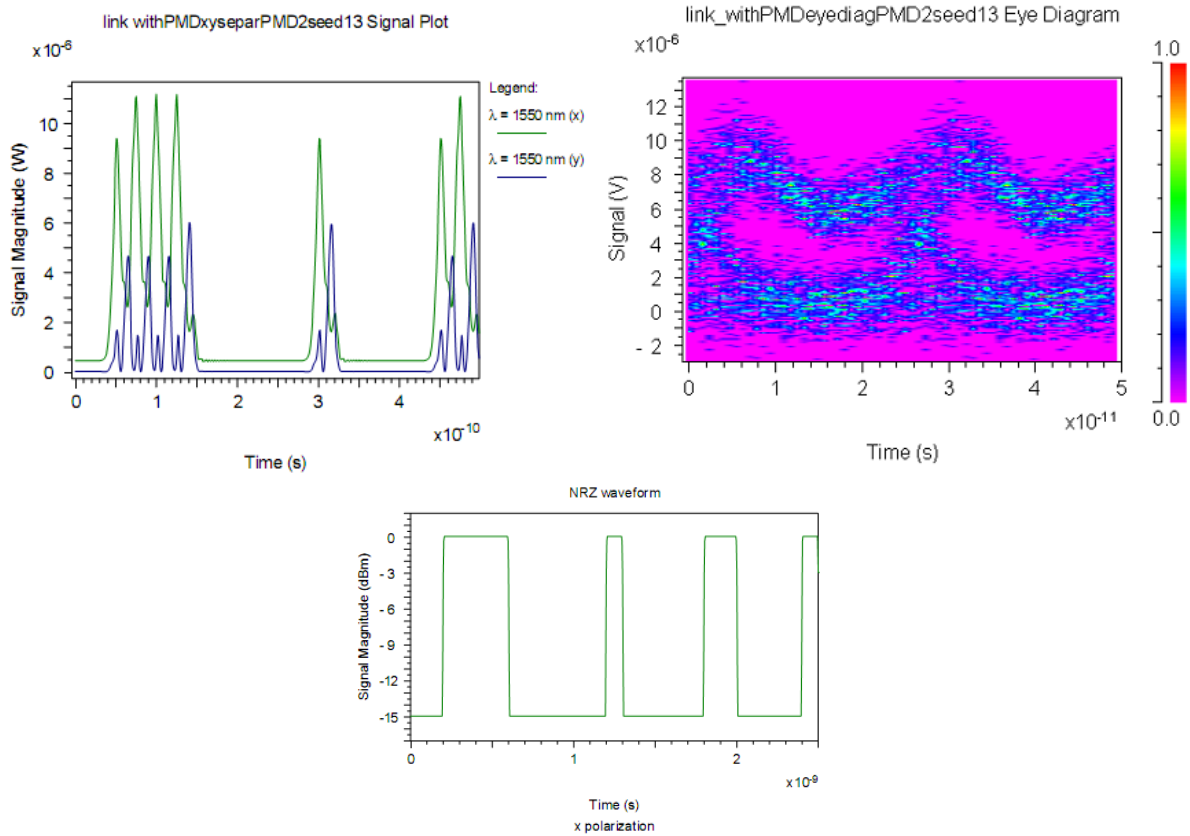


Рисунок 9 – Модельна форма двохвильового оптичного сигналу ($p=10$ мВт, $\lambda_1=1550$ нм та $\lambda_2=1330$ нм) та «око-діаграма» для волокна SMF-LS типу NZDSF

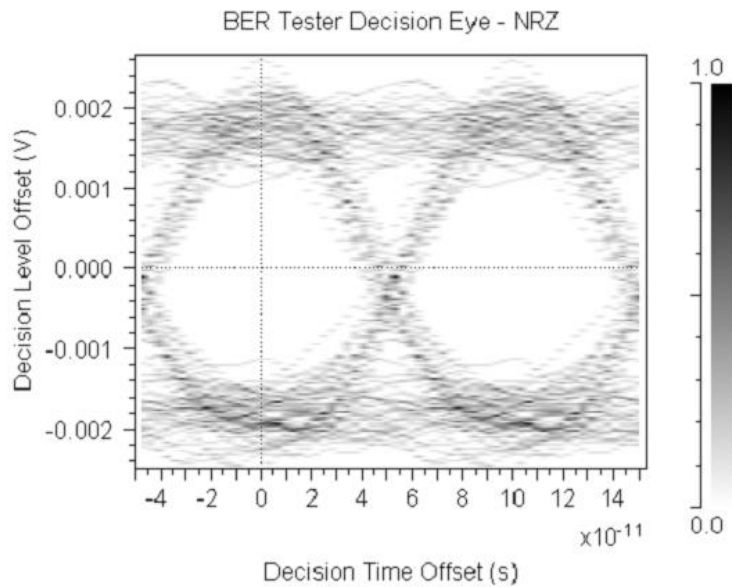


Рисунок 10 – Модельний спектр сигналу передавача

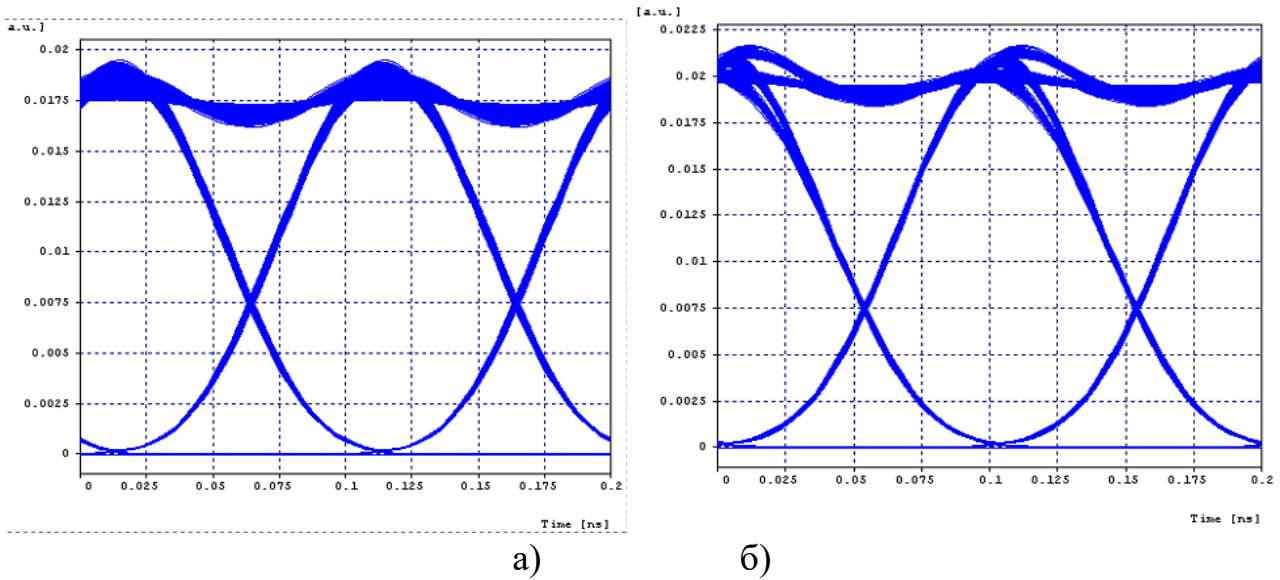


Рисунок 11 – Модель «око-діаграм» на вході (а) та на виході (б) при потужності 10мВт (10дБм) для волокна SMF-LS типу NZDSF ($\lambda_1=1550\text{нм}$, $\lambda_2=1330\text{нм}$)

Для дослідження нелінійних явищ та оптичної потужності було побудовано іншу схему функціонування мережі у спеціалізованому середовищі OptiSim (рис. 12) та отримано залежність оптичної потужності основного сигналу в оптоволоконному тракті (рис. 13). На рис. 14 приведено «око-діаграму» такого сигналу.

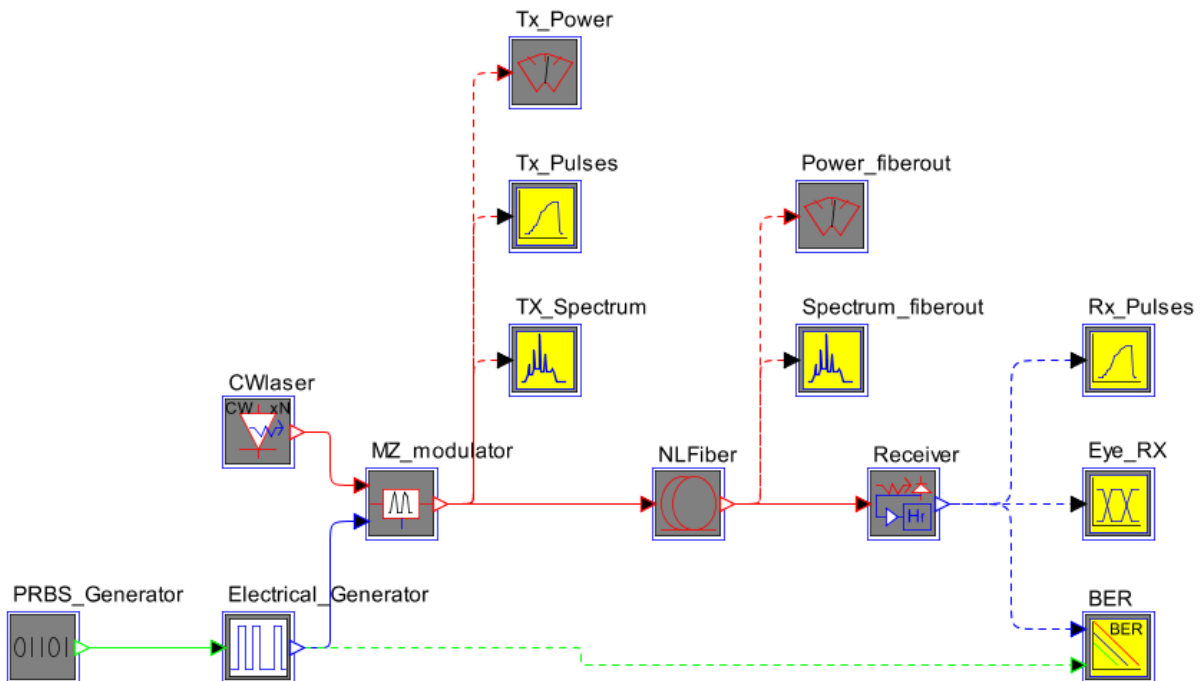


Рисунок 12 – Функціональна схема мережі в середовищі OptiSim для дослідження оптичної потужності та нелінійних явищ

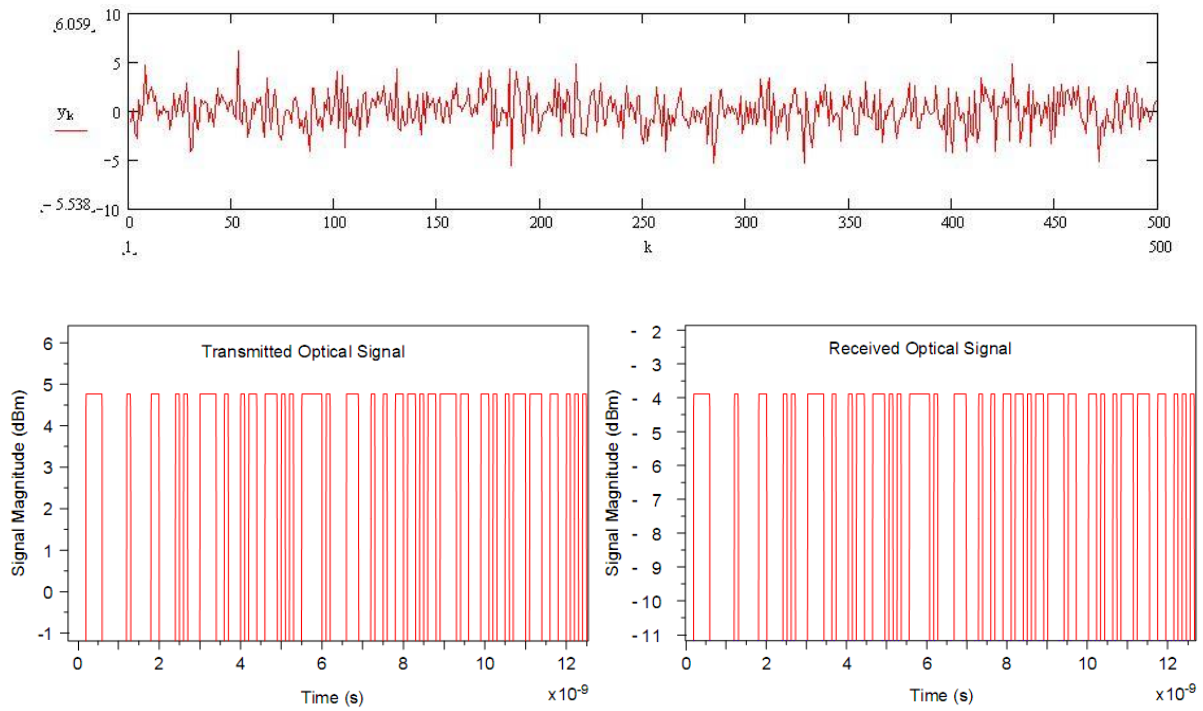


Рисунок 13 – Модельна залежність вхідної і вихідної оптичної потужності сигналу

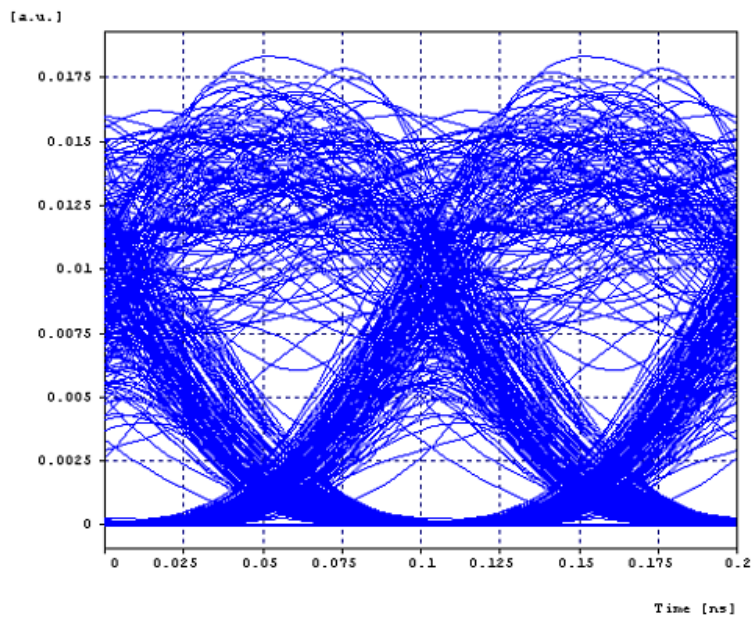


Рисунок 14 – Модельна «око-діаграма» на виході приймача оптичних сигналів (RX_NRZ)

За результатами проведених розрахунків передачі інформації у форматі DICOM 3.0 по розробленій ВОТМ та її аналогах встановлено, що для розробленої мережі помилка першого роду знижена з 3,4% до 1,3%; помилка другого роду досягла значення 3,8% (у аналогів не менше 6,7%), а безпомилковість передачі інформації – 98,7%, що дозволило підвищити загальну ефективність мережі за двома головними критеріями – чутливістю – з 91,3% (аналог) до 98,7% і специфічністю – з 89,7% (аналог) до 96,2%.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

1. Виконаний з використанням бібліосемантичного підходу критичний аналіз вітчизняного і світового контенту щодо досвіду і наукових підходів до вирішення досліджуваної проблеми – створення оптоелектронних мереж для обміну телемедичними даними, визначив коло невирішених задач і основні напрямки їх розвитку.

2. Розроблення методу модової модуляції медичних сигналів забезпечило передачу по волоконно-оптичних каналах оптичного сигналу «лог. 1» в багатомодовому і «лог. 0» в одномодовому режимах, яке було досягнуто зміною довжини хвилі DBF–джерела випромінювання поблизу нормованої частоти оптоволокна, що забезпечило стабільну передачу оптичних сигналів при менших рівнях адитивних та імпульсних завад, які залежать від рівня оптичної потужності.

3. Розроблення на основі моделі інформаційного каналу передачі телемедичних даних волоконно-оптичного каналу зв'язку для обміну телемедичною інформацією з додатковим введенням до його структури оптичних підсилювачів з автоматичним регулюванням підсилення (АРП) та блоку автоматичного контролю і діагностики оптичного кабелю забезпечило дистанційний автоматичний контроль та діагностику стану кабелю з точним визначенням місця і характеру пошкодження, прив'язку рефлекторів до географічної карти місцевості та аналіз змін параметрів ВОКЗ в часі, що в кінцевому результаті підвищило достовірність і покращило якість передачі біомедичної інформації.

4. Подальший розвиток методу двохвильової передачі медичних даних у волоконно-оптичних каналах телемедичних мереж створив умови для передачі оптичного інформаційного імпульсу одночасно на двох довжинах хвиль λ_1 і λ_2 в одному часовому вікні, що зменшило вплив завад, підвищило показник сигнал/шум і загальну стабільність передачі телемедичної інформації.

5. Отримана в результаті моделювання модель враховує ключові параметри волоконно-оптичного середовища – оптичні втрати і дисперсію сигналу, що дозволяє їх компенсувати і сформуванню сигнал, який спроможний пройти максимальну відстань при мінімальних часових спотвореннях і втратах, які залежать від конкретного типу оптоволокна.

6. Розроблення волоконно-оптичної телемедичної мережі для обміну по волоконно-оптичних каналах зв'язку оперативними результатами телемедичної діагностики і моніторингу стану здоров'я пацієнтів у віддалених районах забезпечило її адаптацію до стандарту DICOM, інформаційну підтримку прийняття рішень, гнучку систему управління роботою мережі з дотриманням вимог по захисту персональних даних пацієнтів.

7. Структурно-функціональна організація телемедичної системи у вигляді сукупності трьох базових ресурсів: апаратного, аналітичного та інформаційного представила кожен з них апаратно-програмними модулями зв'язку та оброблення даних між давачами і сенсорами та цифровими засобами, що забезпечило за підтримки медико-фізіологічних алгоритмів, аналізу сукупної медичної інформації і за його результатами – суттєве скорочення часових і

фінансових витрат при проектуванні подібних систем.

8. Порівняльний аналіз розробленої волоконно-оптичної телемедичної мережі та найближчих аналогів підтвердив її повну відповідність «Рекомендаціям по сумісності національних консультаційних телемедичних мереж держав-учасниць СНД» (м. Баку, 23.05.2005), що забезпечило вирішення двох принципових завдань телемедицини: перетворення різноманітних діагностичних даних, отриманих від пацієнтів, що знаходяться на відстані від телемедичного центру, по волоконно-оптичних каналах зв'язку в цифрову форму без втрати якості та заповнення баз даних цифровою діагностичною інформацією.

9. За результатами проведених розрахунків передачі інформації у форматі DICOM 3.0 по розробленій ВОТМ та її аналогах встановлено, що для розробленої мережі помилка першого роду знижена з 3,4% до 1,3%; помилка другого роду досягла значення 3,8% (у аналогів не менше 6,7%), а безпомилковість передачі інформації – 98,7%, що дозволило підвищити загальну ефективність мережі за двома головними критеріями – чутливістю – з 91,3% (аналог) до 98,7% і специфічністю – з 89,7% (аналог) до 96,2%.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

[1] В. П. Кожем'яко, О. В. Шевченко, Р. Л. Кобзаренко та Я. І. Ярославський, “Спосіб побудови та методика створення уніфікованої системи трансформації довжин хвиль”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(13), с. 162–168, 2007.

[2] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, М. Г. Тарновський та Я. І. Ярославський, “Аналітичний огляд технологій геоінформаційно-енергетичних мереж та методів підвищення стабільності їх функціонування”, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6, с. 91–97, 2013.

[3] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, М. Г. Тарновський, та Я. І. Ярославський, “Аналітичний огляд та класифікаційний аналіз технологій сучасних об'єднаних інформаційних мереж на основі ліній передавання електроенергії”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(25), с. 100–116, 2013.

[4] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський та Я. І. Ярославський, “Застосування технологій фотоелектричних перетворювачів в моделі інформаційних мереж із розподіленими джерелами енергії”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2, с. 96–108, 2013.

[5] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, А. В. Клепіковський, В. П. Нездоровін, Я. І. Ярославський та Л. В. Кузьменко, “Мультиканальна відкрита атмосферна оптична система зв'язку”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(28), с. 120–128, 2014.

[6] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський та Я. І. Ярославський, “Метод та структури двохвилевої передачі інформаційних імпульсів у волоконно-оптичних каналах сучасних інформаційних мереж”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(27), с. 210–225, 2014.

[7] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський та Я. І. Ярославський, “Метод та структура модової маніпуляції сигналів у волоконно-оптичних каналах інформаційних мереж”, *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*, № 6 (219), с. 118–126, 2014.

[8] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, Я. І. Ярославський та Г. С. Колесник, “Моделювання процесів розповсюдження сигналів в оптичних волокнах за вдосконаленим методом двохвильового передавання інформації”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(30), с. 139–150, 2015.

[9] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський та Я. І. Ярославський, “Аналіз фактору сигнал-шуму для підвищення якості передавання інформаційного сигналу по волоконно-оптичним каналам за методом двохвильової передачі інформації”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(29), с. 155–162, 2015.

[10] А. Д. Слободяник, Л. Г. Коваль, М. В. Лисий, А. І. Білюк та Я. І. Ярославський, “Розподіл енергії в спектроенергетичних перетворювачах”, *Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки*, № 2(259), с. 276–282, 2018.

[11] Л. І. Тимченко, О. В. Маліночка та Я. І. Ярославський, “Підвищення інтелектуальності мережі на основі інтелектуально-статистичних маршрутизаторів”, на *III Міжнар. наук.-техн. конф. Оптикоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2005»*, Вінниця, 2005, с. 46–47.

[12] С. М. Злепко, Ч. А. Чернишова, В. Є. Кривоносов, О. Ю. Азархов, Я. І. Ярославський та Д. М. Барановський, “Многоуровневая система защиты и управления медицинским диагностическим оборудованием (МДО)”, на *VI Міжнар. наук.-практ. конф. Методи та засоби кодування, захисту й ущільнення інформації*, Вінниця, 2017, с. 157–160.

[13] В. П. Кожем'яко, О. В. Шевченко, Я. І. Ярославський та О. А. Бойко, “Спосіб уніфікованої трансформації довжин хвиль”, *U 2008 01299, МПК F24J1/00*, Чер. 10, 2008.

[14] В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, В. І. Маліновський, А. В. Кожем'яко та Я. І. Ярославський, “Спосіб перетворення довжин світлових хвиль та спектральний перетворювач для його реалізації”, *a 2013 11201, МПК F24J2/18*, Сер. 08, 2014.

[15] В. П. Кожем'яко, В. І. Маліновський, Я. І. Ярославський, В. В. Мороз та О. О. Штельмах, “Локальні геоінформаційно-енергетичні мережі на новітніх волоконно-оптичних лініях із спектротрансформаторним живленням”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(24), с. 137–146, 2012.

[16] В. П. Кожем'яко, А. Д. Слободяник, Я. І. Ярославський та А. В. Кожем'яко, “Теоретичні основи побудови електроенергетичних перетворювачів”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(21), с. 163–170, 2011.

[17] В. Е. Кривоносов, С. М. Злепко, Т. А. Чернишова, та Я. І. Ярославський, “Алгоритм діагностики стану болтового струмопровідного з'єднання комп'ютерного томографа”, на *IV Міжнар. наук. конф. Вимірювання*,

контроль та діагностика в технічних системах (ВКДТС-2017), Вінниця, 2017, с. 248-249.

[18] A. D. Cherenkov, N. G. Kosulina, Y. I. Yaroslavskyy, "Justification of the electromagnetic impulse method destruction of insect pests, *Proc. SPIE 10808, Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2018*, 108083P (1 October 2018), <https://doi.org/10.1117/12.2501665>.

АНОТАЦІЯ

Ярославський Я. І. Волоконно-оптична телемедична мережа для обміну відеозображеннями. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи. Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2019.

У дисертаційній роботі викладені результати досліджень щодо підвищення ефективності обміну медичними відеозображеннями у волоконно-оптичній телемедичній мережі шляхом розроблення її структури, моделі і методів побудови. Предметом дослідження є канали зв'язку та процедури отримання та формування візуальної діагностичної інформації від різних типів обладнання.

Розроблено модель процесу передачі інформації у волоконно-оптичному тракті телемедичної мережі, яка визначає оптичні втрати і дисперсію сигналу в волоконно-оптичному середовищі, компенсує їх і формує сигнал, спроможний, в залежності від типу оптоволокна, подолати максимальну відстань при мінімальних часових спотвореннях і втратах. Отримав подальшого розвитку підхід до створення волоконної телемедичної мережі для обміну медичними відеозображеннями в стандарті DICOM 3.0.

Подальший розвиток методу двохвильової передачі медичних даних у волоконно-оптичних каналах телемедичних мереж створив умови для передачі оптичного інформаційного імпульсу одночасно на двох довжинах хвиль.

Запропоновано волоконну телемедичну мережу, яка забезпечує обмін оперативними результатами телемедичної діагностики і моніторингу стану здоров'я пацієнтів по оптичних каналах зв'язку між віддаленими районами та обласним центром.

Ключові слова: телемедицина, волоконно-оптична телемедична мережа, біомедична інформація, телемедична діагностика, медичні відеозображення, система, передача даних.

АННОТАЦИЯ

Ярославский Я. И. Волоконно-оптическая телемедицинская сеть для обмена видеоизображениями. – Квалификационная научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.17 – биологические и медицинские приборы и системы. Винницкий национальный технический университет, Винница, 2019.

В диссертационной работе представлены результаты исследований по повышению эффективности обмена медицинскими видеоизображениями в волоконно-оптической телемедицинской сети путем разработки ее структуры, модели и методов построения. Предметом исследования выступают каналы связи и процедуры получения и формирования визуальной диагностической информации из различных типов аппаратуры.

Разработана модель процесса передачи информации в волоконно-оптическом тракте телемедицинской сети, которая определяет оптические потери и дисперсию сигнала в волоконно-оптической среде, компенсирует их и формирует сигнал, способный, в зависимости от типа оптоволокна, преодолеть максимальное расстояние при минимальных временных искажениях и потерях.

Получил дальнейшего развития подход к созданию волоконной телемедицинской сети для обмена медицинскими видеоизображениями в стандарти DICOM 3.0.

Дальнейшее развитие метода двухволновой передачи медицинских данных в волоконно-оптических каналах телемедицинских сетей создал условия для передачи оптического информационного импульса одновременно на двух длинах волн.

Предложена волоконная телемедицинская сеть, которая обеспечивает обмен оперативными результатами телемедицинской диагностики и мониторинга состояния здоровья пациентов по оптическим каналам связи между удаленными районами и областным центром.

Ключевые слова: телемедицина, волоконно-оптическая телемедицинская сеть, биомедицинская информация, телемедицинская диагностика, медицинские видеоизображения, система, передача данных.

ABSTRACT

Yaroslavskii Ya. Fiber Optic Telemedicine Network for Video-Images Exchange. – Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Dissertation for obtaining the scientific degree of technical sciences candidate (PhD) in specialty 05.11.17 – Biological and Medical Devices and Systems. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2019.

The dissertation presents the results of research on improving the efficiency of exchange of medical video images in the fiber optic telemedicine network by developing its structure, model and methods of construction.

The subject of the research is communication channels and procedures for obtaining and generating visual diagnostic information from various types of equipment for introspective diagnostics.

A model of the information transmission process in the fiber-optic tract of the telemedicine network has been developed, which determines the optical losses and the dispersion of the signal in the fiber-optic environment, compensates for them and generates a signal that can, depending on the type of fiber, overcome the maximum distance with minimal time distortions and losses. The approach to creating a fiber-optic telemedicine network for the exchange of medical video images in DICOM 3.0 standard, obtained from different types of medical equipment for radiodiagnosis and

telemedicine centers, was further developed, which allowed to define the information space of the network as a complex hierarchical environment in which each level of information is characterized by, software and hardware to process and interpret the information received.

A fiber-optic telemedicine network is proposed to provide for the exchange of operational results of telemedicine diagnostics and monitoring of patients' health status through optical communication channels between remote areas and the regional center and, unlike the existing ones, provides its adaptation to the DICOM standard, information support for decision-making, a flexible network management system that complies with patient data protection requirements.

The method of two-wave transmission of medical digital data was further developed by presenting a digital logical signal with an optical pulse simultaneously at two wavelengths $\lambda_1 = 1310$ nm and $\lambda_2 = 1550$ nm, the choice of which was made based on the conditions of minimum dispersion and minimized loss of silica glass, which reduced the effect of interference and increased the signal-to-noise level and stability of the transmission of biomedical information and received further development of the approach to creating a fiber telemedicine network for the exchange of medical images in DICOM 3.0 standard, derived from different types of medical equipment for radiation diagnosis and telemedicine centers, allowing to determine the information area network as a complex hierarchical environment in which each layer is characterized by its own information, software and hardware to process and interpret the information received.

The development of a fiber-optic communication channel for the exchange of telemedical information based on the model of the information channel for transmitting telemedicine data with the additional introduction of optical amplifiers with automatic gain control (AGC) and an optical cable automatic control and diagnostic unit into its structure provided remote automatic control and diagnostics of the cable status with accurate determination of the location and nature of the damage, the binding of reflectors to a geographical map of the area and analysis of changes changes in the parameters of VOC over time, which ultimately increased the reliability and quality of the transfer of biomedical information.

A comparative analysis of the developed fiber-optic telemedicine network and its closest analogues confirmed its full compliance with the "Recommendations on Compatibility of National Consultative Telemedicine Networks of the CIS Member States" (Baku, May 23, 2005), which provided the solution of two basic problems of telemedicine: transformation of different telemedicine data obtained from telephony center patients via fiber optic digital communication without loss of quality and completion of digital databases th diagnostic information.

According to the results of the DICOM 3.0 information transfer calculations on the developed VOTM and its analogs, it is established that the first kind of error was reduced from 3.4% to 1.3% for the developed network; the second kind of error reached the value of 3.8% (at analogues not less than 6.7%), and the error of information transmission - 98.7%.

Keywords: telemedicine, fiber optic telemedicine network, biomedical information, telemedicine diagnostics, medical video images, system, data transfer.

Підписано до друку 19.09.2018 р. Формат 29,7 42 1/4
Наклад 100 прим. Зам. № 2019-126.
Віддруковано в інформаційному редакційно-видавничому центрі
Вінницького національного технічного університету.
м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95. Тел.: 65-18-06
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
серія ДК № 3516 від 01.07.2009 р.