

Вінницький національний технічний університет  
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ЯРОСЛАВСЬКИЙ ЯРОСЛАВ ІВАНОВИЧ**

УДК 004.7:621.397:614

**ДИСЕРТАЦІЯ**

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

05.11.17 – біологічні та медичні прилади і системи  
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ Я.І.Ярославський

Науковий керівник Злепко Сергій Макарович, доктор технічних наук, професор

Вінниця — 2019

## 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, МОН України, Вінниця, 2019.

Ефективне впровадження новітніх результатів розвитку науки і техніки в практику охорони здоров'я можливе за умови створення системи та інфраструктури трансляційної медицини, що дозволить об'єднати в єдине ціле всі життєві етапи медичної технології від її розробки до використання в клінічній практиці. Істотним стримуючим фактором є недостатнє застосування сучасних інформаційних та комунікаційних технологій і впровадження методів систематизації медичної інформації. Розвиток телемедицини стримують також і проблеми в галузі інформаційної безпеки, які пов'язані з дотриманням вимог захисту особистих даних пацієнтів і персональних даних про стан їх здоров'я.

Спеціалізована медична апаратура, а також цифрові зображення, створені за її допомогою, стали невід'ємною частиною діагностичного та лікувального процесів. Так само активно використовуються цифрові можливості для передачі і обміну медичними зображеннями у комп'ютерних мережах. Електронний обмін діагностичними зображеннями забезпечує розвиток і поширення телемедицини з використанням економічно виправданих, технічно і організаційно оптимальних сеансів віддаленого консультування, що вимагає швидкої і надійної системи передачі даних.

Вдосконалення і модифікація телекомунікаційного стандарту DICOM, розроблення і запровадження ефективних технологій архівування медичних зображень дозволить забезпечити скорочення обсягів потокової інформації, часу на її передачу, а також коштів, які на це витрачаються.

Широке впровадження телемедицини на основі єдиної технологічної і технічної політики дозволяє істотно підвищити ефективність надання первинної

медико-санітарної допомоги шляхом проведення віддаленого скринінгу пацієнтів, які перебувають в різних групах ризику, підвищення якості діагностики соціально значимих захворювань на рівні первинної ланки, підвищення ефективності надання швидкої та невідкладної медичної допомоги за рахунок використання волоконно-оптичної мережі, підвищення доступності консультаційних послуг медичних експертів для населення за рахунок використання телемедичних консультацій, підвищення точності і об'єктивності діагностичних досліджень, зниження кількості рутинних операцій в повсякденній діяльності медичного працівника, підвищення оперативності та достовірності передачі медичної інформації про стан здоров'я пацієнта.

Адаптація проектуємої телемедичної мережі до стандартів створення, зберігання, передачі та візуалізації медичних зображень DICOM та електронного медичного документообігу HL7 забезпечує ефективний обмін медичними даними між різними закладами охорони здоров'я, що підвищує швидкість та якість лікування з одночасним зменшенням його вартості.

Створення в Україні загальнонаціональної інфраструктури трансляційної телемедицини на базі заводо захищених волоконно-оптичних транспортних мереж із високою пропускнуою здатністю, спроможних об'єднати в єдине ціле регіональні і корпоративні телемедичні мережі віддаленого консультування, діагностики і навчання для щоденного застосування у клінічній практиці, є актуальним напрямком розвитку медико-технічних систем, що дозволить підвищити якість надання медичної допомоги населенню.

В дисертаційній роботі розв'язано науково-технічну задачу підвищення ефективності обміну медичними даними у волоконно-оптичній телемедичній мережі шляхом розробки розроблення її уточненої моделі, оптимізації структури та методів побудови.

В дисертаційній роботі одержані такі нові наукові результати:

1. Вперше для волоконно-оптичних каналів телемедичних мереж з швидкістю до 150 Мбіт/с запропоновано метод модуляції модового складу з підвищеною заводостійкістю 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 ключові параметри волоконно-оптичного середовища – 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.

Результати теоретичних та практичних досліджень, проведених в дисертаційній роботі мають виразну прикладну спрямованість та застосовуються для розроблення регіональної телемедичної мережі високої пропускної здатності з високою стабільністю та надійністю передавання медичних відеозображень. Прикладні результати роботи:

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 та інформаційними модулями, які здійснюють зв'язок між вимірювальними здавачами 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, 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, що сприяло покращенню якості викладання лекційного матеріалу і проведення практичних занять.

Для того, щоб в процесі передачі сигналу зберігалась його форма, а величина амплітуди зазнавала найменших спотворень необхідно зберігати співвідношення сигнал/шум у встановлених допустимих межах. При цьому мінімально допустиме значення сигнал/шум визначається з граничних умов максимальної швидкості передавання даних із врахуванням зменшення смуги пропускання. Для зменшення дисперсії та відповідно збільшення швидкості передавання, окрім заходів підтримання величини сигнал/шум, слід обирати одномодове оптичне волокно, в якому відсутня модова дисперсія.

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) і блоку автоматичного контролю та діагностики оптичного кабелю забезпечило дистанційний автоматичний контроль за станом волокна кабелю і точною локацією 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.

Обґрунтовано склад обладнання регіонального телемедичного центру, що включає систему багатоточкового відеоконференцзв'язку; систему відеотрансляції операцій; студію для індивідуальних телемедичних консультацій, обладнану системою відеоконференцзв'язку точка-точка; DICOM сервер; периферійне устаткування, що забезпечує документування, запис, відтворення лекцій, телемедичних консультацій та даних пацієнта.

Дослідження розробленої телемережі показали, що цифрові зображення з дійсним неспотворенням DICOM файлів передавались у 98,7% випадків, що визначає рівень безпомилковості передачі даних. Помилки віднесення об'єктів з дійсним спотворенням кадру зображення і відеоінформації до класу неспотворених DICOM файлів можливі з вірогідністю 1,3%, а навпаки – 3,8%.

За результатами проведених експериментальних розрахунків передавання інформації у форматі DICOM 3.0 по розробленій волоконно-оптичній телемедичній мережі 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 передавання 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%.

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

## ANNOTATION

*Yaroslavsky Y. I.* Fiber optic telemedicine network for video-images exchange. – Qualifying scientific work on the rights of manuscripts.

Dissertation for the degree of a candidate of technical sciences (Doctor of Philosophy) in specialty 05.11.17 «Biological and medical devices and systems» – Vinnytsia National Technical University, MES of Ukraine, Vinnytsia, 2019.

Effective implementation of the latest results of science and technology in healthcare is possible provided the system and infrastructure of translational medicine is created, which will allow to integrate all vital stages of medical technology from its development to its use in clinical practice. A significant deterrent is the lack of use of modern information and communication technologies and the introduction of methods for systematizing medical information. The development of telemedicine is also hampered by information security issues that have to do with the protection of patients' personal data and personal health data.

Specialized medical equipment, as well as digital images created with its help, have become an integral part of the diagnostic and therapeutic processes. Digital opportunities for the transmission and sharing of medical images on computer networks are also being actively used. Electronic diagnostic imaging enables the development and dissemination of telemedicine using cost-effective, technically and organizationally optimal remote counseling sessions that require a fast and reliable data transmission system.

Improvement and modification of the DICOM telecommunication standard, development and implementation of effective technologies for archiving medical images will allow to reduce the amount of streaming information, time for its transmission, as well as the money spent on it. The widespread adoption of telemedicine based on a common technological and technical policy can significantly improve the effectiveness of primary health care by remote screening of patients at different risk groups, improve the quality of diagnosis of socially significant diseases at the primary level, and improve the efficiency of providing rapid delivery. medical assistance through the use of fiber optic network,

increasing the availability of medical consulting services ex ertiv to the public through the use of telemedicine consultations to improve the accuracy and objectivity of diagnostic tests, reducing the number of routine operations in everyday activities health worker, increased efficiency and reliability of the transmission of medical information about the patient's condition.

The adaptation of the projected telemedicine network to the standards for the creation, storage, transmission and visualization of DICOM medical images and the HL7 electronic medical records ensures the effective exchange of medical data between different healthcare institutions, which increases the speed and quality of treatment while reducing its cost.

Creation of the national telemedicine infrastructure in Ukraine on the basis of high-bandwidth fiber-optic transport networks capable of integrating into one whole regional and corporate telemedicine networks of remote consulting, diagnostics and training for daily development in clinical practice. -technical systems that will improve the quality of health care delivery to the population. The dissertation deals with the scientific and technical problem of improving the efficiency of medical data exchange in the fiber-optic telemedicine network by developing the development of its refined model, optimizing the structure and construction methods.

The scientific novelty of the results of the work is as follows:

1. For the first time, for fiber optic channels of telemedicine networks with speeds up to 150 Mbps, a modulation method of modular composition with high noise immunity and additional protection against unauthorized access is proposed, which can be considered as a separate partial case of increasing the stability of transmission and protection of data at the ends of the devices optical telemedicine networks.

2. For the first time, a model of the information transmission process in the fiber-optic tract of the telemedicine network is developed, which determines key parameters of the fiber-optic environment - optical losses and signal dispersion in the fiber-optic environment, compensates for them and generates a signal capable, depending on the type of fiber, to overcome the maximum distance with minimal time distortions and losses.



3. The method of two-wave transmission of medical digital data by presenting a digital logical signal was further developed (logic 1) optical pulse simultaneously at two wavelengths  $\lambda_1 = 1310$  nm and  $\lambda_2 = 1550$  nm, the choice of which is made based on the condition of minimum dispersion and minimized losses of quartz glass, which reduced the effect of interference and increased the signal / noise level and overall stability of the transmission biomedical information.

4. The approach to creating a fiber-optic telemedicine network for the exchange of medical video images in DICOM 3.0, 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 character is characterized. proprietary information, software and hardware to process and interpret the information received.

The results of theoretical and practical research conducted in the dissertation have a clear applied orientation and are used to develop a regional high-bandwidth telemedicine network with high stability and reliable transmission of medical video images. Applied results:

1. Fiber telemedicine network is proposed, which provides 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, informative support of acceptance. solutions, flexible network management system with compliance with the requirements for the protection of patients' personal data.

2. The structural and functional organization of the telemedicine system is developed in the form of a set of three basic resources: hardware, analytical and information, represented by hardware-software and information modules that communicate between measuring transmitters and sensors and digital means of data processing with the support of medical and physiological algorithms for analysis and processing of aggregate medical information, which significantly reduces the time and financial costs at all stages of designing such systems and transmission single data.

3. The results of the dissertation were implemented in the practical activity of the Odessa Regional Center of Telemedicine at the Odessa Regional Clinical

Hospital, which increased the accuracy (over 95%) and improved the quality of transmission of biomedical information. The results of the work are also used in the educational process of the Department of Biomedical Engineering of Vinnitsa National Technical University, which contributed to the improvement of the quality of teaching of lecture material and conducting of practical classes.

In order to maintain its shape during the signal transmission and to minimize the amplitude of the amplitude, it is necessary to keep the signal-to-noise ratio within the set acceptable limits. The minimum allowable signal / noise value is determined from the limit conditions of the maximum data rate taking into account the reduction of the bandwidth. In order to reduce the variance and therefore increase the transmission rate, besides the measures of maintaining the signal / noise value, a single-mode optical fiber, which lacks a mode dispersion, should be selected.

Development of a fiber optic communication channel based on a model of a fiber optic communication channel for the exchange of telemedicine information with additional introduction to its structure of optical amplifiers with automatic gain control and a block of automatic control and diagnostics of an optical cable provided remote automatic control over the state of the fiber cable and the exact location of the location and nature of the damage, binding of reflectors to the geographical map of the area and analysis of changes in the parameters of the fiber optic communication channel in time and that ultimately improved the reliability and quality of the transmission of biomedical information.

The equipment of the regional telemedicine center, including the multipoint video conferencing system, is substantiated; system of video broadcasting of operations; a studio for individual telemedicine consultations, equipped with a point-to-point video conferencing system; DICOM server; peripheral equipment providing documentation, recording, lecturing, telemedicine consultations and patient data.

Studies of the developed telecommunication network have shown that digital images with real corruption of DICOM files were transmitted in 98.7% of cases, which determines the level of error of data transmission. Errors attributing objects with a true image and video frame distortion to a class of undistorted DICOM files are possible with a probability of 1.3% and vice versa - 3.8%.

According to the results of the experimental calculations of the transmission of information in DICOM 3.0 format on the developed fiber optic telemedicine network and its analogues it is established that for the developed network the error of the first kind is reduced from 3.4% to 1.3%; the second kind of error reached the value of 3.8% (at analogues not less than 6.7%), and the error of transmission of information - 98.7%, which allowed to increase the overall network efficiency according to the two main criteria - sensitivity - from 91.3% (analog ) to 98.7% - and specificity - from 89.7% (analog) to 96.2%.

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

### 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. Клепиковський,

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 двохвилевого 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 двохвилевої 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. Оптоелектронні 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>.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	16
ВСТУП.....	17
РОЗДІЛ 1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ВОЛОКОННО-ОПТИЧНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНИ .....	25
1.1 Особливості взаємодії DICOM і PACS .....	25
1.2 Аналіз технологій мультисервісних волоконно-оптичних мереж доступу для телемедицини .....	27
1.3 Аналіз технологій створення, зберігання і передачі зображень у телемедичних мережах .....	31
Висновки до 1 розділу .....	47
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБЛЕННЯ МОДЕЛІ І МЕТОДІВ ПЕРЕДАВАННЯ ДАНИХ У ВОЛОКОННИХ ТЕЛЕМЕДИЧНИХ МЕРЕЖАХ .....	48
2.1 Метод модової модуляції оптичних сигналів для волоконних телемедичних мереж .....	48
2.2 Метод двохвильового передавання даних у волоконних телемедичних мережах .....	57
2.3 Модель процесу передавання інформації у волоконно-оптичному тракті телемедичної мережі .....	68
Висновки до 2 розділу .....	77
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТУВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ ТЕЛЕМЕДИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОБМІНУ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯМИ .....	79
3.1 Методологія побудови волоконно-оптичної телемедичної мережі для обміну медичними зображеннями .....	79
3.2 Структурно-функціональна організація мережі для обміну медичними відеозображеннями .....	90
3.3 Розроблення волоконно-оптичного каналу зв'язку (ВОКЗ) .....	103
3.3.1 Структурна організація оптичного тракту двохвильової волоконної	

телемедичної мережі.....	103
3.3.2 Рекомендації по вибору волоконно-оптичних кабелів.....	112
3.3.3 Модуль «Передача-Прийом» ВОКЗ.....	116
3.3.4 ВОТМ на базі розподілених альтернативних джерел.....	125
3.4 Удосконалення PACS-системи обласної лікарні (телемедичного центру).....	129
3.4.1 PACS-сервери.....	137
3.4.2 Робоча станція лікаря-діагноста.....	139
3.4.3 Вибір обладнання і програмного забезпечення для PACS-системи (телемедичного центру).....	144
Висновки до розділу 3.....	146
<b>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ МЕРЕЖІ ДЛЯ ОБМІНУ МЕДИЧНИМИ ВІДЕОЗОБРАЖЕННЯМИ.....</b>	<b>148</b>
4.1 Аналіз впливу нелінійних ефектів на передачу інформації у волоконно-оптичній мережі.....	148
4.2 Моделювання характеристик передачі імпульсів у волоконно-оптичній мережі.....	151
4.3 Порівняльний аналіз ВОТМ і PACS-системи з існуючими аналогами..	155
4.4 Оцінювання ефективності передачі медичних зображень в стандарті DICOM в волоконно-оптичній телемедичній мережі і PACS-системі....	9
Висновки до 4 розділу.....	161
<b>ВИСНОВКИ.....</b>	<b>163</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>165</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>186</b>
Додаток А Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	187
Додаток Б Акти впровадження.....	190
Додаток В Структура та принцип організації спектротрансформатора для ВОТМ із альтернативним живленням вузлів.....	192

## ВСТУП

### **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 людини. Важливою технологією, розвиток якої здійснить позитивний комплексний вплив на клінічні, освітні та наукові аспекти діяльності системи охорони здоров'я в Україні, є телемедицина [19], [20], [21].

До недавнього часу основним носієм діагностичної інформації була рентгенівська плівка і термопапір. Сьогодні ж активно використовуються цифрові можливості для передачі і обміну медичними зображеннями у комп'ютерних мережах. Електронний обмін діагностичними зображеннями забезпечить розвиток телемедицини з використанням економічно виправданих, технічно та організаційно побудованих оптимальних сеансів віддаленого консультування [20].

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 [22].

Впровадження нових та удосконалення існуючих медичних інформаційних технологій в Україні базується на виконанні міжнародних стандартів і протоколів. Найбільш універсальним стандартом подання і обміну цифровою діагностичною інформацією у світовій медицині є DICOM (Digital



Imaging and Communications in Medicine) – формат цифрових зображень й обміну між ними у медицині. 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).

Променева діагностика у комплексі інструментальних методів клінічної медицини є невід'ємною частиною обстеження хворого та одним з основних джерел отримання об'єктивної інформації, необхідної для своєчасного встановлення діагнозу, локалізації виявлених патологічних змін, планування оперативного втручання, а також аналізу динаміки в процесі лікування [23], [24].

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, пов'язані з цими показниками [25].

Сьогодні у світі широко використовуються як безпосередньо для діагностики, так і в повному циклі 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 отримані дані. Як лікарі-діагности, так і лікарі-клініцисти отримують можливість аналізу максимально повної інформації про пацієнта. Таким чином, PACS-системи виявляються затребуваними у всіх областях медицини – як в рамках однієї клініки, так і в мережах лікувальних установ регіонального рівня та країни в цілому [26].

Широке впровадження телемедицини дозволить істотно підвищити 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 дозволить підвищити достовірність передачі медичної інформації про стан здоров'я пацієнта. Це дозволить покращити як доступність консультаційних послуг медичних експертів, так і оперативність та об'єктивність діагностичних досліджень при зменшенні кількості рутинних операцій у повсякденній діяльності медичних працівників.

Разом з тим, 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 вирішені в повній мірі проблеми інформаційної безпеки та завадостійкості транспортних мереж, які пов'язані з дотриманням вимог конфіденційності особистих даних пацієнтів і персональних даних про стан його здоров'я.

Таким чином, створення в Україні загальнонаціональної інфраструктури трансляційної телемедицини на базі заводо захищених волоконно-оптичних транспортних мереж із 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 вирішити 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 двохвильового передавання медичних даних у волоконній телемедичній мережі.
4. Побудувати модель процесу передавання інформації у волоконних телемедичних мережах.
5. Розвинути волоконно-оптичний канал зв'язку для волоконної телемедичної мережі.
6. Розробити методологію 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 відео-зображеннями, 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 отриманих 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 волоконнооптичному 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 інтелектуальностатистичних 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 матеріалів 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 Copernicus), 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.

**СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ**

[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 двоххвильової 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. Оптоелектронні 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. Кривонос, 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>.

[19] В. Н. Конюхов, *Основы телемедицинских систем. Учебное пособие*. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012.

[20] А. И. Царегородцев, “Эффективность использования телемедицины в северных районах”, *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*, №1, с. 18-23, 2015.

[21] А. В. Владзимирский, “Первичная телемедицинская консультация «пациент-врач»: первая систематизация методологии”, *Журнал телемедицины и электронного здравоохранения*, – №2, с. 109-121, 2017.

[22] Ehealth. Електронна система охорони здоров'я. [Електронний ресурс]. Доступно: <https://ehealth.gov.ua/>. Дата звернення: Жов. 29, 2018

[23] А. В. Владимирский, В. Г. Климовицкий, Д. К. Калиновский, Р. В. Павлович, М. Ю. Сметанников, и Р. Л. Крутько, *Оборудование для телемедицинской деятельности лечебно-профилактических учреждений: методические рекомендации*. Донецк, Украина: ООО «Цифровая типография», 2007

[24] В. И. Сырямкин, А. Н. Байков, А. Ш. Буреев, Д. С. Жданов и А. В. Осипов, “Разработка автоматизированной системы телемедицинских консультаций”, *Бюллетень сибирской медицины*, № 6, с.125-130, 2011.

[25] Стандарт DICOM 3.0 [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.course-as.ru/download/pdf/DICOM/DICOM\\_Std.pdf](http://www.course-as.ru/download/pdf/DICOM/DICOM_Std.pdf). Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[26] АЛТ Украина Лтд. Архив медицинских изображений PACS. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.mcmed.ua/ru/pacs>. Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[27] Integrating the Healthcare Enterprise (IHE). [Online]. Available: <https://www.ihe.net/>. Accessed on: Nov 09, 2018.

[28] HL7 Standarts. [Online]. Available: <http://www.hl7.org/>. Accessed on: Nov 09, 2018.

[29] L.N. Sutton, “PACS and diagnostic imaging service delivery - a UK perspective”, *Eur J Radiol*. № 78(2), p. 243-249, 2011/

[30] 1С: Медицина. Поликлиника. “Взаимодействие с PACS и медицинским оборудованием по стандарту DICOM 3”. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://solutions.1c.ru/catalog/clinic/dicom>. Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[31] Mallinckrodt Institute of Radiology. [Online]. Available: <https://www.mir.wustl.edu/education>. Accessed on: Nov 09, 2018.

[32] К. Компанидзе, М. Тевторадзе, М. Мануков, М. М. Салдадзе и Е. Камкамидзе, *Компьютерные сети телемедицины*. Тбилиси, Грузия: Издательский дом “Технический университет”, 2009.

[33] Общественное объединение - региональный благотворительный

фонда содействия развитию информационно-коммуникационных технологий "Право и Интернет", *Стандарт «Телемедицина. Общие положения»*, №1-2512/2002, Дек. 29, 2002. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.russianlaw.net/law/self-regulation/z32/>. Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[34] Український телекомунікаційний портал, “Телемедицинские сети связи”. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://portaltele.com.ua/articles/network-technology/2010-11-03-08-25-47.html>. <https://medical.net.ua/images/img1567.png>. Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[35] Стэл – Компьютерные системы, “Пример построения региональной телемедицинской сети”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://old.stel.ru/telemedicine/idea/>. Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[36] I.S. Shergill, and A. Mohammed, Teleradiology: 21st century communication in surgery. *Br J Hosp Med.*, № 72(5), p. 271-274, 2011.

[37] *Архивация медицинских диагностических изображений. Методические рекомендации.* Москва: НПЦ Медрадиологии, 2014

[38] Д. К. Коноплянский, “PLC - передача данных по электрическим сетям. Последняя миля”, *Вестник связи*, № 5, с. 5-7, 2004.

[39] А. В. Никифоров, “Технология PLC — телекоммуникации по сетям электропитания”, *Сети и системы связи*, № 5, с. 15-23, 2002.

[40] Vincenzo Giordano, Flavia Gangale, Gianluca Fulli (JRC-IE), Manuel Sanchez Jimenez (DG ENER) and other, *Smart Grid projects in Europe: lessons learned and current developments*, Luxembourg: Publications Office of the European Union. 2011.

[41] Б. А. Кобринский и Н. В. Матвеев, “Новый этап развития телемедицины: специфические требования к телемедицинским областям медицины”, *Медицина и высокие технологии*, №1, с. 4-13, 2004.

[42] В. І. Маліновський, Інформаційна мережа з об'єднаними оптичними інтерфейс-каналами, дис. канд. техн. наук, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2010.

[43] В. П. Кожем'яко, та В. І. Маліновський, “Моделі волоконно-

оптичних інтерфейс-каналів геоінформаційно-енергетичних мереж”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(17), с. 179-193, 2009.

[44] Б. Г. Ибрагимов, и И. М. Мамедов, “Исследование эффективности оптических транспортных сетей с использованием передающего и приемного оптоэлектронного модуля”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 11(23), с. 131–136, 2012.

[45] С. В. Одиночкина, *Основы технологий XML. Учебное пособие*. СПб: НИУ ИТМО, 2013.

[46] В. Г. Олифер та Н. А. Олифер, *Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы*. СПб: изд-во «Питер», 1999.

[47] В. М. Антонов, *Сучасні комп'ютерні мережі*. Київ, Україна: МК-Прес, 2005.

[48] Р. Р. Убайдулаев, *Волоконно-оптические сети*, Москва: Эко-Тренз, 1998

[49] E. Udd, Editor, *Fiber Optic Sensors: An Introduction for Engineers and Scientists*. Wiley, New York, 1991

[50] J. Dakin, and B. Culshaw, *Optical Fiber Sensors: Principals and Components. Volume 1*, Boston: Artech, 1988.

[51] B. Culshaw, and J. Dakin, *Optical Fiber Sensors: Systems and Applications. Volume 2*, Norwood: Artech, 1989.

[52] T. G. Giallorenzi, et al., "Optical Fiber Sensor Technology", *IEEE Journal of Quantum Electronics*, № 18(4), p. 626, 1982.

[53] О. В. Шевченко, Паралельно-ієрархічні методи передачі та обробки інформації у автоматизованій геоінформаційно-енергетичній системі, дис.канд.техн.наук, Київський ун-т економіки та технологій транспорту, Київ, 2006.

[54] Э.А.Бекиров, и А.П.Химич, “Компьютерное моделирование сложных энергосистем с концентраторами солнечной энергии”, *Відновлювана енергетика*, № 1 (24), с.74-81, 2011.

[55] Науково-виробнича фірма "ГРІС", “Автоматизована

геоінформаційна система паспортизації волоконно-оптичних мереж (ГІС «Волоконно-оптичні мережі»». [Електронний ресурс]. Доступно: <http://gris.com.ua/?id=114&lan=ru>. Дата обращения: Окт. 29, 2018.

[56] В. П. Кожем'яко, С. В. Павлов, О. В. Шевченко, та В. В. Дмитрук, “Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система біомедичного призначення”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(12), с. 192–196, 2006.

[57] В. П. Кожем'яко, та В. І. Маліновський, “Аналіз сучасного стану розвитку геоінформаційно-енергетичних технологій”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(15), с. 86-99, 2008.

[58] Н. Н. Кукуль и А. Ю. Шелестов, Grid-системы для задач исследования Земли. Архитектура, модели и технологии, Київ, Україна: Наукова думка, 2008

[59] Н. Круцкевич, “Принципи паралелізму при побудові багаторівневих розподілених комп'ютерних мереж”, *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*, № 477, с. 185, 2003.

[60] В. П. Кожем'яко та В. І. Маліновський, “Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж”, *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, №1, 2008, с. 95-101.

[61] В. І. Маліновський, “Технології оптичного інформаційного та енергетичного обміну в оптичних геоінформаційно-енергетичних мережах”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2(16), с. 207-222, 2008.

[62] Электронные системы, “Система передачи телеметрических данных по линиям электропередач”, 2005. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://datapowersystem.com>. Дата обращения: Дек. 09, 2013.

[63] В. А. Лапицкий, Л. Н. Лаханько, А. Г. Батраков, и В. В. Кириченко, “Распределенная телемедицинская система по цифровой маммографии”, *Информатика*, № 3(35), с.51-60, 2012.

[64] А. В. Колодежный и С. В. Саричев, “Математическая модель телемедицинской консультации”, *Укр. журнал телемедицины и медиц. тематики*, Т.1, №1, с.61-64, 2003

[65] Л.М. Манукян, А.О. Царьков, С.В. Шаповаленко и Б.А. Юдин, “Автоматизированная радиологическая информационная система и телерадиология”, *Медицинская визуализация*, №1, с. 138-140, 2002.

[66] DICOM news. [Online]. Available: <https://www.dicomstandard.org/News/current/index.html>. Accessed on: Nov 09, 2018.

[67] DICOM, “The DICOM Standard”. [Online]. Available: <https://www.dicomstandard.org/current/>. Accessed on: Nov 09, 2018.

[68] Лаборатория медицинских компьютерных систем НИИЯФ им. Д.В. Скобельцына МГУ им. М.В. Ломоносова, “Масштабируемые PACS/РИС системы”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.multivox.ru>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[69] Hitachi Medical System Europe. Versatile diagnosis and interventional guidance. [Online]. Available: <http://www.hitachi-medical-systems.eu/products-and-services/ultrasound/clinical-applications/radiology.html>. Accessed on: Nov 09, 2018

[70] О.С. Пьяных, “Введение в представление и обработку медицинской информации в Интернете”, *Медицинская визуализация*, №3, с. 130-137, 2002.

[71] 1С: Медицина. Поликлиника. Возможности. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://solutions.1c.ru/catalog/clinic/features>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[72] HL7 – электронный медицинский документооборот. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.sergeygsd.narod.ru/pol/HL7habr.pdf>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[73] S.M.Huff, “Clinical data exchange standards and vocabularies for messages”, at *Proceedings of the AMIA Symposium*, 1998, p. 62-67.

[74] С. П. Морозов и М. О. Переверзев, “Обзор текущего состояния и основных требований к PACS-системам”, *Врач и информационные технологии*,

№ 3, с. 17-29, 2013

[75] В. О. Новицкий, Э. Ю. Таронишвили и Е. М. Шилов, “Автоматизированная информационная система управления лечебно-диагностическим процессом Maximus”, *Врач и информационные технологии*, №1, с. 18-31, 2014.

[76] АО «МИКАРД-ЛАНА» & ООО «Телемедицинские системы», “Внедрение телемедицины: телеметрия ЭКГ”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.micard.ru/samokontrol-i-telemetria-ecg/vracham/kardiometr-mt-telemetriya-ekg>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[77] Телемедицинские сети связи. Український телекомунікаційний портал. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://portaltele.com.ua/articles/network-technology/2010-11-03-08-25-47.html>. Дата обращения: Дек. 09, 2013.

[78] Медафарм Холдинг, “Некоторые проблемы создания телемедицинской сети России и возможные пути их решения”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://medafarm.ru/page/stati-doktoru/rentgenologiya/nekotorye-problemy-sozdaniya-telemeditsinskoi-seti-rossii-i-vozmozh>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[79] Daniel Fraile, Marie Latour, Adel El Gammal, and Michael Annett, “Tunable laser diodes”, *EPIA Publications*, Vol. 50, p.5 67-572, 2010.

[80] Frank Briamonte. “Lucent Technologies unveils worlds fastest single-laser optical transmission system”, *Photonics Online*, March 11, 1999. [Online]. Available: [www.photonicsonline.com/article.mvc/LUCENT-Lucent-Technologies-unveils-worlds-fas-0001](http://www.photonicsonline.com/article.mvc/LUCENT-Lucent-Technologies-unveils-worlds-fas-0001). Accessed on: Nov. 29, 2018.

[81] Т. К. Кулик, и Д. В. Прохоров, “Методика сравнительной оценки работоспособности лазерных линий связи”, *Технология и средства связи*, № 6, с. 8-10, 2000.

[82] А. Г. Шереметьев, и Р. Г. Толпарев, *Лазерная связь*. Москва: Связь, 1974.

[83] В. Г. Фокин, *Оптические системы передачи и транспортные сети*. Москва: Эко-Трендз, 2008.



- [84] В. Н. Конюхов, *Основы телемедицинских систем: учебное пособие*. Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2012
- [85] Презентация Телемедицина. [Электронный ресурс]. Доступно: [https://view.joomag.com/ Презентация--Телемедицина/0025590001498213106?page=4](https://view.joomag.com/Презентация--Телемедицина/0025590001498213106?page=4). Дата обращения: Дек. 09, 2018.
- [86] В. П. Кожем'яко, С. С. Білан, О. В. Кожем'яко та А. В. Кожем'яко, “Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система, як глобальний засіб гармонійного вирішення проблем розвитку цивілізації”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2 (8), с. 5-10, 2004.
- [87] Р. Барлоу, и Ф. Прошаи, *Статистическая теория надежности и испытания на безотказность*. Москва: Наука, 1984.
- [88] И. А. Рябинин, *Надежность и безопасность структурно-сложных систем*. СПб.: изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 2007.
- [89] В. Г. Мелкумян, та А. А. Семенов, *Основы теории надёжности*. Київ: КМУЦА, 1998.
- [90] А. К. Скуратов, и Д. С. Безрукавный, “Администрирование телекоммуникационной сети на основе статистического анализа трафика”, *Вестник Таганрогского государственного университета*, Т. 10, с. 919-923, 2004.
- [91] В. П. Кожем'яко та В. І. Маліновський, “Моделі волоконно-оптичних інтерфейс-каналів геоінформаційно-енергетичних мереж”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, №1(17), 2009, с. 197-214.
- [92] В. С. Белов и А. И. Самаркин, “Концептуальная модель интероперабельной региональной мобильной системы охраны здоров'я жителей малых и удаленных населенных пунктов”, *Журнал радиоэлектроники*, №7, 2016, с.1-23.
- [93] Ben Carlin. “European standards organisations make progress towards Smart Grid standards and reference architecture”. Materials of Preparing the electricity networks of the future – CEN, CENELEC and ETSI have presented two interim reports to the European Commission. Brussels, 9 March 2012.

[[Online]. Available: [http://www.cencenelec.eu/news/press\\_releases/Pages/PR-2012-04.aspx](http://www.cencenelec.eu/news/press_releases/Pages/PR-2012-04.aspx)

[94] J. Winters, and Y. Wang, “Wearable Sensors and Telerehabilitation”, *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, № 3, p. 56-65, 2003.

[95] G. Blankenstein, and U. Larsen, “Modular concept of a laboratory on a chip for chemical and biochemical analysis”, *Biosensors and Bioelectronics*, Volume 13, Issues 3–4, p. 427-438, 1998.

[96] N. V. Dmitriev, and O. S. Glazachev, *Individual health and polyparametrical diagnostics of functional conditions of an organism (System and information approach)*, М.: Medicine, 2014.

[97] С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, П. Ф. Колісник, та С. М. Марков, Біомедичні оптико-електронні системи і апарати. – Вінниця, Україна: ВДТУ, 2003.

[98] Н. Ф Герасименко, “Медицина – новое направление развития здравоохранения”, *Здравоохранение России*, Т. 13, с. 93–96, 2012.

[99] Грищенко В. І., та ін. *Інформаційні технології в біології та медицині: курс лекцій*. Київ, Україна: Наукова думка, 2007.

[100] О. Ю. Азархов, С. М. Злепко, та О. Б. Белоусова, “Індивідуальна електронна карта пацієнта для постінсультних хворих”, *Медична інформатика та інженерія*, № 4, с. 12-18, 2012.

[101] М. В. Голубчиков, А. М. Козак, та В. Г. Осташко, “Концептуальні підходи до впровадження електронних медичних записів у систему охорони здоров'я України”, *Вісник соціальної гігієни та організації охорони здоров'я України*, № 3, с. 51-54, 2008.

[102] О. Ю. Азархов, С. М. Злепко, Л. В. Космач, І. О. Криворучко, “Особливості побудови стратегії «телемедичного консилиуму» для реабілітації хворих в резидуальному періоді”, на *XII Міжнар. наук.-техн. конф. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах (ВОТТП-12)*, Одеса, 2013, с. 115.

[103] А. А. Ходаева, и Е. А. Ефимова, ‘Автоматизированная система

ведения истории болезни Прикаспийский журнал: управление и высокие технологии, № 1(5), с. 88-92, 2009.

[104] *Автоматизированная система управления учреждениями здравоохранения «Формирование телемедицинской сети в республике Карелия». Техническое задание.* Петрозаводск, 2008.

[105] М. И. Васильев, и Н. П. Симоньянц, *Геодезическое позиционирование магистральных газопроводов. Создание ГИС газотранспортной сети,* Сибирьсвет, 2012.

[106] В. П. Кожем'яко, та ін. “Оптико–електронна геоінформаційно–енергетична система тотального тестування і оптимального управління науково–освітніанськими і бібліотечними ресурсами для створення і розвитку централізованої бази знань”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(9), с. 5-11, 2005.

[107] Г. А. Аракелов, В. Р. Магнушевский, В. Н. Сивенкова, И. М. Троицкий, и Г. А. Казанцев, “Конструкция многоплощадочного фотоприемника с термоэлектрическим охладителем”, *Прикладная физика*, № 4, с. 69-75, 2002.

[108] Zachary Shahan, “Sharp Hits Concentrator Solar Cell Efficiency Record, 43.5%”, 2012. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://cleantechnica.com/2012/05/31/sharp-hits-concentrator-solar-cell-efficiency-record-43-5/>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[109] С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, та П. Ф. Колісник, *Фотоплетизмографічні технології контролю серцево-судинної системи. Монографія.* Вінниця, Україна: УНІВЕРСУМ, 2007 с

[110] С. В. Павлов, П. Ф. Колісник, М. В. Матохнюк, та І. Я. Островський, “Оптико-електронний метод для дослідження трофічного комплексу тканини”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 1, с. 55-60, 2001.

[111] ] С. В. Павлов, В. П. Кожем'яко, В. Г. Петрук, П. Ф. Колісник, та С. М. Марков, “Неінвазивні методи діагностики серцево-судинної системи“ у

*Біомедичні оптико-електронні системи і апарати.* – Вінниця, Україна: ВДТУ, 2003, с. 112.

[112] С. В. Павлов, І. Д. Мисловський, та Ахмед Авад. “Оптико-електронні інформаційні технології дослідження рівня периферійного кровообігу”, на *I Всеукр. наук.-практ. конф. Медичні технології і вища освіта*, Луцьк, 2004, с. 137-144.

[113] С. В. Павлов, М. А. Станіславчук, та В. М. Хоменко, “Застосування оптико-електронних технологій при аналізі кровопостачання чутливих точок у хворих на фіброміалгію”, на *III Міжнарод. наук.-техн. конф. Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка ОДС-2005»*, Вінниця, 2005, с. 165.

[114] С. В. Павлов, А. П. Превар, М. В. Матохнюк, та А. Чернуха, “Застосування оптико-електронних та лазерних технологій при аналізі мікроциркуляторних змін у вогнищі гострого гнійного запалення в ділянці нижніх кінцівок”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 2, с. 148-154, 2002.

[115] K. Fritsch, Digital Angular Position Sensor Using Wavelength Division Multiplexing, *Proceedings of SPffi*, Vol. 1169, 1989, p. 453.

[116] K. Fritsch, and G. Beheim, “Wavelength Division Multiplexed Digital Optical Position Transducer”, *Opt. Lett.*, Vol. 11, p. 1, 1986.

[117] S. S. Booshever, “HIS/RIS/PACS Integration: Getting to the Gold Standard”. [Online]. Available: [pdfs.semanticscholar.org/3db9/6100d952bb8422e08276a37e7273629b1fb1.pdf](https://pdfs.semanticscholar.org/3db9/6100d952bb8422e08276a37e7273629b1fb1.pdf). Accessed on: Nov 19, 2018.

[118] “Телемедицинская сеть Пензенской области”, ГУЗ Пензенской области «Пензенский областной медицинский информационно-аналитический центр». [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.myshared.ru/slide/146805/>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[119] С. А. Абрамян, “Концепция телемедицинской распределенной системы на базе мобильных устройств”, *Науковедение*, Том. 9, №. 6, 2017. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-telemeditsinskoj-raspredelelennoy-sistemy-na-baze-mobilnyh-ustroystv>. Дата

обращения: Дек. 09, 2018.

[120] Процесс и методы передачи данных. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://kom-seti.narod.ru/index.files/3.htm>. Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[121] Разработано и утверждено техническое задание «Формирование телемедицинской сети в Республике Карелия». [Электронный ресурс]. Доступно: <https://hospital.karelia.ru/novosti/razrabotano-i-utverzhdено-tehnicheskoe-zadanie-formirovanie-telemedicinskoj-seti-v-respublike-karelija/>. Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[122] Р. М. Вирозуб, С. М. Злепко, О. С. Злепко, та В. С. Павлов, “Оптоелектронна телемедична мережа з функцією підтримки прийняття рішень”, на VII Міжнарод. наук.-техн. конф. Оптоелектронні інформаційні технології «Фотоніка-ОДС 2015», Вінниця, 2015, с. 85.

[123] В.П. Бакалов, *Медицинская электроника: Основы биотелеметрии: учебн. пособие для ВУЗов 2-е изд. испр. и доп.* Москва: Издательство Юрайт, 2018.

[124] М. Ю. Обоишев, “Разработка алгоритмов синтеза измерительных каналов”. Дис. канд. техн. наук, Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ», С-Пб., 2004.

[125] База даних MySQL. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://studopedia.info/9-20422.html>. Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[126] А. А. Иванова, Техническое обеспечение для внедрения телемедицины в больницах республики Саха (Якутия), на VIII Междунар. студ. науч. конф. Студенческий научный форум. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://scienceforum.ru/2015/article/2015017368>. Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[127] Телемедицина. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://studfiles.net/preview/6676191>. Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[128] Г. В. Осташко, “Концептуальні основи створення міжрегіональної телемедичної мережі”, *Український журнал телемедицини та медичної телематики*, Т. 10, № 2, с. 22-25, 2012.

[129] Р. М. Вирозуб, Д. Х. Штофель, та С. М. Злепко, “Алгоритм функціонування автоматизованого діагностичного комплексу в режимі телемедичного консультування (ТМК)”, *Вестник Херсонского национального технического университета*, № 4(51), с. 134-139, 2014.

[130] Основы построения волоконно-оптических систем передачи. [Электронный ресурс]. Доступно: [https://studbooks.net/2344670/tehnika/osnovy\\_postroeniya\\_volokonno\\_opticheskikh\\_sistemperedachi](https://studbooks.net/2344670/tehnika/osnovy_postroeniya_volokonno_opticheskikh_sistemperedachi). Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[131] Организация SQL-сервера МДК 02.01 Информационные технологии и платформы разработки информационных систем. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://infourok.ru/prezentaciya-po-teme-sls-server-mdk-specialnosti-informacionnie-sistemi-po-otraslyam-1937869.html>. Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[132] Центральный Архив Медицинских изображений (ЦАМИ 2.0). Теория и практика. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.armit.ru/medsoft/2015/prez/25-03-2015/25-03\\_14-15\\_kir\\_zinnurova.pdf](http://www.armit.ru/medsoft/2015/prez/25-03-2015/25-03_14-15_kir_zinnurova.pdf). Дата обращения: Окт. 15, 2018.

[133] S. Kurtz, Opportunities and Challenges for Development of a Mature Concentrating Photovoltaic Power Industry: [Online] Available: <http://www.nrel.gov/docs/fy10osu743208.pdf>. Accessed on: Dec. 19, 2018.

[134] С. А. Дмитриев, и Н. Н. Слепов, *Волоконно-оптическая техника: современное состояние и перспективы*. Москва: Изд. Connect, 2005.

[135] Б. С. Утабаев, О метрологическом обеспечении информационно-измерительных систем. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://unicon.uz/uploads/ZJ9hb43.pdf>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[136] В. Г. Басов, *Информационно-измерительные системы. Основы проектирования. Ч.2*. Минск: БГУМР, 2007.

[137] *Методика расчета метрологических характеристик измерительных каналов информационно-измерительных систем по метрологическим характеристикам компонентов НИ222-80*. Москва: ГП

«НИИ «Система», 1981.

[138] В. П. Кожем'яко, та О.А.Бойко, “Оптико-електронна геоінформаційно-енергетична система управління інфраструктурою регіону”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(13), с. 176–180, 2007.

[139] А. В. Клоков, “Беспроводная оптическая связь. Мифы и реальность”, *Технология и средства связи*, № 6, с. 12-16, 2000.

[140] Д. Б. Медвед, “Влияние погодных условий на беспроводную оптическую связь”, *Вестник связи*, № 4, с. 154-167, 2001.

[141] В. Е. Зуев, *Перенос оптических сигналов в земной атмосфере в условиях помех*. Москва: Советское радио, 1977.

[142] Г. Л. Лисенко, *Волоконна та інтегральна оптика: навчальний посібник: Ч. 1*. Вінниця : ВДТУ, 1998.

[143] Одномодовый и многомодовый волоконно-оптический кабель: отличия и правила выбора. Связь комплект. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://skomplekt.com/odnomodovyi-i-mnogomodovyi-opticheskii-kabel>. Дата обращения: Дек. 01, 2018.

[144] Передача видеосигнала по волоконно-оптической сети. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://polyset.ru/article/st850.php>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[145] Приемники цифровых волоконно-оптических систем связи. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://msd.com.ua/optoelektronnye-pribory-i-ustrojstva/priemniki-cifrovux-volokonno-opticheskix-sistem-svyazi>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[146] Джозеф Кэмпбелл, Ф. Капассо, Т. Пирсолл, М. Поллак, Т. Канеда, и С. Форрест, *Техника оптической связи: Фотоприемники*. Москва: Мир, 1988.

[147] У. Волф, и Г. Цисис, *Справочник по инфракрасной технике в 4-х томах*. Москва: Мир, 1999.

[148] Оборудование передачи сигналов по оптоволокну. Net-Optic. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://net-optic.ru/>. Дата обращения: Дек. 09,

2018.

[149] Н. И. Вергелис, А. Г. Булынин, и И. М. Минаев, Приемопередатчик волоконно-оптической линии связи. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.findpatent.ru/patent/240/2407168.html>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[150] Дж. Гаусер, *Оптические системы связи*. Москва: Радио и связь, 1989.

[151] Волоконно-оптическая система передачи информации. ЗАО «ЦНИТИ «Техномаш-ВОС». [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.findpatent.ru/patent/238/2384955.html>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[152] Двухканальный волоконно-оптический приемник Kramer 690T. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://vismedia.ru/catalog/udliniteli-na-optike/dvukhkanalnuu-peredatchik-signala-kramer-690t/>. Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[153] И.В.Емелин, В.А.Смирнов, и Р.А.Эльчиан, Интеграция систем обработки медицинских изображений и клинических систем. [Электронный ресурс]. Доступно: [http://www.ctmed.ru/dicom\\_hl7/dicom/isomi.html](http://www.ctmed.ru/dicom_hl7/dicom/isomi.html). Дата обращения: Дек. 09, 2018.

[154] Аппаратно-программное обеспечение. ООО «Веда-проект». [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.vedapro.ru/xraysoft.php>. Дата обращения: Дек. 01, 2018.

[155] Центр обработки данных. Компания Entry. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.entry.ua/?pg=168>. Дата обращения: Дек. 01, 2018.

[156] С. А. Рахманов, и Р. В. Хохлов, *Проблемы нелинейной оптики*. Москва: ВИНТИ, 1964.

[157] П. М. Воловик, *Фізика. Підручник для університетів*. Київ, Ірпінь, Україна: Перун, 2005.

[158] В. П. Кожем'яко, та В. І. Маліновський, “Структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж”, *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, № 2, с. 42-44, 2007.



[159] В. П. Кожем'яко, та В. І. Маліновський, “Принципи побудови та структурна організація каналів для повністю оптичних геоінформаційно-енергетичних мереж”, *Вісник ВПІ*, № 1, с. 95-101, 2008.

[160] И. К. Кулешов, Ю. Л. Николашин, Т. В. Жукова, и Н. И. Шестунин, Волоконно-оптическая система передачи для чрезвычайных ситуаций. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://findpatent.ru/patent/258/2587546.html>. Дата обращения: Окт. 19, 2018.

[161] Gil Knier, How do Photovoltaics Work?, vol.34, 2002, p. 245-247. [Online]. Available: <http://science.nasa.gov/science-news/science-at-nasa/2002/solarcells>. Accessed on: Nov. 19, 2018.

[162] В. П. Кожем'яко, П. М. Зузяк, та А. Д. Слободяник, “Теоретичні начала інформаційно-енергетичного перетворення світлового спектру”, на II *Miedzynarodney neukove-praktyeznej konferencji Wykształcenie I nauka bez granic -2005*, Том 26, 2005, с. 8-11.

[163] В. П. Кожем'яко, П. М. Зузяк, Є. П. Ларюшкин, та А. Д. Слободяник, “Теоретичні основи перетворення енергії світлового спектру”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*, № 1(11), с. 97-101, 2006/

[164] А. Снайдер, и Дж. Лав, *Теория оптических волноводов* [пер. с англ. под ред. Е.М. Дианова, В.В. Шевченко]. Москва: Радио и связь, 1987.

[165] Н. І. Заболотна, С. В. Павлов, та В. В. Шолота, *Комп'ютерне моделювання задач лазерної та оптоелектронної техніки. Навч. посібник*. Вінниця, Україна: ВНТУ, 2003.

[166] Е. Ю. Солянина, “Анализ стандартов передачи биомедицинской информации и принципов построения современных телемедицинских систем”, на I *Международной научно-практ. конф. Инженерно-технологические и прикладные исследования*. Москва, 2017, с. 6-37.

[167] А. В. Владзимирский, *Оценка эффективности телемедицины*. Донецк, Украина: ООО «Цифровая типография», 2007.

[168] “Показатели информативности диагностических методов”.

[Електронний ресурс]. Доступно: [http://vmede.org/sait/?page=3&id=Onkologiya\\_analiz\\_vasilev\\_2008&menu=Onkologiya\\_analiz\\_vasilev\\_2008](http://vmede.org/sait/?page=3&id=Onkologiya_analiz_vasilev_2008&menu=Onkologiya_analiz_vasilev_2008). Дата обращения: Окт. 10, 2018.

[169] В. П. Кожем'яко, Г. Л. Лисенко, О. В. Шевченко, Є. П. Ларюшкін, та А. В. Кожем'яко, “Пристрій уніфікованої трансформації довжин хвиль”, МПК F24J 2/06, Січ. 11, 2008.

[170] В. П. Кожем'яко, О. Г. Домбровський, В. І. Маліновський, та Я. І. Ярославський, “Оптична геоінформаційно-енергетична мережа із розподіленими світловими джерелами енергії”, МПК H04N 7/00, № 88397, Бер. 11, 2014.

[171] В. П. Кожем'яко, О. Г. Домбровський, В. Ф. Жердецький, Г. В. Маліновський, та Г. В. Притуляк, “Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики”, *Оптико-електронні інформаційні енергетичні технології*, № 2(22), с. 142-158, 2011.

[172] Daniel Fraile, Marie Latour, Adel El Gammal, and Michael Annett, “Photovoltaic energy, electricity from the sun”, *EPIA Publications*, Vol.50, 2010.

[173] В. П. Кожем'яко, О. В. Шевченко, та Я. І. Ярославський, “Спосіб побудови та методика створення уніфікованої системи трансформації довжин хвиль”, *Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології*. № 2(12), с. 78-86, 2007.

[174] Chunfeng Hou, Zhongxiang Zhou, Xiudong Sun, and Baohong Yuan. “Incoherently coupled grey-grey screening-photovoltaic soliton pairs in biased photovoltaic-photorefractive crystals”, *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, Vol. 112, Issue 1, p. 17-20, 2001.

[175] В. Г. Петрук, *Спектрофотометрія світлорозсіювальних середовищ. Теорія і практика оптичного вимірювального контролю*. Вінниця, України: УНІВЕРСУМ, 2000.

[176] В. В. Кузьмич, “Основные принципы и особенности транскутанной "отражательной" оксиметрии”, *Мед. техника*, № 3, с. 36-42, 1993.

[177] 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.

[178] Солнечная энергетика: обзор отрасли. [Электронный ресурс]. Доступно: [www.nitolsolar.com](http://www.nitolsolar.com). Дата звернення: Груд. 01, 2018.

[179] Eckart von Malsen, “Opportunities for large-scale projects”, *SUN & Wind Energy*, Vol. 5, p. 254-255, 2011.

[180] “Solar energy”. [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Solar energy](http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_energy). Accessed on: Dec. 01, 2018.

[181] В. А. Сафонов, та В. В. Кувшинов, “Разработка комбинированной солнечной установки для автономного потребителя”, *Відновлювана енергетика*, № 4(23), с. 61-69, 2010.

[182] Chunfeng Hou, Zhongxiang Zhou, Xiudong Sun, and Baohong Yuan. “Incoherently coupled grey-greyscreening-photovoltaic soliton pairs in biased photovoltaic-photorefractive crystals”, *Optik -International Journal for Light and Electron Optics*, Vol. 112, Issue 1, p. 17-20, 2001.

[183] D. Varshneya, and W. L. Glomb, “Applications of Time and Wavelength Division Multiplexing to Digital Optical Code Plates”, *Proceedings of SPIE*, Vol. 838, p. 210, 1987.

[184] Michael Forst, “Germany's module industry poised for growth”, *SUN & Wind Energy*, Vol. 5, p. 256-263, 2011.

[185] А. Фаренбрух, Р.Бьюб, *Солнечные элементы: теория и эксперимент*. Москва: Энергоатомиздат, 1987.

[186] О. Е. Гадалова, и др. “Украина и Россия: обзоры рынка фотовольтаики, август 2011”. [Электронный ресурс]. Доступно: [www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29](http://www.cleandex.ru/cleanwatch/2011/08/29). Дата обращения: Окт. 10, 2018.

[187] В. Денисенко, “Суммирование погрешностей измерений в системах автоматизации”. [Электронный ресурс]. Доступно: <https://www.cta.ru/cms/f/443123.pdf>. Дата обращения: Нояб. 10, 2018.

[188] М. С. Фролова, С. В. Фролов, И. А. Толстухин, В. Ю. Ошурков,

“Интеграция медицинской техники в информационную систему лечебно-профилактического учреждения”, *Вопросы современной науки и практики*, № 3 (53), с. 68-80, 2014.

[189] А. В. Прокопенко, “Телемедицина. Системы хранения и обработки медицинских изображений”. [Электронный ресурс]. Доступно: <http://www.trbzdrav.ru/article/diagnostic-tests/telemedicine.php>. Дата обращения: Ноябрь. 10, 2018.

[190] Е. Ф. Старков, “Проектирование модулей измерения параметров объектов в биомедицинских системах”, *Вестник новых информационных технологий*, Т. X, № 3, с. 89-92, 2003.

[191] А. С . Бессонов., и др., “Особенности проектирования АПК для функциональной диагностики системы микроциркуляции крови”, *Вестник МГТУ им. И. Э. Баумана. Серия Приборостроение*, № 1, с. 74-83, 2013.