

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

5.2022

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 5, Volume 313

Хмельницький

**ВІСНИК
ХМЕЛЬНИЦЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
серія: Технічні науки**

Затверджений як фахове видання категорії «Б»,
РІШЕННЯ АТЕСТАЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ № 1643 ВІД 28.12.2019 та №409 від 17.03.2020

Засновано в липні 1997 р.

Виходить 6 разів на рік

Хмельницький, 2022, № 5(313)

**Засновник і видавець: Хмельницький національний університет
(до 2005 р. – Технологічний університет Поділля, м. Хмельницький)**

Наукова бібліотека України ім. В.І. Вернадського http://nbuv.gov.ua/j-tit/Vchnu_tekh

Включено до науково-метричних баз:

Google Scholar	http://scholar.google.com.ua/citations?hl=uk&user=aUP9OYAAAAJ
Index Copernicus	http://jml2012.indexcopernicus.com/passport.php?id=4538&id_lang=3
Polish Scholarly Bibliography	https://pbn.nauka.gov.pl/journals/46221
CrossRef	http://doi.org/10.31891/2307-5732

Головний редактор	Скиба М. Є. , д.т.н., професор, заслужений працівник народної освіти України, член-кореспондент Національної академії педагогічних наук України, професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Заступник головного редактора	Синюк О. М. , д.т.н., професор кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету
Відповідальний секретар	Горященко С. Л. , к.т.н., доцент кафедри машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем Хмельницького національного університету

Ч л е н и р е д к о л е г і ї

Технічні науки

Березненко С.М., д.т.н., Бойко Ю.М., д.т.н., Говорущенко Т.О., д.т.н., Гордєєв А.І., д.т.н., Горященко С. Л., к.т.н., Грабко В.В., д.т.н., Диха О.В., д.т.н., Зацепкіна Н.М., д.т.н., Рубаненко О. О., д.т.н., Захаркевич О.В., д.т.н., Злотенко Б.М., д.т.н., Зубков А.М., д.т.н., Каплун П.В., д.т.н., Карташов В.М., д.т.н., Кичак В.М., д.т.н., Любош Хес, д.т.н., (Чехія), Мазур М.П., д.т.н., Мандзюк І.А., д.т.н., Мартинюк В.В., д.т.н., Мельничук П.П., д.т.н., Місяць В.П., д.т.н., Малогулко Ю. В., к.т.н., Мясіщев О.А., д.т.н., Нелін Є.А., д.т.н., Павлов С.В., д.т.н., Параска О.А., д.т.н., Рогатинський Р.М., д.т.н., Горошко А.В., д.т.н., Сарібекова Ю.Г., д.т.н., Семенко А.І., д.т.н., Славінська А.Л., д.т.н., Харжевський В.О., д.т.н., Шинкарук О.М., д.т.н., Шклярський В.І., д.т.н., Щербань Ю.Ю., д.т.н., Бубулєс Альгімантас, доктор наук (Литва), Елсаєд Ахмед Ельнашар, доктор наук (Єгипет), Кальчинські Томаш, доктор наук (Польща), Лунтовський Андрій, д.т.н. (Німеччина), Матушевський Мацей, доктор наук (Польща), Мушлевський Лукаш, доктор наук (Польща), Мушял Януш, доктор наук (Польща), Натріашвілі Тамаз Мамієвич, д.т.н., (Грузія), Попов Валентин, доктор природничих наук (Німеччина)

Технічний редактор	Горященко К. Л., к.т.н.
Редактор-коректор	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 3 від 27.10.2022 р.**

Адреса редакції: редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету"
Хмельницький національний університет
вул. Інститутська, 11, м. Хмельницький, Україна, 29016

т	(038-2) 67-51-08	web:	http://journals.khnu.km.ua/vestnik
e-mail:	visnyk.khnu@khmnu.edu.ua		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

Зареєстровано Міністерством України у справах преси та інформації.
Свідцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія KB № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

© Хмельницький національний університет, 2022
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2022

ЗМІСТ

ОЛІЙНИК Г. ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ЛАКОФАРБОВОЇ ПРОДУКЦІЇ МАРКИ «BECKERS»	9
БОЙКО С., КОТОВ О., ВИШНЕВСЬКИЙ С., ЩОКІН В., ГУСАРОВА О. АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ	13
ГУНЬКО І.В., ГРИБИК Р.І. МОДЕЛЮВАННЯ ҐРУНТООБРОБНОГО АГРЕГАТУ З РОЗРОБКОЮ РЕКОМЕНДАЦІЇ ПІДБОРУ РОБОЧИХ ОРГАНІВ	18
БАСИСТЮК О., МЕЛЬНИКОВА Н. МУЛЬТИМОДАЛЬНЕ РОЗПІЗНАВАННЯ МОВЛЕННЯ НА ОСНОВІ ЗВУКОВИХ І ТЕКСТОВИХ ДАНИХ	22
ЄФРЕМОВА О., ІВАНІШЕНА Т., ІЩУК Т., ТРУХІНА О., ЄФРЕМОВА Ю. СУЧАСНИЙ СТАН ПОВОДЖЕННЯ З ПОЛІМЕРНИМИ ВІДХОДАМИ	26
БАБИЧ А., КЕРНЕС В., ТКАЧЕНКО Д. ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕМЕНТІВ 3D ДРУКУ В ДИЗАЙНІ ЧОЛОВІЧОГО КОСТЮМУ	32
БАБИЧ А., ГАРАНІНА О., МОСКОВА О. ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ ЧОЛОВІЧОГО ВЗУТТЯ З УРАХУВАННЯМ ОСОБЛИВОСТЕЙ ФОРМИ І КОЛЬОРУ НА ОСНОВІ МАРКЕТИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	37
КАМІНСЬКИЙ Р., ШАХОВСЬКА Н., ХУДОБА Б. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ГРУПУВАННЯ ОПЕРАТОРСЬКОГО ПЕРСОНАЛУ ПОШУКОВИХ СИСТЕМ В СЕНСІ СТРЕСОСТІЙКОСТІ	42
МИРОНІЮК О., БАКЛАН Д., ГЛУХОВСЬКИЙ В. ОСОБЛИВОСТІ ЗМОЧУВАННЯ ГІДРОФОБІЗОВАНИХ ПОВЕРХОНЬ ТЕКСТУРОВАНИХ ФЕМТОСЕКУНДНИМ ЛАЗЕРОМ	52
НОВОСАД М.-Р. АСИСТЕНТ ПАРКУВАННЯ ЯК МОДУЛЬ СИСТЕМИ РОЗУМНОГО МІСТА	56
ПЕДЯШ В. МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ОТН З КВАДРАТУРНОЮ АМПЛІТУДНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ	61
МИХАЙЛОВА Н., ПРИВАЛА В. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР В УМОВАХ ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ НА СПЕЦІАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ ІЗОЛЮЮЧИХ КОСТЮМІВ	66
БОЛОТІНА В. АНАЛІЗ НАЯВНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ НАУКОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ СПІВРОБІТНИКІВ ВИЩИХ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ	71
ДАНИЛКОВИЧ А., САНГІНОВА О. ЕКОЛОГІЧНО ОРІЄНТОВАНЕ ФОРМУВАННЯ ЛИМАРНО-СІДЕЛЬНОЇ ШКІРИ	77
СОКОЛАН Ю., МІЛЬКО В., ТКАЧУК В., СОКОЛАН К. РОЗРОБКА САЕ-СИСТЕМИ АНАЛІЗУ ЗНОШУВАННЯ ПІДШИПНИКІВ В УМОВАХ ПЕРЕКОСУ ОСЕЙ ВАЛА І ВТУЛКИ	82

КАТЕНІН В., САМОЙЛЕНКО Н. СУЧАСНИЙ СТАН ОПЕРАЦІЙ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ СОНЯЧНИХ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ В УКРАЇНІ	89
ШІЛІНГ А., ПАСЬКО А. РОЗРОБКА СТРУКТУРИ СЛОВНИКА ДЛЯ ЧАТ-БОТУ КАТАЛОГУ ОСВІТНІХ ПОСЛУГ ЗАКЛАДУ ВИЩОЇ ОСВІТИ	94
БАБІЙ С., МОШНОРІЗ М., ПРОЦЕНКО Д., ПАЯНОК О., ЖУКОВ О. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ РОБОТИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ПІДЙОМНОЇ ЛЕБІДКИ КРАНА В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB	99
БАГРІЙ О. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІТЕРАЦІЙНИХ АЛГОРИТМІВ ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ ПЛОСКОЇ ФІЗИЧНО НЕЛІНІЙНОЇ ЗАДАЧІ	108
БОЙКО Ю., ПЯТІН І., МОКРИЦЬКИЙ А. ДОСЛІДЖЕННЯ КІЛ СИНХРОНІЗАЦІЇ ЦИФРОВИХ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ	113
КРИЛИК Л. ЗАСТОСУВАННЯ БАГАТОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСІЙНОГО АНАЛІЗУ З МЕТОЮ ЯКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ ФАКТОРІВ НА ЧУТЛИВІСТЬ ЄМНІСНОГО СЕНСОРА ВОЛОГОСТІ	122
ГАЛИШ В., РАДОВЕНЧИК Я., ГОМЕЛЯ М., РАДОВЕНЧИК В. ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСІВ ОЧИЩЕННЯ ПІДСІТКОВИХ ВОД ДЛЯ ПОВТОРНОГО ВИКОРИСТАННЯ В ЦЕЛЮЛОЗНО-ПАПЕРОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ	128
ГОРДІЄНКО К., РАДОВЕНЧИК Я., КРИСЕНКО Т., РАДОВЕНЧИК В. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИСАДЖЕННЯ ІОНІВ КАЛЬЦІЮ З РОЗВЕДЕНИХ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ У ВИГЛЯДІ ФОСФАТІВ	134
ГОРОХОВ І., КУЛІШ І., АСАУЛЮК Т., САРІБЄКОВА Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ АНТИМІКРОБНОЇ ОБРОБКИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРИГНІЧУВАННЯ БАКТЕРІАЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ІЗ ДОВКІЛЛЯ	141
ГОРОХОВ І., КУЛІШ І., АСАУЛЮК Т., САРІБЄКОВА Ю. ЕФЕКТИВНІСТЬ ОБРОБКИ АНТИМІКРОБНИМИ СКЛАДАМИ ТЕКСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ПОБУТІ ТА ГРОМАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ	146
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М., ПАНАСЮК І. РОЗРОБКА ВИСОКОПРОДУКТИВНОЇ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ ЗІ СКЛАДНИМ ПРОСТОРОВИМ РУХОМ ДВОХ РОБОЧИХ ЄМКОСТЕЙ	152
ЗАСПА Ю. АНТИСИМЕТРИЯ ТА КАВІТАЦІЙНІ ТОПОЛОГІЧНІ РОЗРИВИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОСТОРУ Й ІНЕРТНОЇ МАСИ В ОСНОВІ ЕКСИМЕРНИХ СИСТЕМ КВАНТОВОЇ ГЕНЕРАЦІЇ ОБМІННОГО ІНЕРЦІЙНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. МОНОМЕРНА РІВНОВАГА ТА УТВОРЕННЯ РЕЧОВИНИ	159
КОВАЛЬ В., ОРОБЧУК Б., ОСАДЦА Я., КОСТИК Л. АВТОМАТИЗОВАНА ВИМІРЮВАЛЬНА УСТАНОВКА ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ	168
КРИВЕНЧУК Ю., ВАСИЛИК Р. РОЗРОБЛЕННЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ГРАФІЧНОГО ЗАСТОСУНКУ КОЛЬОРИЗАЦІЇ ЗОБРАЖЕННЯ	174
КУДЛАЙ С., БОНДАРЕНКО Н., БОНДАРЕНКО В. ПОБУДОВА ТА ВЕРІФІКАЦІЯ МОДЕЛІ ЦИФРОВОГО ЕКВАЛАЙЗЕРА	178
ПЕЛИК Л., ОСТАПЧУК О., ПЕЛЕХ Ю. ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНИХ ТА МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ЗМІШАНИХ ТКАНИН ДЛЯ СПЕЦОДЯГУ ТИПУ «RIPSTOP»	185

РУТКЕВИЧ В., КУШНІР В., ГАНЖА В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ГІДРАВЛІЧНОГО ПРИВОДА РІЗАКА ДЛЯ ВІДОКРЕМЛЕННЯ ТА ВИВАНТАЖЕННЯ БЛОК-ПОРЦІЇ КОРМУ ВІД КОРМОВОГО МОНОЛІТУ	189
СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ В. ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ АЛЬБАТРОС	196
ХОРОЛЬСЬКИЙ В., КОРЕНЕЦЬ Ю., ОМЕЛЬЧЕНКО О., ГОНЧАРЕНКО В. ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ В СИСТЕМІ УЗГОДЖЕНОГО УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ КОМПЛЕКСУ ПІДПРИЄМСТВО – ПРОМИСЛОВИЙ ХОЛОДИЛЬНИК	200
ЩЕРБАНЬ В., ІЩЕНКО В., КОЛИСКО О., ГОЛЬДБЕРГ М., ЩЕРБАНЬ Ю. ВПЛИВ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ЦІЛЬОВУ ФУНКЦІЮ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ ВИЗНАЧЕННІ ОПТИМАЛЬНОГО ШЛЯХУ ДЛЯ НЕОРІЄНТОВАНОГО ГРАФА	213
БОЙКО Ю., СВАЧІЙ О. ДОСЛІДЖЕННЯ ІНЕРЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ВИМІРЮВАННЯ ВІДХИЛЕННЯ ВАНТАЖУ БІЛА ВІД НУЛЬОВОЇ ТОЧКИ	218
КОПИТІНА І., АНДРЕЄВА О., МОКРОУСОВА О., ОХМАТ О. ФЕРМЕНТИ ТА ПІДХОДИ ДО ЇХ ВИКОРИСТАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ НАТУРАЛЬНОЇ ШКІРИ	227
СІНЧУК І., КОТЯКОВА М. ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСИМЕТРИЧНИХ РЕЖИМІВ ТРИФАЗНИХ ЧОТИРИПРОВІДНИХ МЕРЕЖ З РОЗОСЕРЕДЖЕНОЮ ГЕНЕРАЦІЄЮ	233
ФРИШЕВ С., ЛУКАЧ В., ІКАЛЬЧИК М., ВАСИЛЮК В. УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ЗЕРНА ВІД КОМБАЙНІВ	238
АНТОНЕНКО А., БРОВЕНКО Т., КРИВОРУЧКО М., СТУКАЛЬСЬКА Н., ТОЛОК Г., ТОНКИХ О. МОДЕЛЮВАННЯ РЕЦЕПТУРНОГО СКЛАДУ ОЗДОРОВЧИХ ПРОДУКТІВ ХАРЧУВАННЯ НА ОСНОВІ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ КОМПОЗИЦІЙ.....	243
ВАСИЛЬЧЕНКО І., КУПРІЙ Я., СЕМЕШКО О. ДОСЛІДЖЕННЯ РЕОЛОГІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ КОСМЕТИЧНИХ ЕМУЛЬСІЙ ПРЯМОГО ТИПУ, РОЗРОБЛЕНИХ НА ОСНОВІ КОМПОЗИЦІЙ СИЛІКОНІВ.....	251
МАЄВСЬКИЙ Я., ПРАВОРСЬКА Н. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ АВТОМАТИЗАЦІЇ МАСШТАБУВАННЯ МІКРОСЕРВІСІВ У СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ КОНТЕЙНЕРИЗОВАНИМИ ЗАСТОСУНКАМИ KUBERNETES	260
ПАШКЕВИЧ О., ВАЩИЩАК С., БОЙЧУК А., СТИСЛО Т., ДЕМЧИНА М. ЗАСТОСУВАННЯ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ЦІН НА РИНКУ НЕРУХОМОСТІ	265
ГОРЯЩЕНКО С., ГОЛІНКА Є., ДРАПАК Г., ГОРЯЩЕНКО К., ПОЛІЩУК О. ДОСЛІДЖЕННЯ ПОПЕРЕДНЬОГО СКЛЕЮВАННЯ ДЕТАЛЕЙ ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПОЛІМЕРНИМИ МАТЕРІАЛАМИ.....	274
ЛП'ЯНИНА-ГОНЧАРЕНКО Х., КОМАР М., САЧЕНКО А., ЛЕНДЮК Т. МЕТОД ФОРМУВАННЯ КОНТЕКСТУ РЕКЛАМИ ТА ЦІЛЬОВОЇ АУДИТОРІЇ НА ОСНОВІ НАВЧАННЯ АСОЦІАТИВНИХ ПРАВИЛ	279

CONTENT

OLIJNYK H. TECHNOLOGICAL FEATURES OF BECKERS BRAND PAINT PRODUCTS	9
BOYKO S., KOTOV O., VYSHNEVSKY S., SHKOKIN V., HUSAROVA O., ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY IN THE CONDITIONS OF AVIATION ENTERPRISES	13
HUNKO I., HRYBYK R. SIMULATION OF A GROUND PROCESSING UNIT WITH THE DEVELOPMENT OF RECOMMENDATIONS FOR THE SELECTION OF WORKING BODIES	18
BASYSTIUK O., MELNYKOVA N. MULTIMODAL SPEECH RECOGNITION BASED ON AUDIO AND TEXT DATA	22
YEFREMOVA O., IVANISHENA T., ISHCHUK T., TRUKHINA O., YEFREMOVA Y. THE CURRENT STATE OF POLYMER WASTE MANAGEMENT	26
BABYCH A. , KERNESH V., TKACHENKO D. USE OF ELEMENTS OF 3D PRINTING IN MEN'S SUIT DESIGN	32
BABYCH A. , GARANINA O., MOSKOVA O. FORMATION OF THE RANGE OF MEN'S SHOES TAKING INTO ACCOUNT THE CHARACTERISTICS OF SHAPE AND COLOR ON THE BASIS OF MARKETING RESEARCH	37
KAMINSKY R., SHAKHOVSKA N., KHUDOBA B. EXPERIMENTAL RESEARCH AND GROUPING OF OPERATING STAFF OF SEARCH SYSTEMS IN THE SENSE OF STRESS RESISTANCE ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ	42
MYRONYUK O., BAKLAN D., GLUKHOVSKY V. ASPECTS OF WETTING OF HYDROPHOBIZED SURFACES TEXTURED BY A FEMTOSECOND LASER	52
NOVOSAD M.-R. MULTISOURCE INTELLIGENT PARKING ASSISTANT	56
PEDYASH V. CHANNEL MODELING OF THE OTH OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM WITH QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION	61
MIHAILOVA N., PRIVALA V. STUDY OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES IN DYNAMIC CONDITIONS ON SPECIAL MATERIALS FOR INSULATING SUITS OF CHEMICAL ENTERPRISES	66
BOLOTINA V. ANALYSIS OF THE AVAILABLE SYSTEMS OF SUPPORTING THE SCIENTIFIC ACTIVITIES OF EMPLOYEES OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS	71
DANYLKO VYCH A., SANGINOVA O. ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PROCESSING OF HARNESS LEATHER	77
SOKOLAN I., MYLKO V., TKACHUK V., SOKOLAN K. PROJECT CONCEPTION OF CAE-SYSTEM FOR WEAR ANALYSIS OF FRICTION BEARING UNDER CONDITIONS OF SHAFT AND LINER AXIS MISALIGNMENT	82
KATENIN V., SAMOILENKO N. CURRENT STATE OF SOLAR PHOTOVOLTAIC PANELS WASTE MANAGEMENT OPERATIONS IN UKRAINE СУЧАСНИЙ	89

SHILINH A., PASKO A. DEVELOPMENT OF THE DICTIONARY STRUCTURE FOR THE CHAT-BOT OF EDUCATIONAL SERVICES CATALOG OF THE HIGHER EDUCATION INSTITUTION	94
BABIY S., MOSHNORIZ M., PROCENKO D., PAYANOK O., ZHUKOV O. SIMULATION OF WORKING MODES OF THE ELECTRICAL DRIVE OF A LIFTING CRANE WINCHES IN MATLAB	99
BAHRII O. SOFTWARE IMPLEMENTATION OF ITERATIVE ALGORITHMS FOR SOLVING A PLANAR PHYSICALLY NONLINEAR PROBLEM	108
BOIKO J., MOKRYTSKY A., PYATIN I. RESEARCH OF SYNCHRONIZATION CIRCUITS FOR DIGITAL COMMUNICATION SYSTEMS	113
KRYLIK L. APPLICATION OF MULTIFACTOR DISPERSION ANALYSIS WITH THE PURPOSE OF QUALITATIVE ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF FACTORS ON THE SENSITIVITY OF THE CAPACITIVE HUMIDITY SENSOR	122
HALYSH V., RADOVENCHYK I., GOMELYA M., RADOVENCHYK V. STUDY OF THE PROCESSES OF WASTEWATER TREATMENT FOR REUSE IN THE PULP AND PAPER INDUSTRY	128
GORDIENKO K., RADOVENCHYK Y., KRYSENKO T., RADOVENCHYK V.. EFFICIENCY OF PLANTING CALCIUM IONS FROM DILUTE AQUEOUS SOLUTIONS IN THE FORM OF PHOSPHATES	134
HOROKHOV I., KULISH I., ASAULYUK T., SARIBYEKOVA Y. INVESTIGATION OF ANTIMICROBIAL TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS ON THE EFFECTIVENESS OF INHIBITION OF BACTERIAL CONTAMINATION FROM THE ENVIRONMENT ..	141
HOROKHOV I., KULISH I., ASAULYUK T., SARIBYEKOVA Y. EFFECTIVENESS OF THE ANTIMICROBIAL TREATMENT OF TEXTILE MATERIALS FOR USE AT HOME AND IN PUBLIC SPACES	146
ZALYUBOVSKIY M., PANASYUK I. DEVELOPMENT OF A HIGH-PERFORMANCE HOLDING MACHINE WITH COMPLEX SPATIAL MOVEMENT OF TWO WORKING CAPACITIES	152
ZASPA Y. ANTI-SYMMETRY AND CAVITATION TOPOLOGICAL DISRUPTIONS OF COMPLEX SPACE AND INERT MASS ON THE BASIS OF EXCIMER SYSTEMS OF QUANTUM GENERATION OF EXCHANGE INERTIAL RADIATION. MONOMER EQUILIBRIUM AND MATTER FORMATION	159
KOVAL V., OROBCHUK B., OSADTSA Y., KOSTYK L. AUTOMATICAL MEASURING DEVICE FOR RESEARCHING THE ELECTRICAL CHARACTERISTICS OF PHOTOELECTRIC MODULES	168
KRYVENCHUK Y., VASYLYK R. INTERACTIVE GRAPHIC APPLICATION FOR IMAGE COLORATION	174
KUDLAI V., BONDARENKO N., BONDARENKO V. CONSTRUCTION AND VERIFICATION OF A DIGITAL EQUALIZER MODEL	178
PELYK L., OSTAPCHUK O., PELEH Y. STUDY OF STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF MIXED FABRICS FOR SPECIAL CLOTHING TYPE «RIPSTOP»	185
VRUTKEVYCH V., KUSHNIR V., GANZHA V. MATHEMATICAL MODEL OF THE HYDRAULIC CUTTER DRIVE FOR CUTTING AND UNLOADING THE BLOCK-PORTION OF FEED FROM THE FEED MONOLITH	189

STRELBITSKIY V. EVALUATION OF THE RELIABILITY OF ALBATROSS GANTRY CRANE MECHANISMS	196
KHOROLSKY V., KORENETS Y., OMELCHENKO O., HONCHARENKO V. REFRIGERATION MACHINES IN THE SYSTEM OF CONSISTENT MANAGEMENT OF ELECTRIC ENERGY CONSUMPTION OF THE COMPLEX ENTERPRISE-INDUSTRIAL REFRIGERATOR.....	200
SHCHERBAN V., ISHCHEENKO V., KOLISKO O., GOLDBERG M., SHCHERBAN Y. INFLUENCE OF BOUNDARY CONDITIONS ON THE OBJECTIVE FUNCTION IN THE COMPUTER DETERMINATION OF THE OPTIMAL PATH FOR AN UNDIRECTED GRAPH	213
BOIKO J., SVACHII O. RESEARCH OF THE INERTIAL DEVIATION MEASUREMENT SYSTEM UAV CARGO FROM ZERO POINT	218
KOPYTINA I., ANDREYEVA O., MOKROUSOVA O., OKHMAT O. ENZYMES AND APPROACHES TO THEIR APPLICATION IN THE LEATHER PRODUCTION	227
SINCHUK I., KOTIAKOVA M. STUDY OF NON-SYMMETRICAL MODES OF THREE-PHASE FOUR-WIRE NETWORKS WITH DISTRIBUTED GENERATION	233
FRYSHEV S., LUKACH V., IKALCHYK M., VASYLYUK V. IMPROVEMENT OF GRAIN TRANSPORTATION TECHNOLOGY FROM COMBINES	238
ANTONENKO A., BROVENKO T., KRYVORUCHKO M., STUKALSKA N., TOLOK G., TONKYKH O. SIMULATION OF THE RECIPE COMPOSITION OF HEALTHY FOOD PRODUCTS BASED ON FUNCTIONAL COMPOSITIONS	243
VASYLCHENKO I., KUPRIY Y., SEMESHKO O. STUDY OF THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DIRECT TYPE COSMETIC EMULSIONS DEVELOPED ON THE BASIS OF THE COMPOSITIONS OF SILICONES.....	251
MAYEVSKIY Y., PRAVORSKA N. IMPROVING THE EFFICIENCY OF AUTOMATION THE SCALING OF MICROSERVICES IN THE KUBERNETES CONTAINERIZED APPLICATION MANAGEMENT SYSTEM	260
PASHKEVYCH O., VAHSCHYSHCHAK S., BOICHUK A., STYSLO T., DEMCHYNA M. APPLICATION OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING PRICES ON THE REAL ESTATE MARKET	265
HORIASHCHENKO S., HOLINKA Y., DRAPAK G., HORIASHCHENKO K., POLISHCHUK O. RESEARCH OF TRANSVERSE GLUING OG LIGTHINDASTRY PARTS WITH POLIMERIC MATERIALS	274
LIPIANINA-HONCHARENKO K., KOMAR M., SACHENKO A., LENDIUK T. METHOD OF FORMING THE CONTEXT OF ADVERTISING AND TARGET AUDIENCE BASED ON ASSOCIATIVE RULES LEARNING	279

ПЕДЯШ Володимир

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

ORCID: [0000-0002-4071-357X](https://orcid.org/0000-0002-4071-357X)e-mail: vpedyash@gmail.com

МОДЕЛЮВАННЯ КАНАЛУ ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ОТН З КВАДРАТУРНОЮ АМПЛІТУДНОЮ МОДУЛЯЦІЄЮ

В роботі наведено результати дослідження якісних характеристик волоконно-оптичної системи передавання ОТН. Розроблена імітаційна MatLab модель каналу із швидкістю передавання 43,018 Гбіт/с (OTU3) з модуляцією КАМ-4, що дозволяє врахувати лінійні та нелінійні спотворення сигналу в оптичному середовищі розповсюдження, а також параметри функціональних блоків системи. Виконано співставлення отриманих даних з результатами моделювання, отриманих в спеціалізованих програмних продуктах і доведена коректність запропонованої моделі.

Ключові слова: імітаційна модель, спотворення, оптичний канал, квадратурна амплітудна модуляція

PEDYASH Volodymyr

State University of Intellectual Technologies and Communications

CHANNEL MODELING OF THE OTH OPTICAL TRANSMISSION SYSTEM WITH QUADRATURE AMPLITUDE MODULATION

The rapid development of services for providing broadband access to the Internet and multimedia content delivery services required the widespread use of fiber optic transmission systems (FOTS) for the transmission of digital traffic. The transmitter signal passes through an optical line, which includes optical fiber and optical amplifiers. In the optical fiber, linear and nonlinear distortions are introduced into the signal, and optical amplifiers generate additive noise of amplified spontaneous emission. In this paper, we develop a model of the optical channel of OTH system with QAM modulation, which takes into account linear and nonlinear distortions of the optical propagation medium and additive noise of the amplified spontaneous radiation of optical amplifiers. To obtain accurate results, the method of simulation modeling was used. The block diagram of the developed model contains a transmitter, an optical line and a coherent receiver of the optical signal. The expression for the time form of the electric field intensity of the optical signal at the transmitter output is given. Modeling of the optical fiber was performed by the split step Fourier method. The noise of the amplified spontaneous emission of optical amplifiers was formed in the frequency domain by means of the Fourier transform operation.

The quality of the optical channel was estimated by calculating the average value of the Q-factor of the optical signal at the receiver output. The dependence of the Q-factor from the number of sections of the optical line and the power level of the optical signal was obtained. It is shown that to maximize the quality characteristics of the optical channel, the optimal value of the signal power should be used. The comparison of the obtained results with the data from specialized software products is carried out. Sufficient accuracy of the proposed model was demonstrated. It is recommended to use the developed channel model in the design of new and modernization of existing fragments of networks based on OTH systems with QAM modulation.

Keywords: simulation model, distortion, optical channel, quadrature amplitude modulation

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Швидкий розвиток послуг з надання широкосмугового доступу до мережі Інтернет та сервісів доставки мультимедійного контенту привів до широкого впровадження волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП) для передавання цифрового трафіку. Сьогодні на ділянці транспортної мережі активно використовуються ВОСП оптичної транспортної ієрархії (ОТН), що дозволяють організувати цифрові тракти із швидкістю від 2,7 Гбіт/с (OTU1) до 111,8 Гбіт/с (OTU4) [1]. Для передачі цифрових потоків OTU1 та OTU2 (10,7 Гбіт/с) застосовують модуляцію по інтенсивності. З метою підвищення завадостійкості ВОСП, цифрові потоки вищих рівнів ієрархії OTU3 (43 Гбіт/с) і OTU4 передаються з використанням методів модуляції, що передбачають когерентний прийом: фазової (ФМ), диференційної фазової (ДФМ) та квадратурної амплітудної (КАМ).

Сигнал передавача транспондера ВОСП проходить через лінійний тракт, що містить оптичне волокно (ОВ) та підсилювачі. Оптичне волокно вносить в сигнал лінійні (дисперсійні) та нелінійні спотворення, а оптичні підсилювачі формують шум посиленого спонтанного випромінювання. Ці ефекти призводять до зменшення відношення сигнал/шум сигналу на вході приймача ВОСП та підвищення ймовірності помилки в оптичному каналі. Тому при проектуванні нових та модернізації існуючих фрагментів транспортних мереж виникає актуальне завдання з визначення якісних характеристик каналу оптичної системи передавання з когерентним прийомом в залежності від конфігурації ВОСП та параметрів оптичного сигналу.

Аналіз останніх досліджень

Зважаючи на складність фізичних процесів передачі оптичного сигналу по каналу ОТН, коректне вирішення поставленого завдання можливе шляхом застосування одного з методів моделювання систем [2]. Використаний метод дослідження повинен враховувати властивості оптичного сигналу, його спотворення у процесі передачі та взаємодію з шумом. Найбільш розповсюдженими варіантами дослідження систем передачі є методи аналітичного та імітаційного моделювання [3–5], які дозволяють виконувати визначення

параметрів сигналу та окремих блоків системи передачі з метою покращення її якісних характеристик.

Аналітичне моделювання використовується для дослідження систем передачі із середовищем поширення без істотних нелінійних спотворень. Дослідженню робочих параметрів ВОСП, які працюють у лінійному режимі без урахування нелінійних спотворень присвячено низку робіт. У публікаціях [6, 7] виконано узагальнення аналітичних моделей поширення сигналу в системах з прямим детектуванням та когерентним прийомом. Проте отримані аналітичним моделюванням якісні параметри систем передачі є дещо завищеними. Реальні їх значення будуть меншими, оскільки розрахункові вирази не враховують всіх спотворень сигналу в оптичному середовищі розповсюдження. Найбільш важливими є нелінійні спотворення сигналу в оптичному волокні, викликані нелінійністю показника заломлення матеріалу (ефект Керра).

В основу всіх моделей поширення оптичного сигналу в дисперсійному середовищі з нелінійними спотвореннями покладено рівняння Шредінгера [8]. Узагальненого аналітичного вирішення воно немає, тому для отримання результату застосовуються чисельні методи. Найбільш точним з них є метод Фур'є з розщепленням за фізичними факторами.

Перелічені причини зумовили вибір методу імітаційного моделювання у дослідженнях цієї роботи, оскільки він дозволяє врахувати всі спотворення сигналу в середовищі поширення та функціональних блоках станційного обладнання ВОСП.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є розробка моделі каналу ВОСП з КАМ модуляцією, що враховує лінійні та нелінійні спотворення оптичного середовища розповсюдження та адитивний шум підсиленого спонтанного випромінювання оптичних підсилювачів.

Виклад основного матеріалу

При побудові імітаційної моделі слід опиратися на математичну модель сигналу та шуму, а також їх подальшу взаємодію у функціональних блоках системи передавання. В даній роботі виконано дослідження моделі когерентної ВОСП з модуляцією КАМ-4. Її суттєвою перевагою є нульовий пікфактор сигналу передавача (всі точки сигнального сузір'я мають однакову енергію), що зменшує прояв нелінійних спотворень сигналу в ОВ. В подальшому запропонована модель каналу ВОСП може бути модифікована для більшої кількості точок сигнального сузір'я.

Структурна схема моделі каналу (рис. 1) містить передавач, волоконно-оптичний лінійний тракт (ВОЛТ) та приймач оптичного сигналу. Генератори псевдовипадкової послідовності (ГПВП) формують багатопозиційні символи синфазного a_i та квадратурного b_i каналів КАМ, які в передавачі перетворюються в модулюючі сигнали NRZ $a(t)$ та $b(t)$. Вихідний сигнал КАМ-4 є сумою двох ортогональних сигналів ФМ-2 з напруженістю електричного поля згідно виразу:

$$E_{\text{пер}}(t) = \frac{\sqrt{P_{\text{ло}}}}{2} \left(\exp \left[j \left(\omega_{\text{ло}} t + \pi a(t) \right) \right] + \exp \left[j \left(\omega_{\text{ло}} t + \pi b(t) - \frac{\pi}{2} \right) \right] \right), \quad (1)$$

де $P_{\text{ло}}$ та $\omega_{\text{ло}}$ – потужність та частота лазерного випромінювача передавача відповідно.

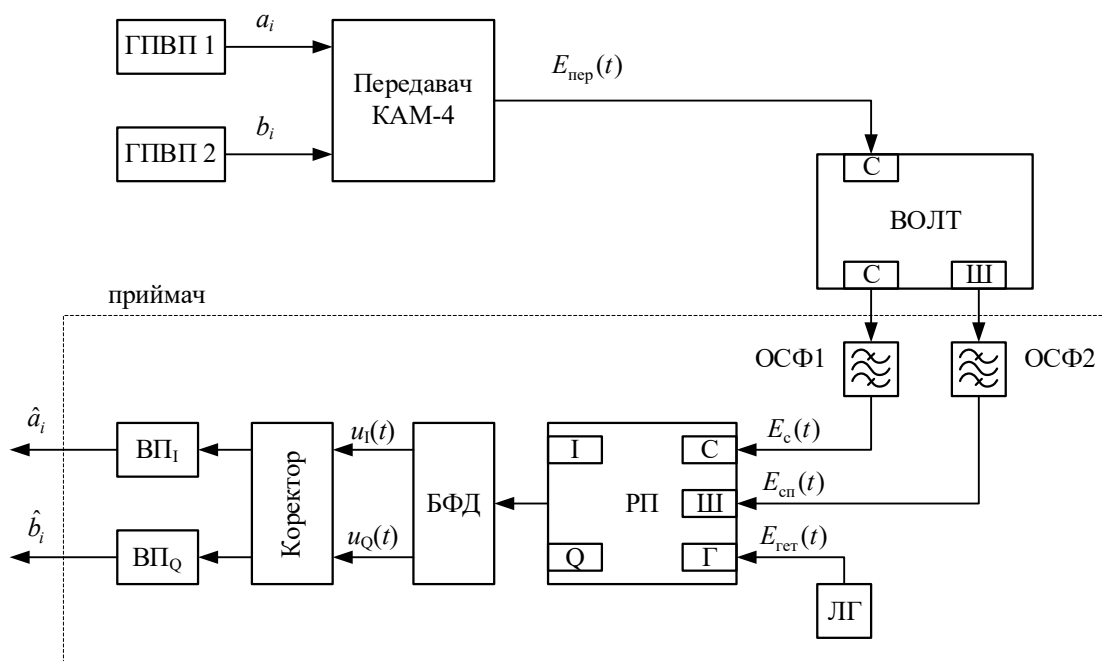


Рис. 1. Структурна схема каналу ВОСП ОН з КАМ-4

Далі сформований сигнал проходить через блок ВОЛТ, який має вхід та вихід сигналу "С" та окремий вихід "Ш", на якому присутнє коливання $E_{\text{сп}}(t)$, що за своїми характеристиками еквівалентне до сумарного шуму спонтанного випромінювання оптичних підсилювачів.

Приймач оптичного сигналу КАМ складається з розділюючого пристрою (РП), балансного фотодетектора (БФД) для оптоелектронного перетворення, коректора та вирішуючих пристроїв (ВП). Приймач також містить лазерний гетеродин (ЛГ), що формує опорне коливання $E_{\text{гет}}(t)$ для коректної роботи блоків РП та БФД. Для виділення з групового сигналу ВОСП СРК смуги окремого каналу виконується операція фільтрації сигналу та шуму в оптичних смугових фільтрах ОСФ1 та ОСФ2 відповідно.

При визначенні співвідношення сигнал/шум на виході каналу слід виконати аналіз взаємодії коливань лазерного гетеродина та вхідного сигналу E_c сумісно з шумом оптичних підсилювачів $E_{\text{сп}}$. В літературі наводиться ряд стандартних схем для побудови РП та БФД, але в їх основу покладена схема з роботи [9] з чотирма оптичними розгалужувачами 2x2 Р1-Р4 (рис. 2).

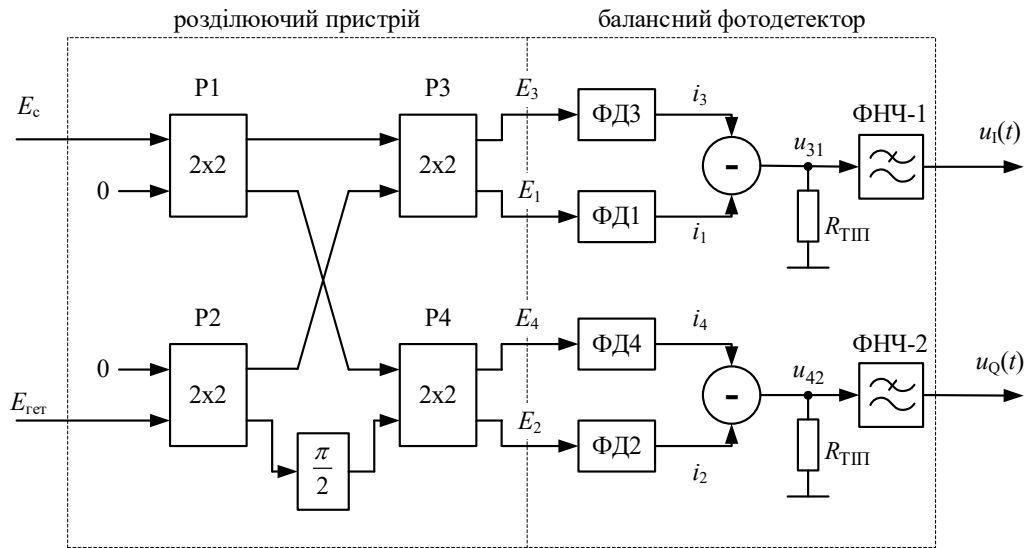


Рис. 2. Функціональна схема приймача когерентної ВОСП

Сигнал на його виході оптичного розгалужувача 2x2 є добутком матриці його передатної функції та вхідного сигналу:

$$\begin{bmatrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{j}{2} & -\frac{j}{2} \\ -\frac{1}{2} & \frac{j}{2} \\ \frac{1}{2} & -\frac{1}{2} \\ -\frac{j}{2} & \frac{1}{2} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} E_c + E_{\text{сп}} \\ E_{\text{гет}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{j}{2}(E_c + E_{\text{сп}} + E_{\text{гет}}) \\ -\frac{1}{2}(E_c + E_{\text{сп}} - jE_{\text{гет}}) \\ \frac{1}{2}(E_c + E_{\text{сп}} - E_{\text{гет}}) \\ -\frac{1}{2}(jE_c + jE_{\text{сп}} - E_{\text{гет}}) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Вирази для струму на виході фотодіодів ФД1 та ФД3:

$$\begin{aligned} i_1 = R|E_1|^2 &= R \left| -\frac{j}{2}(E_c + E_{\text{сп}} + E_{\text{гет}}) \right|^2 = R \left| -\frac{j}{2} \right|^2 |E_c + E_{\text{сп}} + E_{\text{гет}}|^2 = \\ &= \frac{R}{4} \left[|E_c|^2 + |E_{\text{сп}}|^2 + |E_{\text{гет}}|^2 + 2|E_c||E_{\text{сп}}|\cos\angle(E_c, E_{\text{сп}}) + \right. \\ &\quad \left. + 2|E_c||E_{\text{гет}}|\cos\angle(E_c, E_{\text{гет}}) + 2|E_{\text{сп}}||E_{\text{гет}}|\cos\angle(E_{\text{сп}}, E_{\text{гет}}) \right], \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} i_3 = R|E_3|^2 &= R \left| \frac{E_c + E_{\text{сп}} - E_{\text{гет}}}{2} \right|^2 = \frac{R}{4} |E_c + E_{\text{сп}} - E_{\text{гет}}|^2 = \\ &= \frac{R}{4} \left[|E_c|^2 + |E_{\text{сп}}|^2 + |E_{\text{гет}}|^2 + 2|E_c||E_{\text{сп}}|\cos\angle(E_c, E_{\text{сп}}) - \right. \\ &\quad \left. - 2|E_c||E_{\text{гет}}|\cos\angle(E_c, E_{\text{гет}}) - 2|E_{\text{сп}}||E_{\text{гет}}|\cos\angle(E_{\text{сп}}, E_{\text{гет}}) \right], \end{aligned} \quad (4)$$

де R – чутливість фотодіоду, А/Вт.

Аналізуючи складові у виразах (3) та (4) приходимо до висновку, що вони містять по чотири однакових перших доданки, які компенсуються на виході віднімаючого пристрою. В результаті струм на

виході синфазного каналу матиме тільки два доданки, які є биттями сигнал-гетеродин та шум-гетеродин:

$$i_3 - i_1 = -R|E_c||E_{\text{гет}}|\cos\angle(E_c, E_{\text{гет}}) - R|E_{\text{сп}}||E_{\text{гет}}|\cos\angle(E_{\text{сп}}, E_{\text{гет}}). \quad (5)$$

Далі в балансному фотодетекторі виконується підсилення струму в трансїмпедансному підсилювачі (ТПП), що має опір $R_{\text{ТПП}}$ і послідовна фільтрація у ФНЧ з імпульсною характеристикою $h_{\text{фнч}}(t)$.

Аналогічно, в квадратурному каналі приймача ВОСП отримуємо:

$$i_4 - i_2 = R|jE_c||E_{\text{гет}}|\sin\angle(E_c, E_{\text{гет}}) + R|jE_{\text{сп}}||E_{\text{гет}}|\sin\angle(E_{\text{сп}}, E_{\text{гет}}). \quad (8)$$

В коректорі відбувається формування комплексного сигналу $i_{\text{вих}}(t) = u_I(t) * h_{\text{фнч}}(t) + ju_Q(t) * h_{\text{фнч}}(t)$ та послідовне відновлення фази і амплітуди прийомного сигналу.

На основі вищенаведеної математичної моделі каналу системи передавання, в середовищі MatLab була розроблена відповідна імітаційна модель. За її допомогою були визначені параметри якості каналу ВОСП ОТУЗ з КАМ-4 (рис. 3) для параметрів функціональних блоків згідно табл. 1. Як вже вказувалося раніше, сигнал КАМ-4 можна розглядати у вигляді суми двох ортогональних сигналів з модуляцією ФМ-2. Тому в даному дослідженні використано метод оцінки якісних характеристик каналу на основі Q -фактору сигналу на виході коректора [10]. Для перевірки достовірності результатів моделювання була створена контрольна імітаційна модель каналу ВОСП СРК в спеціалізованій програмі Optiwave Optisystem. Оскільки в цій програмі реалізовано два варіанти обробки сигналу у фотодіоді (чисельний та аналітичний), моделювання також проводилося двома вказаними методами.

Таблиця 1

Параметри математичної моделі каналу ВОСП СРК в MatLab

Параметр	Значення	Параметр	Значення
Швидкість передавання $V_{\text{пер}}$	43,018 Гбіт/с	Нелінійність ОВ n_2	$2,6 \cdot 10^{-20} \text{ м}^2/\text{Вт}$
Кількість двійкових символів $N_{\text{симв}}$	10000	Ефективна площа ОВ $A_{\text{эф}}$	$80 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$
Робоча довжина хвилі лазера	1550 нм	Шум-фактор ОП nf	6 дБ
Довжина секції $L_{\text{ОВ}}$	100 км	$PSD_{\text{сп}}$	$2,521 \cdot 10^{-16} \text{ Вт/Гц}$
Загасання ОВ α	0,2 дБ/км	Смуга пропускання ОСФ	100 ГГц
Дисперсія ОВ σ_{01}	16,75 пс/(нм*км)	Чутливість ФД R	1 А/Вт

Отримані результати показали, що при наявності шумів оптичних підсилювачів ВОЛТ та нелінійних спотворень сигналу в ОВ, залежність Q -фактору від рівня сигналу передавача $P_{\text{пер}}$ при фіксованій довжині ВОЛТ в $N_{\text{секц}}$ має екстремум у вигляді максимуму (рис. 3, а). Це пояснюється тим, що при збільшенні рівня потужності передавача збільшується захищеність від адитивних завад оптичних підсилювачів, але також підвищується і рівень нелінійних спотворень сигналу в ОВ. Збільшення протяжності оптичної лінії призводить до зменшення рівня оптимальної потужності сигналу внаслідок накопичення нелінійних спотворень на кожній секції ВОЛТ.

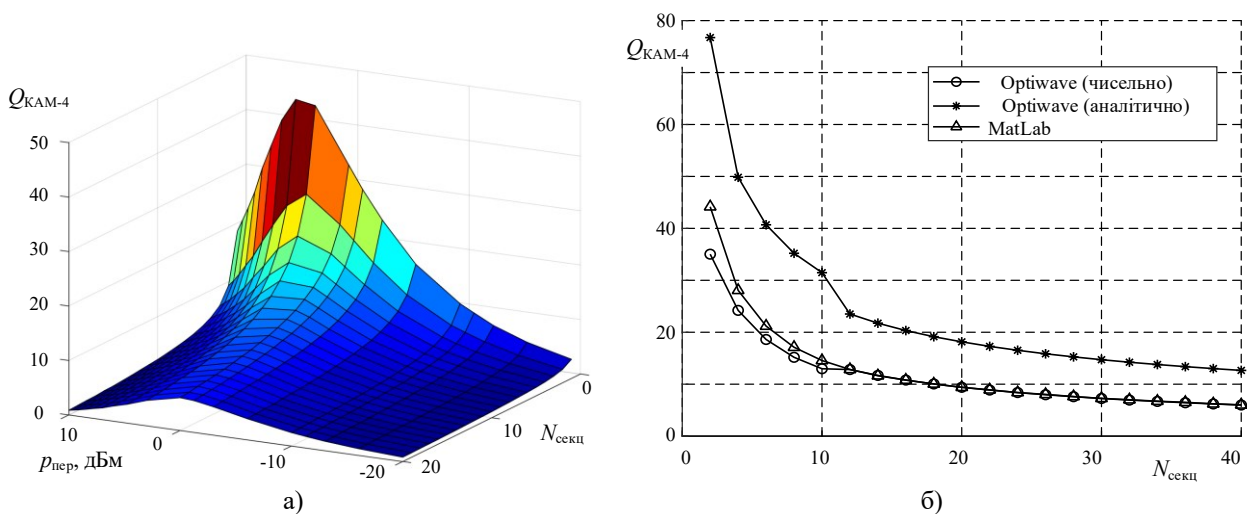


Рис. 3. Характеристики каналу ВОСП СРК ОТУЗ з КАМ-4:

а) залежність Q -фактору від $N_{\text{секц}}$ та $P_{\text{пер}}$;

б) максимальне значення Q -фактора

Дослідження показали, що при збільшенні довжини ВОЛТ, середній показник Q -фактору сигналу зменшується по експоненціальному закону (рис. 3, б). Результати моделювання в MatLab та Optiwave Optisystem (чисельна модель обробки сигналу в фотодіоді) для протяжних ліній майже збігаються, що підтверджує коректність розробленої імітаційної моделі каналу ВОСП СРК. Аналітична модель фотодіода в Optiwave Optisystem основана на статистичних характеристиках вхідного сигналу та шуму, тому її використання призвело до отримання дещо завищених характеристик якості каналу.

В процесі дослідження також було проведено порівняння потужності биття шум-гетеродин на виході приймача. Як і в попередньому випадку, результати моделювання MatLab досить близькі до чисельної моделі фотодіода в Optiwave Optisystem.

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В статті запропонована MatLab модель каналу оптичної системи передавання ОТН з квадратурною амплітудною модуляцією. Розроблена її структурна схема та проаналізовано обробку сигналу у відповідних функціональних блоках. Модель враховує параметри оптичного сигналу, його лінійні та нелінійні спотворення в середовищі розповсюдження, а також у функціональних блоках системи передавання. На прикладі оптичного каналу ОТН ОУЗ з модуляцією КАМ-4 проведено дослідження його якісних характеристик. Отримана залежність Q -фактору від рівня потужності сигналу передавача і протяжності лінійного тракту ВОСП. Показано, що підвищення якісних показників каналу зв'язку досягається використанням оптимальної потужності сигналу передавача транспондера. Запропоновану імітаційну модель доцільно використовувати на етапі проектування телекомунікаційних мереж на базі ВОСП з КАМ модуляцією з метою підвищення їх експлуатаційних характеристик. В подальшому розроблену модель доцільно доопрацювати в напрямі використання модуляції з більшою кількістю точок сигнального сузір'я (КАМ-16 і вище).

Література

1. Соломенчук В.Д. Оптические транспортные сети / Соломенчук В.Д. – К. : Центр последипломного образования ПАО «Укртелеком», 2014. – 294 с.
2. Стеценко І.В. Моделювання систем : навч. посіб. / Стеценко І.В. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
3. Shaw J.K. Mathematical Principles of Optical Fiber Communication / Shaw J.K. – Blacksburg : Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004. – 103 p.
4. Педяш В.В. Влияние фазовой самомодуляции оптического сигнала на качество каналов ВОСП СРК / В.В. Педяш, О.С. Решетникова // Наукові праці УДАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 1. – С. 109-114.
5. Педяш В.В. Влияние нелинейных искажений оптических волокон на качество каналов ВОСП СРК / В.В. Педяш // Наукові праці УДАЗ ім. О.С. Попова. – 2010. – № 2. – С. 70-74.
6. Keang-Po H. Phase-Modulated Optical Communication Systems / Keang-Po H. – Springer, 2005. – 430 p.
7. Seimetz M. High-Order Modulation for Optical Fiber Transmission / Seimetz M. – Berlin : Springer, 2009. – 252 p.
8. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems / Agrawal G.P. – New York : Wiley-Interscience, 2002. – 580 p.
9. Hoffman D. Integrated optics eight-port 90 degrees hybrid on LiNbO₃ / D. Hoffman; H. Heidrich; G. Wenke; R. Langenhorst; E. Dietrich // Journal of Lightwave Technology. – 1989. – Vol. 7, No 5. – P. 794-798.
10. Kaminow I.P. Optical Fiber Telecommunications IV-A: Components / Kaminow I.P. – Academic Press, 2002. – 876 p.

References

1. Solomenchuk V.D. Opticheskie transportnye seti / Solomenchuk V.D. – K. : Centr poslediplomnogo obrazovaniya PAO «Ukrtelekom», 2014. – 294 s.
2. Stetsenko I.V. Modeliuvannia system : navch. posib. / Stetsenko I.V. – Cherkasy : ChDTU, 2010. – 399 s.
3. Shaw J.K. Mathematical Principles of Optical Fiber Communication / Shaw J.K. – Blacksburg : Virginia Polytechnic Institute and State University, 2004. – 103 p.
4. Pedyash V.V. Vliyanie fazovoy samomodulyacii opticheskogo signala na kachestvo kanalov VOSP SRK / V.V. Pedyash, O.S. Reshetnikova // Naukovi praci UDAZ im. O.S. Popova. – 2010. – № 1. – S. 109-114.
5. Pedyash V.V. Vliyanie nelinejnyh iskazhenij opticheskikh volokon na kachestvo kanalov VOSP SRK / V.V. Pedyash // Naukovi praci UDAZ im. O.S. Popova. – 2010. – № 2. – S. 70-74.
6. Keang-Po H. Phase-Modulated Optical Communication Systems / Keang-Po H. – Springer, 2005. – 430 p.
7. Seimetz M. High-Order Modulation for Optical Fiber Transmission / Seimetz M. – Berlin : Springer, 2009. – 252 p.
8. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems / Agrawal G.P. – New York : Wiley-Interscience, 2002. – 580 p.
9. Hoffman D. Integrated optics eight-port 90 degrees hybrid on LiNbO₃ / D. Hoffman; H. Heidrich; G. Wenke; R. Langenhorst; E. Dietrich // Journal of Lightwave Technology. – 1989. – Vol. 7, No 5. – P. 794-798.
10. Kaminow I.P. Optical Fiber Telecommunications IV-A: Components / Kaminow I.P. – Academic Press, 2002. – 876 p.

Надійшла/Paper received : 15.08.2022 p. Надрукована/Printed : 01.11.2022 p.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

Повні вимоги до оформлення рукопису
http://journals.khnu.km.ua/vestnik/?page_id=37

Підп. до друку 01.11.2022 р. Ум.друк.арк. 37,88 Обл.-вид.арк. 36,04
Формат 30х42/4, папір офсетний. Друк різнографією.
Наклад 100, зам. № _____

Тиражування здійснено з оригінал-макету, виготовленого
редакцією журналу “Вісник Хмельницького національного університету”
редакційно-видавничим центром Хмельницького національного університету
29016, м. Хмельницький, вул. Інститутська, 7/1. тел (0382) 72-83-63