

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

1.2023

ВІСНИК

**Хмельницького
національного
університету**

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2023, Issue 1, Volume 317

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, 2023, № 1(317)

**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=aIUP9OYAAAAAJ
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., Защепкіна Н.М., д.т.н., Рубаненко О. О., д.с.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., 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), Кальчиньскі 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)

<i>Технічний редактор</i>	Горященко С. Л., к.т.н.
<i>Редактор-коректор</i>	Броженко В. О.

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 08 від 23.02.2023 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 visnyk.khnu@gmail.com		http://lib.khnu.km.ua/visnyk_tup.htm

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

© Хмельницький національний університет, 2023
© Редакція журналу "Вісник Хмельницького національного університету", 2023

ЗМІСТ

ДУБАС ЮРІЙ, КУНАНЕЦЬ НАТАЛІЯ ВИКОРИСТАННЯ ОНТОЛОГІЇ В ІНФОРМАЦІЙНІЙ СИСТЕМІ ДЛЯ ДОПОМОГИ У ФОРМУВАННІ ІНДИВІДУАЛЬНОЇ ОСВІТНЬОЇ ТРАЄКТОРІЇ СТУДЕНТІВ	9
БАБЕНКО ОЛЕКСІЙ, КУТІНА МАРИНА, ПРОЦЕНКО ЛЮДМИЛА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БІОГАЗОВИХ УСТАНОВОК НА ПІДПРИЄМСТВАХ АГРОПРОМИСЛОВОГО КОМПЛЕКСУ	18
БОРТНИК ГЕННАДІЙ, БОРТНИК ОЛЕКСАНДР, КИРИЛЮК СЕРГІЙ СПЕКТРАЛЬНО-КОВАРІАЦІЙНИЙ МЕТОД КЛАСИФІКАЦІЇ РАДІОСИГНАЛІВ	21
ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ МИКОЛА, ВАРГАТЮК ГАННА, БОЛДИРЕВА ОЛЬГА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ РАДІОІНТЕРФЕЙС З ПІДТРИМКОЮ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ	26
ВАСИЛЬКІВСЬКИЙ МИКОЛА, ПРИКМЕТА АНДРІЙ, ОЛІЙНИК АНДРІЙ, НІКІТОВИЧ ДІАНА ОПТИМІЗАЦІЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ	33
ВЕСЕЛОВСЬКА НАТАЛІЯ, БУРЛАКА СЕРГІЙ МЕТОДИ ТА ПРИЙОМУ КОМБІНУВАННЯ РОБОЧИХ ОРГАНІВ КОМПЛЕКСНИХ ҐРУНТОБРОБНИХ МАШИН	42
ВЛАСЮК ВАЛЕНТИН ПОБУДОВА ПРОГНОЗОВАНИХ МОДЕЛЕЙ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ДЛЯ ТРАДИЦІЙНИХ ТА СКЛАДЕНИХ ЗГІДНО З КОНЦЕПЦІЄЮ SMART GRID СХЕМ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ДЛЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ ШАХТ	48
ГОРБІЙЧУК МИХАЙЛО, КРОПИВНИЦЬКИЙ ДМИТРО ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОГЛИБЛЕННЯ СВЕРДЛОВИНИ З ВРАХУВАННЯМ СТАНУ ОЗБРОЄННЯ ДОЛОТА	58
ГУРМАН ІВАН, БОБРОВНИКОВА КІРА, БЕДРАТЮК ЛЕОНІД, БЕДРАТЮК ГАННА МЕТОД АНАЛІЗУ ПРОГРАМНОГО КОДУ ДЛЯ ОЦІНКИ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЯДРА CUDA	67
ДАНИЛКОВИЧ АНАТОЛІЙ, САНГІНОВА ОЛЬГА ЗАСТОСУВАННЯ ТАНІДІВ АКАЦІЇ В ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ЕЛАСТИЧНИХ ШКІР	74
ДАНИЛКОВИЧ АНАТОЛІЙ, ЛІЩУК ВІКТОР ФОРМУВАННЯ ВЗУТТЄВОЇ ШКІРИ ЗІ СПИЛКУ ШКУР СВИНЕЙ	82
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ МАРК, ПАНАСЮК ІГОР, ЛИЧОВ ДМИТРО, КОШЕЛЬ ГАННА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ РЕЖИМІВ РУХУ РОБОЧОГО МАСИВУ В ГАЛТУВАЛЬНІЙ МАШИНІ З ДОДАТКОВОЮ РУХОМОЮ ЛАНКОЮ ПОВЗУНОМ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЗМІНИ КОНСТРУКТИВНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ	87
ЗЕЛІНСЬКА ОКСАНА, ПОТАПОВА НАДІЯ, МЕЛЬЯНОВА АНАСТАСІЯ ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА ВЕДЕННЯ РЕЄСТРУ КЛІЄНТІВ БАНКУ	94
КОВАЛЬОВ ЮРІЙ, ПЛЕШКО СЕРГІЙ, СУВОРОВ ІВАН РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОЇ РОБОТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЗАВАНТАЖЕННЯ ЕКСТРУДЕРА	100
КРАВЦОВ АНДРІЙ, ЛЕВКІН ДМИТРО, БЕРЕЖНА НАТАЛІЯ, ЛЕВКІН АРТУР МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ БІОБ'ЄКТОВИХ ЗАДАЧ	105

КРАВЧЕНКО СВІТЛАНА, МАРЧУК ГАЛИНА, ЛОКТИКОВА ТАМАРА, ГРИШКУН ЄВГЕНІЙ МЕТОДИ ЮЗАБІЛІТІ-ТЕСТУВАННЯ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ МОБІЛЬНОГО ДОДАТКУ	111
КУЧЕРЕНКО ЮЛІЯ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МАТЕРІАЛУ ПОКРИТТІВ ПРИ ВІДНОВЛЕННІ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ХОЛОДНОГО ГАЗОДИНАМІЧНОГО НАПИЛЕННЯ	119
ЛЕМЕШКО АРТЕМ, АНТОНЕНКО АНДРІЙ, ЦВИК ОЛЕКСАНДР АНАЛІЗ І ОСОБЛИВОСТІ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ТРАФІКУ	123
МАМУТА МАРИНА, КРАВЧЕНКО ІГОР, МАМУТА ОЛЕКСАНДР ХОСТИНГ СТАТИЧНОГО ВЕБ-САЙТУ ЗАСОБАМИ AWS S3	128
МАРТИНЮК ТЕТЯНА, КОЖЕМ'ЯКО АНДРІЙ, БОРТНИК ГЕНАДІЙ, ВОЙНАЛОВИЧ ОЛЕКСАНДР АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ АНАЛОГО-ЦИФРОВОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ «ТРИВАЛІСТЬ-КОД»	135
МИХАЙЛОВА НІНА, ПРИВАЛА ВАЛЕРІЙ, ЛУЩЕВСЬКА ОЛЕНА ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР НА МАТЕРІАЛИ ІЗ ПОЛІМЕРНИМ ПОКРИТТЯМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ В СТАТИЧНИХ УМОВАХ	139
ОЛІЙНИК ГАЛИНА, ДАНЧЕНКО ЮЛІЯ, КОРНИЦЬКА ЛАРИСА, РАСТОРГУЄВА МАРІЯ ДОСЛІДЖЕННЯ АСОРТИМЕНТУ ТА ТЕХНОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОДУКЦІЇ СЕРІЇ DEKODER DERUFA ДЛЯ ОЗДОБЛЕННЯ СТІНИ В СУЧАСНОМУ ІНТЕР'ЄРІ	145
ОНИЩУК ОКСАНА ВИВЧЕННЯ ПРОЦЕСУ ФЛОКУЛЯЦІЇ ТА КОАГУЛЯЦІЇ ПРИ ОЧИЩЕННІ ВОДИ ДЛЯ ПРОМИСЛОВОГО ЗАСТОСУВАННЯ	151
ПАЗДРІЙ ІГОР ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМ РОЗРОБКИ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА ОСНОВІ ФРЕЙМВОРКІВ	155
ПЕДЯШ ВОЛОДИМИР МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ОТН З МОДУЛЯЦІЄЮ ПО ІНТЕНСИВНОСТІ	162
ПЕДЯШ ВОЛОДИМИР ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ОПТИЧНОГО ВОЛОКНА	167
ПОТАПОВА НАДІЯ, ВОЛОНТИР ЛЮДМИЛА МЕТОД МОДЕЛЮВАННЯ В УПРАВЛІННІ ЗАПАСАМИ ІЄРАРХІЧНИХ ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ	174
РИМАР ТЕТЯНА ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РЕЖИМУ ПРОЦЕСУ ПОРИЗАЦІЇ РІДИННОСКЛЯНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ДЛЯ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ В УМОВАХ НВЧ ВИПРОМІНЮВАННЯ	181
СИНЮК ОЛЕГ, КРАВЧУК ОЛЬГА, КРАВЧУК АНДРІЙ, МАГДІН ВІКТОР, ЗОЛОТЕНКО ІВАН МОДЕЛЬ ПЛАСТИЧНОЇ ДЕФОРМАЦІЇ ПОЛІМЕРНОГО МАТЕРІАЛУ	186
СЛАВІНСЬКА АЛЛА, СИРОТЕНКО ОКСАНА АНАЛІЗ СУЧАСНОГО НАСТИЛЬНОГО ОБЛАДНАННЯ, ЩО ЗАСТОСОВУЄТЬСЯ У ШВЕЙНІЙ ГАЛУЗІ	196
СОКІЛ МАРІЯ, ЗВОРСЬКИЙ АНДРІЙ СУЧАСНІ ЕЛЕКТРОННІ ПОСЛУГИ БІБЛОТЕКИ ДЛЯ ПІДТРИМКИ НАВЧАЛЬНОГО ТА НАУКОВОГО ПРОЦЕСІВ ЗВО В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	205

СТРЕЛЬБИЦЬКИЙ ВІКТОР

ОЦІНКА НАДІЙНОСТІ МЕХАНІЗМІВ ПОРТАЛЬНИХ КРАНІВ «ГАНЦ» 209

ЧИГІНЬ ВАСИЛЬ, ПАЗИНЮК МИХАЙЛО, ТЕРЕНДІЙ ОЛЬГА, МЕНЬШИКОВ ОЛЕКСІЙ

КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ВІДДАЛЕНОГО ПРИСТРОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ PYTHON-СЕРВЕРА FLASK 214

ЩЕРБАНЬ ВОЛОДИМИР, КОЛЬВА МИКИТА,**ЄГОРОВ ДМИТРО, КОЛИСКО ОКСАНА, ЩЕРБАНЬ ЮРІЙ**РОЗРОБКА КОМП'ЮТЕРНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ КІНЕМАТИЧНОГО ТА ДИНАМІЧНОГО АНАЛІЗУ ВАЖЛИВИХ
МЕХАНІЗМІВ МАШИН ЛЕГКОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ПРОГРАМИ ДЛЯ ОЦІНКИ НАПРУЖЕНОСТІ

ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ 220

КОЗУБ ЮРІЙ, КОЗУБ ГАЛИНА

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРОБКИ МУЛЬТИПЛАТФОРМНИХ ЗАСТОСУНКІВ НА KOTLIN 224

РУТКЕВИЧ ВОЛОДИМИР, ДІДИК АНДРІЙ

ОГЛЯД МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ ДЛЯ СУШІННЯ ВОЛОСЬКОГО ГОРІХА В ШКАРАЛУПІ 230

CONTENT

DUBAS YURI, KUNANETS NATALIYA

 USE OF ONTOLOGY IN INFORMATION SYSTEM TO ASSIST IN THE FORMATION OF AN INDIVIDUAL
EDUCATIONAL TRAJECTORY OF STUDENTS 9

BABENKO OLEKSIY, KUTINA MARYNA, PROTSENKO LYUDMILA

 STUDY OF THE EFFICIENCY OF THE APPLICATION OF BIOGAS INSTALLATIONS
AT ENTERPRISES OF THE AGRICULTURAL COMPLEX 18

BORTNYK GENNADIY, BORTNYK OLEXAND, KYRYLYUK SERGIY

SPECTRAL-COVARIATION METHOD OF CLASSIFICATION OF RADIO SIGNALS 21

VASYLKIVSKYI MIKOLA, VARGATYUK GANNA, BOLDYREVA OLGA

INTELLIGENT RADIO INTERFACE WITH THE SUPPORT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE 26

VASYLKIVSKYI MIKOLA, PRYKMETA ANDRII, OLIYNYK ANDRII, NIKITOVYCH DIANA

OPTIMIZATION OF INTELLIGENT TELECOMMUNICATION NETWORKS 33

VESELOVSKA NATALIYA, BURLAKA SERHIY

 METHODS AND TECHNIQUES COMBINATION WORKING BODIES
OF COMPLEX SOIL PROCESSING MACHINES 42

VLASYUK VALENTYN

 BUILDING PREDICTIVE ELECTRICITY CONSUMPTION MODELS FOR TRADITIONAL AND SMART GRID POWER
SUPPLY SCHEMES FOR IRON ORE MINES 48

GORBIYCHUK MYKHAIL, KROPYVNYTSKYI DMYTRO

 OPTIMAL CONTROL OF THE WELL DEEPENING PROCESS CONSIDERING
THE CONDITION OF THE BITTING EQUIPMENT 58

HURMAN IVAN, BOBROVNIKOVA KIRA, BEDRATYUK LEONID, BEDRATYUK HANNA

APPROACH FOR CODE ANALYSIS TO ESTIMATE POWER CONSUMPTION OF CUDA CORE 67

DANYLKOVYCH ANATOLIY, SANGINOVA OLGA

APPLICATION OF ACACIA TANNINS IN ELASTIC LEATHER MATERIALS PRODUCTION TECHNOLOGY 74

DANYLKOVYCH ANATOLII, LISHCHUK VIKTOR

FORMATION OF SHOE LEATHER FROM SPLIT PIG HIDES 82

ZALYUBOVSKYI MARK, PANASYUK IGOR, LYCHOV DMITRO, KOSHEL GANNA

 RESEARCH OF THE CHANGE OF THE MOTION MODES OF THE WORKING ARRAY IN A TURNING MACHINE
WITH AN ADDITIONAL MOVEABLE SLIDING LINK DEPENDING ON THE CHANGE OF DESIGN FEATURES 87

ZELINSKA OKSANA, POTAPOVA NADIYA, YEMELIANOVA ANASTASHA

INFORMATION SYSTEM FOR MAINTAINING THE REGISTER OF CLIENTS OF THE BANK 94

KOVALYOV YURI, PLESHKO SERGEY, SUVOROV IVAN

DEVELOPMENT OF IMPROVED ROBOTICS EXTRUDER LOADING SYSTEM 100

KRAVTSOV ANDRII, LEVKIN DMYTRO, BEREZHNA NATALIYA, LEVKIN ARTUR

 METHODOLOGICAL APPROACH TO THE MATHEMATICAL MODELS CONSTRUCTION OF BIOOBJECT
PROBLEMS 105

KRAVCHENKO SVITLANA, MARCHUK GALINA, LOKTIKOVA TAMARA, GRISHKUN YEVGENII USABILITY TESTING METHODS FOR ASSESSING A MOBILE APPLICATION	111
KUCHERENKO JYLIA SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF COATING MATERIAL WHEN RESTORING PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY BY COLD GAS-DYNAMIC SPRAYING	119
ANTONENKO ARTEM, LEMESHKO ANDRII, TSVIK OLEKSANDR ANALYSIS AND FEATURES OF TRAFFIC MONITORING SOFTWARE	123
MAMUTA MARYNA, KRAVCHENKO IGOR, MAMUTA OLEKSANDR AMAZON S3 STATIC WEBSITE HOSTING	128
MARTYNIUK TATIANA, KOZHEMIAKO ANDRYI, BORTNYK GENNADIY, VOINALOVYCH OLEKSANDR ANALYSIS OF FEATURES OF ANALOG-TO-DIGITAL CONVERSION "DURATION-CODE"	135
MIHAILOVA NINA, PRIVALA VALERII, LUSHCHEVSKA OLENA STUDY OF THE INFLUENCE OF LOW TEMPERATURES ON MATERIALS WITH A SPECIAL PURPOSE POLYMER COATING UNDER STATIC CONDITIONS	139
OLIJNYK HALINA, DANCHENKO YULIYA, KORNYTSKA LARYSA, RASTORHUIEVA MARIIA STUDY OF THE RANGE AND TECHNOLOGICAL FEATURES OF THE DERUFA DECODER SERIES FOR WALL DECORATION IN A MODERN INTERIOR	145
ONYSHCHUK OKSANA TO THE STUDY OF THE FLOCCULATION AND COAGULATION PROCESS IN THE PURIFICATION OF WATER FOR INDUSTRIAL APPLICATION	151
PAZDRIY IHOR COMPARATIVE ANALYSIS OF SOFTWARE DEVELOPMENT SYSTEMS BASED ON FRAMEWORKS	155
PEDYASH VOLODYMYR MATHEMATICAL MODELING OF FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEM WITH INTENSITY MODULATION	162
PEDYASH VOLODYMYR INVESTIGATION OF THE MATHEMATICAL MODEL OF OPTICAL FIBER	167
POTAPOVA NADIYA, VOLONTYR LUDMILA MODELING METHOD IN STOCK MANAGEMENT HIERARCHICAL LOGISTICS SYSTEMS	174
RYMAR TATYANA RESEARCH OF THE TECHNOLOGICAL MODE OF THE PROCESS OF PORIZATION OF LIQUID GLASS COMPOSITE MATERIALS FOR THERMAL INSULATION IN THE CONDITIONS OF UHF RADIATION	181
SYNYUK OLEG, KRAVCHUK OLGA, KRAVCHUK ANDRII, MAGDIN VICTOR, ZOLOTENKO IVAN MODEL OF PLASTIC DEFORMATION OF POLYMER MATERIAL	186
SLAVINSKA ALLA, SYROTENKO OKSANA ANALYSIS OF MODERN SPREADING EQUIPMENT APPLIED IN THE SEWING INDUSTRY	196
SOKIL MARIYA, ZVORSKYI ANDRII MODERN ELECTRONIC SERVICES OF THE LIBRARY TO SUPPORT EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC	205

STRELBITSKIY VICTOR

EVALUATION OF THE RELIABILITY OF «GANZ» PORTAL CRANE MECHANISMS 209

CHYHIN VASYL, PAZYNIUK MYKHAILO, TERENDII OLHA, MENSNIKOV OLEKSI

CONTROLLING THE OPERATION OF THE REMOTE DEVICE USING FLASK PYTHON SERVER 214

SHCHERBAN VOLODYMYR, KOLVA NIKITA,**EGOROV DMITRIJ, KOLISKO OKSANA, SHCHERBAN YURYJ**

DEVELOPMENT OF A COMPUTER MODULE FOR KINEMATIC AND DYNAMIC ANALYSIS OF IMPORTANT MECHANISMS OF LIGHT INDUSTRIAL MACHINES, PROGRAMS FOR ASSESSING THE TENSION OF TECHNOLOGICAL PROCESSES 220

KOZUB YURIJ, KOZUB HALYNA

FEATURES OF MULTIPLATFORM APPLICATION DEVELOPMENT ON KOTLIN 224

RUTKEVYCH VOLODYMYR, DIDYK ANDRII

OVERVIEW OF METHODS AND TOOLS FOR DRYING WALNUTS IN THE SHELL 230

ПЕДЯШ Володимир

Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку

<https://orcid.org/0000-0002-4071-357X>e-mail: vpedyash@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВОЛОКОННО-ОПТИЧНОЇ СИСТЕМИ ПЕРЕДАВАННЯ ОТН З МОДУЛЯЦІЄЮ ПО ІНТЕНСИВНОСТІ

В роботі наведено результати дослідження параметрів якості каналів волоконно-оптичних систем передавання зі спектральним мультиплексуванням та модуляцією по інтенсивності. На прикладі каналів типу OTU1 та OTU2 системи передавання оптичної транспортної ієрархії розраховано чисельні значення Q -фактору сигналу в приймачі за повною та спрощеною формою розрахункового виразу. Виконано порівняння отриманих чисельних даних з результатами імітаційного моделювання. Доведено доцільність врахування всіх складових завад електричного струму в приймачі системи для отримання більш коректної аналітичної моделі.

Ключові слова: волоконно-оптична система передавання, завада, оптичний підсилювач, модуляція.

PEDYASH Volodymyr

State University of Intellectual Technologies and Communications

MATHEMATICAL MODELING OF FIBER-OPTIC TRANSMISSION SYSTEM WITH INTENSITY MODULATION

Fibre optic transmission systems are widespread in the transport network. Optical Transport Hierarchy (OTH) transmission systems are the basis of the transport network. The principle of wavelength multiplexing of channels is used to increase the technical and economic performance. Technically a simpler type of intensity modulation is used to transmit OTU1 and OTU2 OTH frames. Erbium-doped fibre-based optical amplifiers also generate amplified spontaneous emission noise, which degrades the performance of the transmission system.

The qualitative characteristics of the optical channel of OTH transmission system with intensity modulation are investigated in this paper. In the simulation process, it is possible to neglect the nonlinear signal distortion in the optical fiber at the nominal signal power of the transponder transmitter. Therefore, in the studied transmission system model, an optical oscillation consisting of two components (signal and noise) arrives at the receiver input. In this case, an electrical signal consisting of three summands (signal-signal, signal-noise and noise-noise) will be generated at the output of the photodiode.

A simplified formula for calculating the Q -factor of the optical signal, which affects the error probability in the optical channel, is proposed in most of the specialized literature. Numerical Q -factor values were calculated for OTU1 and OTU2 frames. They were compared with the reference results which were obtained by simulation in Optiwave Optisystem software. The analysis of the obtained data has proved that the simplified formula for the calculation of the Q -factor has a relative error of the order of 39-59%. A more accurate result can be obtained by using an expression that takes into account both components of the noise at the photodiode output.

Keywords: fiber optic transmission system, interference, optical amplifier, modulation

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Волоконно-оптичні системи передачі (ВОСП) сьогодні широко розповсюджені на різних ділянках телекомунікаційної мережі. Основу транспортної мережі складають ВОСП оптичної транспортної ієрархії (ОТН), які використовують спектральне мультиплексування оптичних каналів. Якісні характеристики системи залежать від багатьох їх технічних характеристик, в тому числі і від методу модуляції оптичного сигналу.

Актуальною проблемою на етапі проектування нових та модернізації існуючих транспортних мереж на базі ВОСП з МІ є визначення їх якісних характеристик: відношення сигнал-шум на вході вирішуючого пристрою приймача та вірогідності помилки в цифровому каналі зв'язку. Сьогодні для проведення досліджень часто використовується імітаційне моделювання ВОСП за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Зважаючи на специфіку проблеми, комерційне програмне забезпечення є досить коштовним і потребує значних обчислювальних ресурсів. Тому актуальним завданням є дослідження більш простих аналітичних моделей, які дозволяють швидко отримати оціночні результати, хоча і мають більшу погрішність внаслідок неможливості повноцінно врахувати особливості розповсюдження сигналу в оптичному волокні.

Аналіз останніх досліджень

Класична схема ВОСП включає в себе блоки передавача, приймача та волоконно-оптичний лінійний тракт (ВОЛТ). В свою чергу, ВОЛТ складається з кількох секцій (ділянок), які містять оптичне волокно (ОВ) та оптичний підсилювач (ОП) для компенсації загасання сигналу. Розповсюдження сигналу в ОВ описується нелінійним рівнянням Шредінгера, яке не має аналітичного вирішення [1]. Згідно з цим рівнянням, в оптичний сигнал вносяться лінійні (загасання та хроматична дисперсія) та нелінійні спотворення. Аналіз впливу потужності сигналу передавача на якість оптичного каналу [2–4] показав, що при потужності оптичного сигналу 1 мВт і нижче, проявом нелінійних спотворень в ОВ можна знехтувати. В сучасних ВОСП дисперсійні спотворення майже повністю усуваються в оптичних компенсаторах дисперсії та цифрових коректорах в складі приймача ВОСП. Тому основним фактором, що впливає на якість

оптичного каналу є шум підсиленого спонтанного випромінювання (ПСВ) оптичних підсилювачів.

Для передавання високошвидкісних інформаційних структур OTU3 (43 Гбіт/с) та OTU4 (112 Гбіт/с) ОН застосовуються методи модуляції з когерентним прийомом, які мають високу завадозахищеність і досить добре досліджені [5, 6]. Низькошвидкісні інформаційні структури OTU1 (2,7 Гбіт/с) та OTU2 (10,7 Гбіт/с) транспортуються з використанням технічно більш простого методу модуляції по інтенсивності (МІ), який також достатньо досліджено. Але порівняння результатів аналітичних та імітаційних моделей ВОСП з МІ в літературі недостатньо висвітлено.

Формулювання цілей статті

Метою даної роботи є аналіз точності результатів аналітичного моделювання ВОСП з модуляцією по інтенсивності, що враховує взаємодію оптичного сигналу та шуму посиленого спонтанного випромінювання оптичних підсилювачів у приймачі.

Виклад основного матеріалу

Структурна схема моделі каналу ВОСП (рис. 1) включає передавач, ВОЛТ та приймач оптичного сигналу. В свою чергу, передавач містить генератор псевдовипадкової послідовності (ГПВП), оптичний модулятор (ОМ) та лазерний осцилятор (ЛО). Для визначення якісних параметрів каналу ВОСП спочатку розглянемо варіант функціонування системи без модуляції оптичного сигналу. В цьому випадку на виході передавача буде сформовано оптичний сигнал з напруженістю електричного поля:

$$E_{\text{пер}}(t) = \sqrt{2P_{\text{пер}}} \cos(\omega_0 t + \varphi_0), \quad (1)$$

де $P_{\text{пер}}$, ω_0 та φ_0 – середня потужність, частота та початкова фаза коливання лазера (в подальшому тексті $\varphi_0 = 0$).

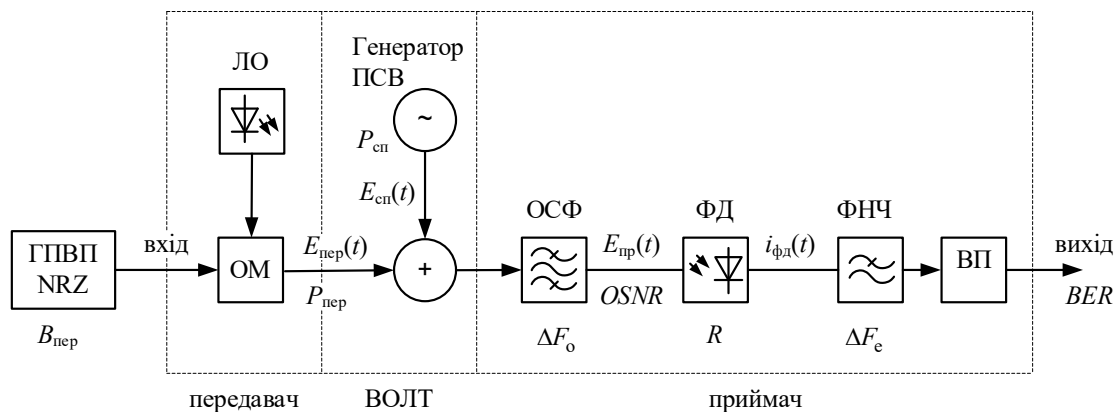


Рис. 1. Структурна схема моделі каналу ВОСП з модуляцією по інтенсивності

У випадку повної компенсації загасання ОВ в ОП, моделювання ВОЛТ зводиться до додавання до оптичного сигналу $E_{\text{пер}}(t)$ шуму ПСВ $E_{\text{сп}}(t)$ з сумарною потужністю в одній площині поляризації:

$$P_{\text{сп}} = PSD_{\text{сп}} \Delta F_o = n_{\text{сп}} (G - 1) h \nu N_{\text{секц}} \Delta F_o, \quad (2)$$

де $PSD_{\text{сп}}$ – спектральна щільність потужності завади ПСВ;

$n_{\text{сп}}$ – коефіцієнт спонтанного випромінювання ОП;

G – коефіцієнт посилення ОП;

h – постійна Планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж·с);

ν – частота монохромного оптичного сигналу (для смугового сигналу співпадає з частотою ЛО

$\nu = \omega_0 / 2\pi$);

ΔF_o – ширина смуги пропускання оптичного смугового фільтра (ОСФ) приймача ВОСП.

В свою чергу, коефіцієнт спонтанного випромінювання підсилювача визначається за його шум-фактором ηf [7]:

$$n_{\text{сп}} = \frac{10^{0,1\eta f}}{2}. \quad (3)$$

Приймач ВОСП містить блоки оптичного смугового фільтра (ОСФ), фотодіод (ФД), фільтр нижніх частот (ФНЧ) та вирішувач (ВП). Фотодіод є квадратичним детектором, тому сигнал на його виході складається із трьох доданків:

$$i_{\text{фд}}(t) = R |E_{\text{пр}}(t)|^2 = R |E_{\text{пер}}(t) + E_{\text{сп}}(t)|^2 = R \left(|E_{\text{пер}}(t)|^2 + 2 |E_{\text{пер}}(t)| |E_{\text{сп}}(t)| + |E_{\text{сп}}(t)|^2 \right) =$$

$$= i_{c-c}(t) + i_{c-сп}(t) + i_{сп-сп}(t), \quad (4)$$

де R – чутливість фотодіоду, А/Вт;

$i_{c-c}(t)$, $i_{c-сп}(t)$ та $i_{сп-сп}(t)$ – биття сигнал-сигнал, сигнал-шум та шум-шум відповідно.

Для визначення вірогідності помилки в оптичному каналі ВОСП слід розрахувати потужності всіх трьох складових електричного струму на вході вирішуючого пристрою приймача. Взаємодія сигналу та шуму в приймачі ВОСП з МІ детально проаналізована в роботі [6], тому в даному дослідженні скористаємося готовими розрахунковими виразами для визначення потужності биття сигнал-шум $P_{c-сп}$ та шум-шум $P_{сп-сп}$:

$$P_{c-сп} = 4R^2 P_{пер} PSD_{сп} \Delta F_e, \quad (5)$$

$$P_{сп-сп} = R^2 PSD_{сп}^2 \Delta F_o (\Delta F_o + 2\Delta F_e), \quad (6)$$

де ΔF_e – ширина смуги пропускання ФНЧ приймача.

Вірогідність помилки біта (BER) на виході каналу ВОСП та Q -фактор сигналу на вході ВП визначаються за виразами [7]:

$$BER = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{Q}{\sqrt{2}} \right), \quad (7)$$

$$Q = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sigma_1 + \sigma_0} = \frac{\mu_1 - \mu_0}{\sqrt{P_{c-сп}} + \sqrt{P_{сп-сп}}}, \quad (8)$$

де μ_1 та μ_0 – середнє значення (математичне очікування) відліків символів 1 та 0;

σ_1 та σ_0 – середньоквадратичне відхилення відліків символів 1 та 0.

З врахуванням однакової вірогідності передавання символів 1 та 0 в цифровій послідовності на вході каналу, пікова потужність оптичного сигналу в 2 рази більше середньої, тому вираз (8) після підстановки в нього (5) та (6) прийме наступну форму:

$$Q = \frac{P_{пер}}{\sqrt{P_{пер} PSD_{сп} \Delta F_e} + 0,5 PSD_{сп} \sqrt{\Delta F_o (\Delta F_o + 2\Delta F_e)}}. \quad (9)$$

Знехтувавши другим доданком (потужністю биття шум-шум) в знаменнику виразу (9), отримуємо відому з літератури [7, 8] просту формулу для визначення Q -фактору:

$$Q \approx \sqrt{\frac{P_{пер}}{PSD_{сп} \Delta F_e}} = \sqrt{OSNR \frac{\Delta F_o}{\Delta F_e}}, \quad (10)$$

де $OSNR$ – співвідношення потужностей оптичного сигналу та шуму ($OSNR = P_{пер} / P_{сп}$).

Для оцінки точності розрахунку Q -фактору за наведеними виразами, в демонстраційній версії програми Optiwave Optisystem згідно рис. 1 було розроблено імітаційну модель каналу ВОСП ОТН. За її допомогою визначалося точне значення Q -фактору і розраховувалася відносна помилка розрахунку δ :

$$\delta = \frac{|Q_p - Q_{ow}|}{Q_{ow}} \cdot 100\%, \quad (11)$$

де Q_p – розрахункове значення Q -фактору за виразами (9), (10);

Q_{ow} – визначене в програмі Optiwave Optisystem значення Q -фактору.

Чисельні результати аналітичного та імітаційного моделювання зведено до таблиці 1. Дослідження проводилися для параметрів моделі каналу ВОСП, наведеним в табл. 2. Аналіз відносної помилки розрахунку Q -фактору (табл. 3) показує, що вираз (9) має суттєво меншу відносну погрішність, яка зменшується з ростом протяжності ВОЛТ. Спрощеному виразу (10), що не враховує биття шум-шум, відповідає досить значна відносна помилка розрахунку в межах 39-59%. Також слід відмітити, що зі збільшенням протяжності лінії (кількості секцій $N_{секц}$) похибка розрахунку Q -фактору за даним виразом також збільшується, на відміну від повної форми розрахункового виразу. Це пояснюється ростом ваги другого доданку в знаменнику виразу (9) зі збільшенням спектральної щільності потужності шуму $PSD_{сп}$.

Отримані чисельні результати доводять, що використання спрощеного виразу для розрахунку Q -фактору призводить до суттєвого завищення його значення. Враховуючи нелінійну залежність $BER(Q)$ у виразі (7), це призводить до суттєвої погрішності у визначенні вірогідності помилки в оптичному каналі ВОСП.

Таблиця 1

Значення Q -фактору сигналу приймача ВОСП

Рівень циклу ОТН	Спосіб визначення Q -фактору	$N_{\text{секц}}$									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OTU1	вираз (9)	119,2	79,3	61,9	51,7	44,8	39,8	36,0	32,9	30,4	28,3
	вираз (10)	140,8	99,6	81,3	70,4	63,0	57,5	53,2	49,8	46,9	44,5
	Optiwave Optisystem	93,0	65,2	52,9	45,6	40,6	36,8	34,0	31,6	29,7	28,1
OTU2	вираз (9)	64,1	43,8	34,8	29,5	25,9	23,3	21,2	19,6	18,2	17,1
	вираз (10)	70,3	49,7	40,6	35,1	31,4	28,7	26,6	24,8	23,4	22,2
	Optiwave Optisystem	50,4	35,4	28,7	24,7	22,0	20,0	18,4	17,1	16,1	15,2

Таблиця 2

Параметри моделі ВОСП

Функціональний блок	Параметр	Значення
Передавач	Швидкість передачі цифрового сигналу $V_{\text{пер}}$	2,666 Гбіт/с (OTU1)
		10,709 Гбіт/с (OTU2)
	Середня потужність сигналу $P_{\text{пер}}$	1 мВт
Оптичне волокно	Коефіцієнт загасання	0,2 дБ/км
	Довжина однієї секції	100 км
Оптичний підсилювач	Шум-фактор nf	6 дБ
Оптичний смуговий фільтр	Ширина смуги ΔF_o	100 ГГц
Фотодіод	Чутливість R	1 А/Вт
ФНЧ приймача	Ширина смуги ΔF_e	0,75 $B_{\text{пер}}$

Таблиця 3

Відносна помилка розрахунку Q -фактору δ , %

Рівень циклу ОТН	Спосіб визначення Q -фактору	$N_{\text{секц}}$									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
OTU1	вираз (9)	28,2	21,5	17,0	13,4	10,6	8,1	6,0	4,1	2,4	0,8
	вираз (10)	51,4	52,6	53,7	54,5	55,3	56,1	56,7	57,4	58,0	58,6
OTU2	вираз (9)	27,4	23,8	21,4	19,5	17,9	16,6	15,4	14,3	13,2	12,3
	вираз (10)	39,6	40,5	41,5	42,3	43,1	43,8	44,5	45,1	45,7	46,2

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

В статті досліджена аналітична модель ВОСП з модуляцією по інтенсивності. Для інформаційних структур типу OTU1 та OTU2 визначено Q -фактор сигналу в приймачі каналу ВОСП ОТН за повною та спрощеною формою розрахункових виразів. Співставлення отриманих результатів з імітаційним моделюванням показало, що спрощеному розрахунковому виразу відповідає відносна погрішність близько 40–60%, залежно від швидкості передавання сигналу в оптичному каналі зв'язку. Доведено, що для отримання достовірного результату доцільно використовувати повну форму розрахункового виразу Q -фактору сигналу, що враховує всі складові завади в приймачі ВОСП. Погрішність визначення Q -фактору в такому випадку не перевищуватиме 15%.

Розглянуту аналітичну модель ВОСП з МІ в подальшому слід розширити з метою врахування міжсимвольної інтерференції, що виникає в ФНЧ приймача.

Література

1. Agrawal G.P. Nonlinear Fiber Optics. New York: Academic Press, 2013. 631 p.
2. 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.
3. 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.

4. Педяш В.В. Оценка влияния нелинейных искажений оптического волокна на качественные показатели когерентной ВОСП / А.Д. Мазур, В.В. Педяш // Наукові праці ОНАЗ ім. О.С. Попова. – 2016. – № 2. – С. 131-136.

5. Педяш В.В. Моделювання каналу оптичної системи передавання ОТН з квадратурною амплітудною модуляцією / В.В. Педяш // Вісник Хмельницького національного університету. Серія: Технічні науки. – 2022. – № 5. – С. 61-65.

6. Pedyash V., Mazur A., Rozenvasser D. (2021). Evaluation of Quality Parameters of an Intensity-Modulated Optical Transmission System. In: Vorobyenko P., Ilchenko M., Strelkovska I. (eds) Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 212. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_2

7. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems. New York: Wiley-Interscience, 2002. 580 p.

8. Stephen A.B. Optical communication receiver design. London: SPIE Publications, 1997. 337 p.

References

1. Agrawal G.P. Nonlinear Fiber Optics. New York: Academic Press, 2013. 631 p.

2. Pedjash V.V. Vliyanie fazovoj samomoduljacji opticheskogo signala na kachestvo kanalov VOSP SRK / V.V. Pedjash, O.S. Reshetnikova // Naukovi pratsi UDAZ im. O.S. Popova. – 2010. – № 1. – С. 109-114.

3. Pedjash V.V. Vliyanie nelinejnyh iskazhenij opticheskikh volokon na kachestvo kanalov VOSP SRK / V.V. Pedjash // Naukovi pratsi UDAZ im. O.S. Popova. – 2010. – № 2. – С. 70-74.

4. Pedyash V.V. Otsenka vliyaniya nelineynykh yskazheniy opticheskogo volokna na kachestvennyye pokazately koherentnoi VOSP / A.D. Mazur, V.V. Pedyash // Naukovi pratsi ONAZ im. O.S. Popova. – 2016. – № 2. – С. 131-136.

5. Pedyash V.V. Modeliuvannya kanalu optichnoi systemy peredavannya OTN z kvadraturnoiu amplitudnoi modulatsiieiu / V.V. Pedyash // Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Seriya: Tekhnichni nauky. – 2022. – № 5. – С. 61-65.

6. Pedyash V., Mazur A., Rozenvasser D. (2021). Evaluation of Quality Parameters of an Intensity-Modulated Optical Transmission System. In: Vorobyenko P., Ilchenko M., Strelkovska I. (eds) Current Trends in Communication and Information Technologies. IPF 2020. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 212. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-76343-5_2

7. Agrawal G.P. Fiber-Optic Communication Systems. New York: Wiley-Interscience, 2002. 580 p.

8. Stephen A.B. Optical communication receiver design. London: SPIE Publications, 1997. 337 p.

За зміст повідомлень редакція відповідальності не несе

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 08 від 23.02.2023 р.**

Підп. до друку 23.02.2022 р. Ум.друк.арк. 54,31 Обл.-вид.арк. 51,67
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