

ISSN 2307-5732

DOI 10.31891/2307-5732

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

2.2022

ВІСНИК

Хмельницького

національного

університету

Технічні науки

Technical sciences

SCIENTIFIC JOURNAL

HERALD OF KHMELNYTSKYI NATIONAL UNIVERSITY

2022, Issue 2, Volume 307

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, № 2(307)

**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., Защепкіна 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., Сарібєкова 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., Бубуліс 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)

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

**Рекомендовано до друку рішенням вченої ради Хмельницького національного університету,
протокол № 15 від 28.04.2022 р.**

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

	(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.
Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
Серія КВ № 24922-14862ПР від 12 липня 2021 року

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

ЗМІСТ

БОЙКО Н. І., БЛАЖЕВСЬКИЙ С. Г. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ СТРУКТУРИ МОДЕЛІ ОПТИМАЛЬНОЇ СКЛАДНОСТІ	7
ГУРБИЧ О. В. МЕТОД МЕТА-НАВЧАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МОЛЕКУЛЯРНОЇ СПОРІДНЕНОСТІ	14
БОЙКО Н. І., ПЕТРОВСЬКИЙ О. С. МАШИННОГО НАВЧАННЯ ДЛЯ ПОБУДОВИ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ НА МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ДАНИХ	25
ГНАТЧУК Є. Г., КАПУСТЯН М. В., ЧЕРНЕЦЬКА В. Ю. ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЩОДО МОЖЛИВОСТІ НАДАННЯ ЕКСТРАКОРПОРАЛЬНОГО ЗАПЛІДНЕННЯ	33
БЕРДНИК Д. А., БОЙЧУК А. Б. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ ВІДГУКІВ В ІНТЕРНЕТ МАГАЗИНІ ЦИФРОВИХ ТОВАРІВ	37
ФЕДУШКО С. С., БУЧІЙ Н. П., СЄРОВ Ю. О. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИНУ В СОЦІАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ INSTAGRAM	42
СМІРНОВА Т. В., ЯКИМЕНКО Н. М., СМІРНОВ О. А., ПОЛІЩУК Л. І., СМІРНОВ С. А. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАТИСТИЧНОЇ СТІЙКОСТІ ТА ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАПРОПОНОВАНОЇ ФУНКЦІЇ ГЕШУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МОДУЛЯ КРИПТОГРАФІЧНОГО ЗАХИСТУ В ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ	46
ДАВИДЕНКО Н. В., КУНИЦЬКИЙ С. О. РОЗРОБКА ПРОТОТИПУ БАЗИ ДАНИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОНІТОРИНГУ ВИТРАТИ ВОДИ З МЕРЕЖІ ВОДОПОСТАЧАННЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ	53
ПАЗДЕРСЬКА Р.С. МІСЦЕ ВІРТУАЛЬНИХ СПІЛЬНОТ У НАУКОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ СУСПІЛЬНИХ КОМУНІКАЦІЙ	58
ТАЛАНЧУК Д. О., КРАВЕЦЬ Р. Б. ЕЛЕКТРОННА КОМЕРЦІЯ. ІНТЕРНЕТ-МАГАЗИН: ЙОГО РОЗРОБКА, ЕТАПИ ВПРОВАДЖЕННЯ ТА МЕТОДИ ЗАХИСТУ	66
ПОТАПОВА Н. А., ВОЛОНТИР Л. О., ЗЕЛІНСЬКА О. В. МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ	73
КРИВЕНЧУК Ю. П., НЕВІНСЬКИЙ Д. В., НОВИЦЬКИЙ Ю. Л., ВИКЛЮК Я. І. АНАЛІЗ ОТРИМАННЯ ЗОБРАЖЕННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ТОМОГРАФА	81
ПЕТРОВ Д. Д., БОЙЧУК А. Р. МЕТОД КЛАСТЕРИЗАЦІЇ ДАНИХ НА ОСНОВІ АЛГОРИТМУ ОБХОДУ ГРАФА	87
НАУМЕНКО М. М., МИКОЛЕНКО С. Ю., ГУРІДОВА В. О., ГЕЗЬ Я. В. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЗЕРНОВОЇ СИРОВИНИ ПРИ ВЗАЄМОДІЇ З ДИСПЕРГАТОРОМ І ШНЕКОВИМ ЖИВИЛЬНИКОМ	92
ЗАЛЮБОВСЬКИЙ М. Г., ПАНАСЮК І. В. АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕЯКИХ КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ГАЛТУВАЛЬНОЇ МАШИНИ З ДВОМА РОБОЧИМИ ЄМКОСТЯМИ, ЩО З'ЄДНАНІ МІЖ СОБОЮ ОБЕРТАЛЬНОЮ КІНЕМАТИЧНОЮ ПАРОЮ	97

ХОРОЛЬСЬКИЙ В. П., КОРЕНЕЦЬ Ю. М., ПЕТРУШИНА Ю. М. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОЦІНКИ НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН НА ОСНОВІ НЕЙРОНЕЧІТКОГО МЕТОДУ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЇХ СТАНУ	103
ГАНЗЮК А. Л., ГОРДЄЄВ А. І., КРАВЧУК О. В., КРАВЧУК В. В. ЗАСТОСУВАННЯ СПЕЦІАЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ ТА ІННОВАЦІЙНОГО СПОСОБУ ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ КУТА ЗАГОСТРЕННЯ ТА ФОРМИ ЛЕЗА КЛИНКОВОЇ ХОЛОДНОЇ ЗБРОЇ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ЕКСПЕРТНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ	110
ОСАДЧУК Я. О., ОСАДЧУК О. В., ОСАДЧУК В. С. АВТОГЕНЕРАТОРНІ ПАРАМЕТРИЧНІ СЕНСОРИ МАГНІТНОГО ПОЛЯ З ЕЛЕМЕНТОМ ХОЛЛА І ДВОКОЛЕКТОРНИМ БІПОЛЯРНИМ МАГНІТОТРАНЗИСТОРОМ	114
БОЙКО Ю. М., ПЯТІН І. С., ПАРХОМЕЙ І. Р. МЕТОДИКА ОБРОБКИ ТА СИНХРОНІЗАЦІЇ СИГНАЛІВ У ПРОГРАМНО-ОБУМОВЛЕНИХ РАДІОСИСТЕМАХ З OFDM	123
ПИВОВАР О. С., ПІДЧЕНКО С. К., ТАРАНЧУК А. А. ПОЛІГАРМОНІЧНИЙ ВІЯВНИК СЛАБКИХ СФІГМОМЕТРИЧНИХ СИГНАЛІВ	133
ТКАЧУК А. Г., БЕЗВЕСІЛЬНА О. М., БОНДАРЧУК В. М., КРИЖАНІВСЬКА І. В. ПРОЕКТУВАННЯ СТАБІЛІЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗВІДУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ	141
ВАЩИШАК І. Р., ЦИХ В. С. УДОСКОНАЛЕННЯ КОМБІНОВАНОЇ СИСТЕМИ ГЕНЕРАЦІЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ	146
ПАРАСКА О. А., ПОДОЛІНА К. О., ХЕС ЛЮБОШ, КОВТУН Х.О. АНАЛІЗ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНОЛОГІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИТТЄВОГО ЦИКЛУ ТЕКСТИЛЬНИХ ВИРОБІВ	153
ТРУШ В. С. ВПЛИВ НАСИЧЕННЯ ВОДНЕМ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЦИРКОНІЮ (ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД)	159
РАЦУК М. Є., САРІБСЬКОВА Д. Г., ВОДЯНИЦЬКА З. М. ОДЕРЖАННЯ ВАРЕНИХ КОВБАСНИХ ВИРОБІВ З ХАРЧОВИМИ ВОЛОКНАМИ	169
СІРЕНКО С. О., ШАРКО В. В. ТОВАРОЗНАВЧА ХАРАКТЕРИСТИКА СУЧАСНОГО ЧОЛОВІЧОГО ВЗУТТЯ	173
КРИЖАК Л. М. SLITORIA TERNATEA — ДЖЕРЕЛО ФУНКЦІОНАЛЬНОГО КОМПОНЕНТУ ДЛЯ ЗБАГАЧЕННЯ ЙОГУРТІВ	182
САЛЄБА Л. В., САРІБСЬКОВА Д. Г., МЕЛЕХОВА Н. А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕРОБКИ СОЇ МЕТОДОМ ФОРПРЕСУВАННЯ – ЕКСТРАКЦІЯ	188
ЩЕРБАНЬ В. Ю., КОЛИСКО О. З., КОЛИСКО М. І., КИРИЧЕНКО А. М., ЩЕРБАНЬ Ю. Ю. КОМП'ЮТЕРНА РЕАЛІЗАЦІЯ ПОВТОРЕННЯ АЛГОРИТМУ ДЛЯ НАПРЯЖЕННЯ ДЕВ'ЯТКИ ДЛЯ МАШИН НА ГІБІНЦІ	194
ПОЛЮХОВИЧ І. В., ЗАХАРКЕВИЧ О. В., ЛИСЕНКО С. М. ФОРМУВАННЯ НОМЕНКЛАТУРИ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ ТАНЦЮВАЛЬНОГО СМАРТ-ОДЯГУ	198
ПОПОВА С.Ю., ГОПКАЛО Л.М., ГВОЗДІК А.Г., ШВЕНЬ А. В. ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ ДРІЖЖОВОГО ТІСТА ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ ЗНЕЖИРЕНОЇ МОЛОЧНОЇ СЕРОВИНИ	206

CONTENTE

NATALIYA BOYKO, STEPAN BLAZHEVSRYY METHOD OF DETERMINING THE STRUCTURE OF THE MODEL OF OPTIMAL COMPLEXITY	7
OLEKSANDR GURBYCH METHOD SUPER LEARNING FOR DETERMINATION OF MOLECULAR RELATIONSHIP	14
NATALIYA BOYKO, OLEKSANDR PETROVSKYI METHODS OF CLASSIFICATION OF MACHINE LEARNING FOR CONSTRUCTION OF MATHEMATICAL MODELS ON MULTIMODAL DATA	25
YELIZAVETA HNATCHUK, MARIIA KAPUSTIAN, VIKTORIYA CHERNETSKA SUPPORT OF DECISION MAKING ON THE POSSIBILITY OF THE PROVISION OF EXTRACORPOREAL FERTILIZATION	33
DANYLO BERDNYK, ANDRII BOICHUK COMPARATIVE ANALYSIS OF THEMATIC MODELING METHODS FOR ANALYSIS OF REVIEWS IN THE ONLINE STORE OF DIGITAL GOODS	37
SOLOMIIA FEDUSHKO, NATALIHA BUCHII, YURIY SYEROV INFORMATION SUPPORT OF THE INTERNET-STORE ON THE SOCIAL NETWORK INSTAGRAM	42
TETIANA SMIRNOVA, NATALIHA YAKYMENKO, OLEKSII SMIRNOV, LIUDMYLA POLISHCHUK, SERHII SMIRNOV STUDY OF STATISTICAL STABILITY AND FAST CHARACTERISTICS OF THE PROPOSED HASHING FUNCTION OF THE IMPROVED CRYPTOGRAPHIC MODULE IN INFORMATION AND COMMUNICATION SYSTEMS	46
NINA DAVYDENKO, SERGII KUNYTSKYI DEVELOPMENT OF A PROTOTYPE DATABASE OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR MONITORING WATER CONSUMPTION FROM THE WATER SUPPLY NETWORK OF SETTLEMENTS	53
RUSLANA PAZDERSKA THE PLACE OF VIRTUAL COMMUNITIES IN SCIENTIFIC RESEARCH PUBLIC COMMUNICATIONS	58
DMYTRO TALANCHUK, RUSLAN KRAVETS E-COMMERCE. ONLINE-SHOP: ITS DEVELOPMENT, IMPLEMENTATION STAGES, AND PROTECTION METHODS	66
NADIHA POTAPOVA, LUDMILA VOLONTYR, OKSANA ZELINSKA MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF FUNCTIONING LOGISTICS PROCESSES AND SYSTEMS	73
YURII KRYVENCHUK, YAROSLAV VYKLYUK, YURII NOVYTSKYI, DENYS NEVINSKYI ANALYSIS OF OBTAINING AN IMAGE WITH THE TOMOGRAPH	81
DMYTRO PETROV, ANDRYI BOICHUK МЕТОД CLUSTERIZATION METHOD BASED ON BREADTH FIRST SEARCH OR BFS FOR A GRAPH	87
MYKOLA NAUMENKO, SVETLANA MYKOLENKO, VICTORIA GURIDOVA, YANA HEZ MATHEMATICAL MODEL OF GRAIN RAW MOVEMENT IN INTERACTION WITH DISPERSER AND SCREW FEEDER	92
MARK ZALYUBOVSKYI, IGOR PANASYUK ANALYTICAL INVESTIGATION OF SOME CONSTRUCTIVE PARAMETERS OF A HOLDING MACHINE WITH TWO WORKING CAPACITIES CONNECTED BETWEEN EACH OTHER	97

VALENTYN KHOROLSKY, YURII KORENETS, YULIYA PETRUSHYNA THEORETICAL FOUNDATIONS FOR ASSESSING THE RELIABILITY OF REFRIGERATION MACHINE EQUIPMENT ON THE BASIS OF THE NEURO-FUZZY METHOD FOR IDENTIFYING THEIR STATE	103
ANDRYI GANZYUK, ANATOLYI HORDIEIEV, OLEG KRAVCHUK, VITOR KRAVCHUK APPLICATION OF SPECIAL EQUIPMENT AND INNOVATIVE METHOD FOR MEASURING THE ANGLE OF EXHIBITION AND SHAPE OF THE BLADE OF A BLADE COLD COLL	110
JAROSLAV OSADCHUK, ALEXANDER OSADCHUK, VLADIMIR OSADCHUK AUTOGENERATOR PARAMETRIC SENSORS OF THE MAGNETIC FIELD WITH A HALL ELEMENT AND A TWO-COLLECTOR BIPOLAR MAGNETOTRANSISTOR	114
JULIY BOIKO, ILYA PYATIN, IGOR PARKHOMEY SIGNAL PROCESSING AND SYNCHRONIZATION TECHNIQUE IN SOFTWARE-DEFINED RADIO SYSTEMS WITH OFDM	123
OLEG PYVOVAR, SERHII PIDCHENKO, ALLA TARANCHUK POLYHARMONIC DETECTOR OF WEAK SPHIGMOMETRIC SIGNALS	133
ANDRII TKACHUK, OLENA BEZVESILNA, VASIL BONDARCHUK, ILONA KRYZHANIVSKA DESIGN OF STABILIZED INFORMATION AND MEASURING SYSTEM PLATFORM FOR INTELLIGENCE OPERATIONS	141
IRYNA VASHCHYSHAK, VITALII TSYKH IMPROVEMENT OF THE COMBINED SYSTEM OF ELECTRICITY GENERATION	146
OLGA PARASKA, KATERYNA PODOLINA, HES LUBOS, HRYSTYNA KOVTUN ANALYSIS OF SOCIO-ECONOMIC, TECHNOLOGICAL, ENVIRONMENTAL CHARACTERISTICS OF THE LIFE CYCLE OF TEXTILE PRODUCTS	153
VASYL TRUSH INFLUENCE OF HYDROGEN SATURATION ON CHARACTERISTICS OF ZIRCONIUM (Literature review)	159
MARIYA RATSUK, DIANA SARIBEKOVA, ZOYA VODYANITSKA PREPARATION OF COOKED SAUSAGE PRODUCTS WITH FOOD FIBERS	169
SVITLANA SIRENKO, VITALII SHARKO COMMODITY CHARACTERISTICS OF THE MODERN MEN'S SHOES	173
LILIIA KRYZHAK CLITORIA TERNATEA — SOURCE OF FUNCTIONAL COMPONENT FOR ENRICHING YOGHURTS ..	182
LUDMILA SALEBA, DIANA SARIBEKOVA, NATALIIA MELEKHOVA INVESTIGATION OF SOYBEAN PROCESSING BY FORCING – EXTRACTION METHOD	188
VOLODYMYR SHCHERBAN, OKSANA KOLISKO, MARJANA KOLISKO, ANTON KIRICHENKO, YURYJ SHCHERBAN COMPUTER IMPLEMENTATION OF THE RECURSION ALGORITHM FOR A COMB-BASED TENSIONING DEVICE FOR HOOSING MACHINES	194
IRYNA POLUCHOVICH, OKSANA ZAKHARKEVICH, SERGII LISENKO FORMATION OF NOMENCLATURE OF QUALITY INDICATORS FOR DESIGN OF DANCE SMART CLOTHES	198
SVITLANA POPOVA, LARISA HOPKALO, ANASTASIIA HVOZDIK, ANASTASIIA SHVEN INCREASING THE BIOLOGICAL VALUE OF YEAST TEST DUE TO THE USE OF SKIMMED RAW MATERIALS	205

УДК 004:005:51
DOI:

ПОТАПОВА Н.А.

Донецький національний університет імені Василя Стуса
ORCID ID: <https://orcid.org/0000%2D0003%2D4566%2D4102>
e-mail: potapova.nadin@gmail.com

ВОЛОНТИР Л.О.

Вінницький національний аграрний університет
ORCID ID: <https://orcid.org/0000%2D0001%2D9022%2D9332>
e-mail: milavolontyr@ukr.net

ЗЕЛІНСЬКА О.В.

Донецький національний університет імені Василя Стуса
ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9069-1428>
e-mail: zeloksanavlad@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ ТА КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ ТА СИСТЕМ

В роботі обґрунтовується необхідність використання математичного та комп'ютерного моделювання в аналітиці даних при оцінюванні функціонування логістичних процесів та систем. На основі аналізу існуючих підходів розкриваються особливості використання інтегрованого методу математичного та комп'ютерного моделювання з метою ефективної постановки та реалізації експерименту дослідження процесів. Логістична система формалізована в межах поставок матеріально-технічних ресурсів за централізованим способом розподілу потоків та передачі впливу керування від вищого рівня ієрархії до нижчих рівнів типу філії або відокремлених підрозділів. Конкретизовано основні етапи проведення моделювання функціонування логістичних процесів, що є підставою для уточнення алгоритмічних особливостей комп'ютерного експерименту. Акцентовано увагу на поєднанні імітаційного моделювання, як одного із підходів комп'ютерного моделювання, з елементами оптимізаційних рішень, що можуть бути отримані як аналітичний розв'язок конкретних прикладних задач логістики різної складності, зокрема, управління запасами.

Ключові слова: математичне моделювання, комп'ютерне моделювання, системний аналіз, логістична система, логістичний процес, імітаційна модель, експеримент.

POTAPOVA Nadiia A.

Vasyl' Stus Donetsk National University

VOLONTYR Ludmila O.

Vinnitsia National Agrarian University

ZELINSKA Oksana V.

Vasyl' Stus Donetsk National University

MATHEMATICAL AND COMPUTER MODELING OF FUNCTIONING LOGISTICS PROCESSES AND SYSTEMS

The paper substantiates the need of usage mathematical and computer modelling in data analysis in assessing with the functioning of logistic processes and systems. Based on the analysis of existing approaches, the peculiarities of using an integrated method of mathematical and computer modelling in order to effective set up and implement a process research experiment are revealed. The logistic system is formalized within the supply of material and technical resources by a centralized method of flow distribution and transfer of management influence from the highest level of the hierarchy to the lower levels such as branches or separate units. Formal identification of the logistic system of supply of material and technical resources is based on the separation of the main factors of the system and the limits of their impact.

The main stages of modelling the functioning of logistics processes are specified, which is the basis for clarifying the algorithmic features of the computer experiment. It is stipulated that one of the main approaches to the study of these systems is modelling based on the use of methodological principles of queuing theory, which is based on modelling the flow characteristics of processes, orders and the discipline of their service. The procedure for determining the main characteristics of the system is focused on conducting computer simulations by setting up a computer experiment aimed at simulating the behaviour of the system and its evaluation. Probabilistic estimates of the queuing system are obtained under stationary operating conditions, in the established mode, which achieves limiting

the impact of the conditions of the initial state. Emphasis is placed on combining simulation modelling as one of the approaches of computer modelling with elements of optimization solutions that can be obtained as an analytical solution to specific applications of logistics of varying complexity, in particular, inventory management.

Keywords: mathematical modelling, computer modelling, systems analysis, logistic system, logistic process, simulation model, experiment.

Постановка проблеми

Загальна теорія систем розглядає математичне моделювання як один із основних методів їх опису та дослідження поведінкових характеристик. На основі декомпозиції складна система розкладається на складові (підсистеми, процеси, елементи), кожен із яких підлягає ідентифікації в обмежених множинах факторів та вибірок даних. Застосовуваним є підхід комплексного інтегрального оцінювання, де в основі цілісної оцінки системи покладено формування єдиного критерію, що утворюється як композиція часткових критеріїв ефективності кожної складової підсистеми [1]. Підсистеми розглядаються окремо в межах концептуальної моделі та її математичної формалізації, що в результаті становить відображення реальної системи в математичних формулах, розрахунках, статистичних спостереженнях. В результаті проведення комп'ютерного експерименту та обробки багаторазових ітерацій формується висновок про поведінку системи та ефективність її функціонування.

За останній період системні дослідження набули особливої актуальності в різних напрямках, зокрема логістиці. Специфічність логістичної концепції управління полягає у формуванні базової концептуальної моделі на засадах потокових моделей, що обґрунтовує необхідність використання комп'ютеризації обробки даних. Розгляд системи базується на визначенні зовнішнього і внутрішнього середовищ, в межах основних взаємозв'язків факторів (індикатори системи) та величини їх впливу на досліджуваний логістичний процес [2, 3]. Математична формалізація взаємозв'язків надає формальний опис процесу, на підставі якого у подальшому є можливим проведення аналітичної оцінки та обробки даних як з позиції поведінкових характеристик системи, так і оптимізації її критеріїв функціонування [3]. Таким чином, формальна математична модель є основним об'єктом аналізу в ході комп'ютерної обробки даних у поєднанні з методикою обчислень, відповідних до конкретизації параметрів та зв'язків. Специфічність методів обчислень обумовлена необхідністю завдання.

Аналіз останніх досліджень

Математичне моделювання логістичних процесів сьогодні знаходиться в полі зору багатьох дослідників. При цьому найбільша увага приділяється формалізації та моделюванню транспортних потоків, зокрема, оптимізації розподілу транспортних вузлів, моделей транспортних мереж та їх інформаційного супроводу. Сутність математичної формалізації логістичних систем на сьогодні є одним із розглядалась багатьма вченими. Основи визначення системи започатковані Л. Бергаланфі, який увів дане поняття та визначив основні характеристики систем [4, 5]. Моделювання, формалізація та використання апарату математичного аналізу в логістиці висвітлюється роботах багатьох вчених, серед яких роботи Горбачука В.М. [6], Горбової А.В. [7], Левкіна Д.А. [8], Федоренко І. [9], Сергієнка О.А. [10] та ін. В роботах висвітлюються питання використання апарату математичного моделювання для вирішення логістичних задач різної складності. Проте, чим складнішою є логістична система та різновиди прикладних завдань, тим більшою є проблема у побудові алгоритму та способу їх вирішення. Зокрема, зосереджуючись на вузькоспеціалізованих задачах, поза увагою залишаються ряд питань щодо висвітлення концептуальних положень та підходів інтеграції методології математичного та комп'ютерного моделювання в аналітику досліджень функціонування логістичних процесів та систем.

Метою статті є обґрунтування доцільності використання основних концептуальних положень математичного та комп'ютерного моделювання як інтегрованого методу досліджень логістичних процесів та систем.

Виклад основного матеріалу

Специфіку розробки математичної моделі обумовлює складова предметної галузі, в межах якої вона має існувати. Управління логістичними процесами відбувається в межах організації логістичної системи, побудованої на визначених логістичних функціях та задачах. Ієрархія логістичної системи передбачає як визначення процедури послідовності відповідальності реалізації управлінських функцій, так і взаємозв'язків елементів та підсистем, що генерують управлінський вплив. Обмежимося описом логістичної системи на рівні виконання функції постачання та обслуговування. Така організація ієрархії визначена центральним органом управління та сукупністю господарських організацій, діяльність яких проводиться у відповідності до територіальної належності ринків, правових відносин згідно юридичного статусу і основним видом діяльності якого є постачання, торгівля і обслуговування матеріально-технічних ресурсів. В логістичному середовищі діяльність системи обумовлена складовими руху матеріальних, інформаційних та фінансових потоків, що виникають в середині системи та відображують динаміку основних економічних характеристик.

Направленість матеріальних потоків визначена як: зовнішня – від постачальників ресурсів у систему, так і внутрішня – від вищого рівня ієрархії системи до нижчого (з центру розподілу на філії/представництва, з філій/представництв до споживача). Інформаційні потоки відображають рух зовнішньої інформації (зовнішнє середовище надає відповідні інформаційні сигнали) та внутрішні (обмін інформацією всередині системи). Фінансові потоки є потоки фінансових ресурсів (гроші чи інші фінансові активи), що відтворюють процес розрахунків за отримані товарно-матеріальні цінності, надані послуги як у самій системі (між вищим рівнем ієрархії і нижчим рівнем), так і з боку зовнішнього середовища (розрахунки між системою і постачальниками товарно-матеріальних цінностей).

Розгляд функціонування системи розглядається за умов відносно стійкої рівноваги, тобто зовнішній вплив на зміни структури системи є мінімальним. Так, якщо мова йде про місце окремого постачальника в організації системи глобального ланцюга постачання, то досягти рівноваги можна за рахунок утримання відповідного рівня цін, споживання, обсягів виробництва та рівня інвестування при відповідних умовах контрактів [6]. Стійкість системи в ринкових умовах залежить від її потенційних можливостей витримувати балансую рівновагу і достатню інтенсивність грошових і матеріальних потоків, які йдуть від зовнішнього середовища до неї. Ці потоки можуть бути як взаємозалежними, так і взаємнезалежними. Перший вид потоків можна назвати типовим, другий характеризує динамічну стійкість системи і ототожнюється з фінансово-посередницькою діяльністю і матеріальним обміном. Слід зазначити, що отримання динамічної рівноваги залежить від траєкторії розвитку процесів накопичення та витрат ресурсів в системі, яка будується у межах розв'язку класичних та прикладних задач оптимального управління запасами. Залежно від природи імовірнісних чинників, що формують дану систему, вирізняють детерміновані й стохастичні моделі. Проте, їх загальна направленість, вирішує завдання поповнення та організації надходження запасів, з огляду на накопичення резервів ресурсів в системі. [11, 12].

Відображення взаємодії матеріальних ресурсних потоків здійснюється формалізацією потоку через подачу на вхід системи потоку заявок, які перетворюються за визначеними операційними вимовами та дисципліною обслуговування і поступають на вихід. Стійкість системи будемо розуміти такий внутрішній процес перетворення цих потоків, який забезпечить її існування під впливом зовнішніх чинників. З економічної точки зору, фактори зовнішнього середовища при даній формалізації можна класифікувати по двох основних групах: економічні і природно-кліматичні. Група природно-кліматичних факторів не здійснює суттєвого впливу на функціонування системи (окрім, категорії природних та екологічних ризиків), то в межах даного опису її можна не враховувати. Група економічних факторів, які є мінливими і часто слабо визначеними, впливає як на організаційну, так і на фінансову діяльність системи. Значення деяких із них можна оцінити в прогностичному рішенні, для інших – вивести імовірнісну оцінку, або визначити діапазон можливих значень. Це дозволить забезпечити відносну стійкість для системи ресурсних поставок у зовнішньому середовищі.

Опис предметної області покладено в основу створення математичної моделі, яка за своєю сутністю є описом задачі у вигляді математичних залежностей та рівнянь. Аналіз моделі проводиться за допомогою контрольних даних, які з певною значимістю відповідають інформаційним потокам, та алгоритмом обчислення, закладеним у процес моделювання. Реалізація такого підходу відбувається шляхом використання комп'ютерної техніки та ітераційного обрахунку з подальшим аналізом результату і формуванням кінцевого рішення. Обчислення використовують комп'ютерне моделювання, сама постановка якого може здійснюватись у межах прикладного програмного забезпечення, розробленого або готових пакетів програм. Тобто, математичне та комп'ютерне моделювання є невід'ємно пов'язаними між собою як метод дослідження та технологія обробки даних з використанням конкретних технологічно-алгоритмічних рішень.

Принципи і методи моделювання знайшли широке застосування в інженерних та інших прикладних задачах. Особливу роль вони відіграють в проектуванні і аналізі функціонування логістичних систем [13, 14, 15, 16]. За своїми характеристиками модель логістичної системи охоплює структуру та зв'язки, що відображують властивості системи. Розвиток математики обумовив появу складних та агрегованих моделей, що відображують функціонування складних систем на основі визначених характеристик на основі функціонального та структурного підходів. Згідно структурного підходу, систему розглядають у межах декомпозиції на підсистеми та відносини між ними. Функціональний підхід дозволяє уточнити особливості функціонування системи на основі властивостей (функцій), що виокремлюються згідно сформованого критерію ефективності.

Принципи моделювання логістичних систем можна розглядати як з боку побудови системи моделей і їх адекватності, так і з боку критеріїв, обмежень, змінних, якими описується модель. В першому випадку, вирішується питання побудови моделі на основі загальних принципів, в другому, побудована модель порівнюється з реальним об'єктом і вирішується питання, якою вона повинна бути. Спроектвана модель повинна чітко відображувати основні явища і процеси реальної системи, тобто бути коректною з точки зору вибору критеріїв оцінки. Існує взаємозв'язок між складністю побудови моделі і її властивостями. Тобто, чим складніша модель, тим якісніше вона прогнозує поведінку об'єкту, але тим важче її зрозуміти. Коли модель є менш складною, вона більш просто відтворює існуючі процеси, але характеристики, які отримані при цьому є менш якісними і точними. Для великих складних систем можливо знайти оптимальну форму, шляхом декомпозиції, яка дозволяє описати систему досить просто. Принцип розділу системи на компоненти може бути

застосованим при описі логістичних систем з метою відтворити функціонування конкретних блоків та функцій системи. Математична модель включає основні складові: функцію мети (математичний вираз критерію ефективності), систему обмежень (у разі обмеженості та зміни умов функціонування), параметри моделювання.

Процес моделювання невід’ємно пов’язаний з визначенням інформаційного забезпечення моделі, який передбачає аналіз необхідної кількості статистичної і нормативної інформації, що пов’язана з логістичним об’єктом. Результатом таких дій є встановлення законів розподілу, виведення рівнянь, визначення імовірнісних і стохастичних залежностей. У випадку відсутності конкретних даних, будуються імовірнісні гіпотези, які змінюються і уточнюються у подальшому процесі роботи. Одним із таких підходів є проведення аналізу даних для оцінки відповідності вхідного потоку замовлень в логістичну закону Пуасона за критерієм хі-квадрат Пірсона [17, с. 368.]:

1. Формується дві гіпотези H_0 і H_1 . H_0 – гіпотеза, що експериментальний розподіл відповідає закону Пуасона. H_1 – гіпотеза, що експериментальний розподіл не відповідає закону Пуасона.

2. Приймається рівень значимості 0,05.

3. Розраховують $\chi^2_{\text{практ}}$ і $\chi^2_{\text{теор}}$, практичне і теоретичне значення критерію хі-квадрат Пірсона для перевірки H_0 .

4. Визначається середнє значення сукупності кількості замовлень на ресурси від постачальників до центрального розподільчого центру, по формулі :

$$\lambda = \frac{\sum x_i \cdot n_i}{\sum n_i} = \frac{1623}{2555} = 0,635 \quad (1)$$

де λ – середнє значення сукупності;

x_i – елемент сукупності;

n_i – експериментальна частота x_i .

5. Визначають теоретичні імовірності і частоти по формулі Пуасона:

$$P(X = m) = \frac{\lambda^m e^{-\lambda}}{m!} \quad (2)$$

де $P(X = m)$ – імовірність по закону Пуасона;

m – значення, що приймає величина X від 0,1,2,3,4... m .

6. Обчислюють значення p_i для кожної ознаки x_i з перевіркою рівняння:

$$\sum_{i=1}^k P(X = m) = 1 \quad (3)$$

7. Визначають теоретичні частоти, як p_i при $n = 2555$. Сума p_i приблизно дорівнює 2555.

8. Визначають $\chi^2_{\text{практ}} = 10,91$.

9. Визначають кількість ступенів свободи по формулі:

$$k = L - 1 - S = 7 - 1 - 1 = 5, \quad (3)$$

де k – кількість ступенів свободи;

L – число класів (груп, інтервалів) вибірки;

S – кількість параметрів, використаних для обчислення теоретичних частот.

10. Співставляють табличне значення критерію: $\chi^2_{\text{практ}} < \chi^2_{0,05}$; $10,91 < 11,1$. Таким чином, експериментальний розподіл співпадає з теоретичним розподілом, тобто відповідає закону Пуасона. Загальні результати розрахунків математичного розподілу заявок на обслуговування тракторів в логістичній системі постачання у Вінницькій області (2021 р.) наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Результати розрахунків вхідного потоку заявок на трактори у Вінницькій області одержані на основі критерію хі-квадрат Пірсона

x_i	n_i	$x_i \cdot n_i$	p_i	$p_i \cdot n$	$\frac{(n_i - p_i \cdot n)^2}{p_i \cdot n}$
0	1352	0	0,529816	1353,68	0,002086
1	862	862	0,336553	859,8918	0,005169
2	281	562	0,106893	273,1124	0,227798
3	50	150	0,022634	57,82928	1,059975
4	7	28	0,003594	9,183651	0,519220
5	3	15	0,000457	1,166737	2,880557
6	1	6	0,000048	0,123523	6,219153
Всього:	2555	1623	0,999947	2554,988	10,91396

Джерело*: розраховано авторами за даними Головного управління статистики у Вінницькій області

Відмітимо, що для полегшення роботи з багатоплановою інформацією і корекцією характеристик, що отримуються, доцільно розробити систему збору, зберігання і аналізу інформації про поведінку об'єкту, методи статистичної обробки інформації, методи прогнозування [19] і програмне забезпечення. Інформаційне забезпечення є основою даних для застосування комп'ютерного моделювання, в ході якого відбувається: перехід від суто математичної моделі до створення алгоритму та написання програми [20]; планування та проведення комп'ютерних експериментів; аналіз та інтерпретація результатів. Аналітична складова комп'ютерного моделювання ототожнюється з розробкою математичної моделі, яка в ході експерименту дозволить отримати результат збіжний до відповідного рівня точності. Слід зазначити, що одним із найкращих методів оцінок виявлення змістовності інформаційних потоків та їх причинно-наслідкових впливів є використання математико-статистичних та економетричних методів, в основі яких покладено оцінку та якість апроксимованих функцій зв'язків у системі [21, 22].

Розрізняють наступні підходи до комп'ютерного моделювання [14, с. 93-96]: дискретно-подійне моделювання (процесно-орієнтоване); системна динаміка; агентне моделювання. Дискретно-подійне моделювання розглядає ієрархію системи зверху вниз, ставлячи в основу складові структури. Агентне моделювання досліджує поведінку індивідуальних об'єктів. Системна динаміка передбачає аналіз поведінки з урахуванням часових критеріїв. Спеціальним етапом комп'ютерного моделювання є розробка програмного забезпечення для отримання необхідних в ході моделювання характеристик. У такому випадку, створюються алгоритми, які моделюють поведінку системи, алгоритми пошуку оптимальних характеристик системи. Оскільки всі ці процедури виконуються окремими програмними блоками, виникає необхідність у їх систематизації і поєднанні.

Наступним етапом моделювання є оцінка адекватності розробленої моделі досліджуваному об'єкту. Це досягається шляхом порівняння теоретичних характеристик моделі з характеристиками реального об'єкту. Останнім етапом моделювання є отримання характеристик системи і змістовний їх аналіз у залежності від завдань, які ставились дослідженням.

Взаємозв'язки, що складають структуру логістичної системи з одного боку ініціюють процес обслуговування на рівні центрального розподільчого постачання відносно філій, з другого – процес надходження матеріальних ресурсів до розподільчого центру. Ці види процесів можуть бути зведені до задач масового обслуговування. Основа таких задач зведена до наявності клієнта, що має певну заявку і прилади виконання, які забезпечують виконання цієї заявки. Основними характеристиками, які описують систему постачання ресурсів як мережу масового обслуговування є: вид вхідного потоку, характер виконання та вибору заявок, кількість каналів виконання, обмеженість потоку замовлень.

Основними параметрами системи при цьому можуть бути: імовірність простою каналу виконання, імовірність того, що в системі знаходиться певна кількість заявок; середня кількість заявок, що знаходяться в системі; середня кількість заявок, що знаходяться в черзі; середній час очікування заявок в черзі; середній час перебування заявки в системі; середня кількість вільних від виконання каналів; середня кількість зайнятих каналів. Базова класифікація моделей систем масового обслуговування була створена англійським вченим Кендалом. Відносно класифікації Кендала модель системи масового обслуговування представлена у такому вигляді: вид вхідного потоку / розподіл тривалості обслуговування / кількість приладів виконання. Згідно цієї класифікації система постачання ресурсів може бути представлена у загальному вигляді як $M/G/s$, модель системи з s обслуговуючими приладами, пуасонівським розподілом вхідного потоку і довільним розподілом інтервалів часу між замовленнями. Модель може бути приведена до функціонування мережі по типу $M/M/s$, модель системи з s обслуговуючими приладами, пуасонівським розподілом вхідного потоку і експоненціальним інтервалів часу між замовленнями, а в найпростішому вигляді, до моделі типу $M/M/1$, модель системи з 1 обслуговуючим приладом, розподілом вхідного потоку за законом Пуасона і експоненціальним розподілом інтервалів часу. Основним при розгляді системи масового обслуговування є її функціонування в умовах стаціонарності, тобто у встановленому режимі. Розгляд нестаціонарного режиму поведінки системи пов'язаний зі значними математичними викладками і обчислювальними труднощами. Тому, при проектуванні моделі логістичної системи постачання розглядаємо її роботу в стаціонарному режимі. Статична рівновага системи при цьому визначається, як встановлений процес з ймовірностями, що не залежать від часу, у випадку, коли система функціонує досить тривалий час і вплив початкового стану системи на її поточний стан зникає.

У складних системах при визначенні стану стаціонарності цей параметр необхідно адекватно визначити. Таким чином, описуючи поведінку логістичної системи як функціонування мережі масового обслуговування розглядаємо детальний механізм процесу забезпечення на вищому рівні ієрархії. Визначення характеристик мережі дозволяє проконтролювати кількість виконаних замовлень і їх виконання за інтервал часу. При прогнозуванні поведінки системи рівня філій доцільно використовувати математичні викладки на основі результатів одержаних при експериментальних спостереженнях. З цією метою проводиться комп'ютерна імітація процесу на основі формалізованої моделі за допомогою комп'ютерної техніки, засобів програмування. Процес спостереження за поведінкою системи і оцінка її роботи на основі моделі є комп'ютерним імітаційним моделюванням. Серед переваг імітаційного моделювання: розв'язання задач великої складності, що містять

громіздкі аналітичні співвідношення; досліджувана система одночасно може містити в собі дискретні і безперервні елементи; легка зміна початкових умов і параметрів системи; низькі витрати при проведенні експерименту на ЕОМ порівняно з реальним експериментом і ін. Одночасно метод імітаційного моделювання має суттєвий недолік: моделювання проводиться при зафіксованих початкових умовах і визначених параметрах системи. Це потребує багатократного проведення експерименту при заданих початкових умовах (метод Монте-Карло). Результатом такого дослідження є опосередковані дані по певній кількості проведених іспитів. Статистично такий підхід залежить від визначення обсягу експериментів для адекватної оцінки реального об'єкту (з точки зору мінімальної похибки).

Імітаційна модель функціонує на основі моделюючого алгоритму. Алгоритм будується на базі аналітичних моделей. Його основою є процес обліку системного часу. Відомими принципами побудови імітаційних моделей є: "принцип Δt ", принцип "особливих станів", "принцип послідовного проведення замовлень" [23, 24]. Відмітимо, що імітаційні моделі рідко обмежуються лише одним вибраним принципом побудови алгоритму. В більшості випадків їх побудова поєднує декілька вищевказаних принципів. На даному етапі можливо виділити дві основні групи імітаційних моделей: 1) імовірно-автоматні моделі і 2) структурно-функціональні моделі.

В основі синтезу імовірно-автоматних моделей [25] лежать методи моделювання агрегованих систем і теорія дискретних автоматів. Основними визначеннями є імовірнісний автомат і система імовірнісних автоматів. Імовірнісний автомат – об'єкт, який описується внутрішнім станом, набором вхідних і вихідних сигналів. Аналіз системи складається із чіткого визначення взаємозв'язків між окремими автоматами, які описує матриця алфавітів.

Структурно-функціональні моделі будуються за блочним принципом. Кожен операційний блок відтворює виконання конкретної функції в технологічному процесі. Формалізація моделі менш складна з математичної точки зору. Такий підхід вимагає детального вивчення потоків вхідних даних, чіткого визначення критеріїв оцінки, аналізу технологічного процесу. Особлива увага приділяється інформаційному забезпеченню (руху інформації по структурним одиницям системи і методу кодування).

Функціонування логістичної системи не описується лише інформаційним процесом надходження замовлення та його виконанням, пов'язаного з матеріальними потоками ресурсів. В такому випадку розглядається не тільки процес руху замовлення в системі з отриманням часових характеристик, а й інші процеси. Вони описуються: обсягом закуплених ресурсів; цінами виробників; витратами на зберігання; грошовими коштами, що вкладають у процес закупки; витрати, пов'язані з відсутністю замовлених ресурсів. Ці процеси відносяться до класу задач управління запасами. Задачі утворення і зберігання запасів вирішуються за допомогою методики ведення складського господарства. Ця методика вирішує питання – яка кількість ресурсу має бути в наявності на складах для того, щоб забезпечити процес поставок. Для оптимізації маршрутів перевезень найбільш доцільним є використання транспортних задач та їх модифікацій [26].

Висновки

Використання методів математичного та комп'ютерного моделювання при аналізі функціонування логістичних систем дозволяє провести їхню формалізацію, описати структурні елементи, внутрішні і зовнішні зв'язки, проаналізувати механізми потокового управління поставок та закупівель ресурсів, оцінити поведінку в ринкових умовах при співвідношенні параметрів за конкретизованих початкових умов і визначити при цьому оптимальні показники критеріїв ефективності системи.

В основу формалізації покладено опис предметної області (логістики постачання) визначеною обмеженою множиною причино-наслідкових чинників, взаємний вплив яких відтворює структуру системи та можливу апроксимацію описових функцій. Основу функціонування системи складає процес обслуговування замовлень в розрізі конкретних видів та номенклатур матеріальних ресурсів. Поточкові процеси можуть бути формалізовані у вигляді системної моделі на основі методів обробки та аналізу даних: математичної статистики, теорії масового обслуговування, теорії управління запасами, теорії оптимальних рішень. Вхідні потоки даних, що відповідають надходженням замовлень, є незалежними, ординарними і стаціонарними. Експериментально і теоретично може бути обґрунтовано, що закон розподілу вхідних даних – пуасонівський. Виходячи з цього можна при формалізації використати теорію масового обслуговування. Показники ефективності системи мають економічну складову, що потребує розробки функції ефективності з урахуванням специфіки фінансово-економічної діяльності логістичної системи.

Поведінковий аналіз системи слід проводити у межах побудованого комп'ютерного експерименту із використанням імітаційної моделі, яка має реалізувати потоковий процес обслуговування замовлень у системі з оптимальними економічними характеристиками.

Література

1. Potapova N. A. Systematic approach in formation of conceptual principles of agrilogistics. Вісник національного університету «Львівська політехніка» "Проблеми економіки та управління". 2014. № 799. С. 89 - 95.

2. Математичні методи і моделі в управлінні економічними процесами: монографія/ Л.М. Малярець, Є.Ю. Місюра, В.В. Койбічук та ін. Харків: ХНЕУ ім. С.Кузнеця, 2016. 420 с.
3. Лисенко С.О. Основні риси моделей та моделювання. URL: <http://vabb.com.ua/news/risy-modeley-modeluvania.html>.
4. Bertalanffy L. Das biologische Weltbild, Bd. 1. – Bern, 1949.
5. Bertalanffy L. General System Theory. Foundations, Development, Applications. – NY, 1969.
6. Горбачук В.М., Дунаєвський М.С., Морозов О.О. Характеристики рівноваг ланцюгів постачання. Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія: Технічні науки. Випуск 19. 2019. С. 31 - 37.
7. Горбова А.В. Моделирование работы парка прибытия железнодорожной станции. Транспортні системи та технології перевезень. Збірник наукових праць ДНУЗТ ім. акад. В. Лазаряна. 2017. Вип. 13. С. 19-25.
8. Левкін Д.А., Бережна Н.Г., Макаров О.А., Кутя О.В. Математичне моделювання технічних систем. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. № 1. Том 32 (71) Ч. 1. С. 98-102.
9. Тараненко Ю., Федоренко І. Імітаційне моделювання логістичних процесів. Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка: Економіка. 2016. №8(185). С. 38-44.
10. Сергієнко О.А., Голофаєва І.П., Швець А.Д. Розроблення оптимізованої моделі логістичних ланцюгів постачання-розподілу підприємств. Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Міжнародні економічні відносини та світове господарство. 2019. Випуск 28. С. 98 - 105.
11. Харченко Ю.А., Михайленко А.С. Економіко-математичне моделювання рівня запасів товарів торговельного підприємства. Економічний простір. 2018. № 136. С. 202-213.
12. Ковтун Т.А., Смокова Т.М. Формування складу учасників проекту створення транспортно-логістичного центру. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2020. № 2. С. 32-43.
13. Попов О.І. Теоретичні питання вибору економіко-математичних моделей для логістичної діяльності підприємств харчової промисловості. Інвестиції: практика та досвід. 2009. № 19. С. 29-31.
14. Математичне та комп'ютерне моделювання економічних процесів: монографія/ З.М. Соколовська, В.М. Андрієнко, І.Ю. Івченко та ін.; за заг. ред. З.М. Соколовської. Одеса: Астропринт, 2016. 308 с.
15. Кауг О.В. Аналіз сучасних технологій моделювання автоматизованих виробничих логістичних процесів. Східна Європа: економіка, бізнес та управління. 2018. Випуск 2 (13). С. 274-277.
16. Оболенцев В. Ф. Базові засади системного аналізу системи держави України: монографія. Харків: Право, 2018. 98 с.
17. Опря А.Т. Статистика (модульний варіант з програмованою формою контролю знань). Навч. посіб. К.: Центр учбової літератури, 2012. 448 с.
18. Зінкевич Т., Лісовська В., Мельник О. Логістичні моделі в задачах економічної динаміки. Ринок цінних паперів в Україні. URL: <http://securities.usmdi.org/?p=22&n=91&s=948>.
19. Хорошун В.В., Науменко І.А. Економіко-математичні методи та моделі прогнозування збутової логістики торговельного підприємства. Причорноморські економічні студії. 2018. Випуск 28-2. С. 179 - 183.
20. Павленко П.М., Філоненко С. Ф., Чередніков О. М., Трейтяк В. В. Математичне моделювання систем і процесів: навч. посіб. К.: НАУ, 2017. 392 с.
21. Потапова Н.А. Економетричний аналіз причинно-наслідкових зв'язків компонентів структури реалізації зернових культур в збутовій агрологістиці. Формування ринкової економіки в Україні: Збірник наукових праць. 2017. Випуск 38. С. 139 - 145.
22. Volontyr L, Zelinska O., Potapova N. Econometric modeling in formation of optimal price for implementation of agricultural products. Економіка. Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. 2019. №5. С. 83-93.
23. Shannon, R.E. 1975. Systems Simulation the Art and Science, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
24. Savory P. and Mackulak G.T. (1994), "The Science of Simulation Modeling," International Conference on Simulation in Engineering Education (ICSEE '94), Volume 26, №. 1, ed. Knadler and Vakilzadian, pp. 115-119, Tempe, Arizona, January 1994.
25. Бакаев А. А., Костина Н. И., Яровицкий Н. В. Имитационные модели в экономике : монография. Киев : Наукова думка, 1978. 304 с.
26. Славич В.П., Добрава К.Д. Модель та метод знаходження опорного та оптимальних планів модифікованої транспортної задачі у випадку групування постачальників вантажу. Прикладні питання математичного моделювання. 2020. № 1. Т. 3. С. 187-194.

References

1. Potapova N. A. Systematic approach in formation of conceptual principles of agrilogistics. Visnyk natsionalnoho universytetu «Lvivska politehnika» "Problemy ekonomiky ta upravlinnia". 2014. № 799. S. 89 - 95.
2. Matematychni metody i modeli v upravlinni ekonomichnyh protsesamy: monohrafiia/ L.M. Maliarets, Ye.Iu. Misiura, V.V. Koibichuk ta in. Kharkiv: KhNEU im. S.Kuznetsia, 2016. 420 s.

3. Lysenko S.O. Osnovni rysy modelei ta modeliuvannia. URL: <http://vabb.com.ua/news/risy-modeley-modeluvania.html>.
4. Bertalanffy L. Das biologische Weltbild, Bd. 1. – Bern, 1949.
5. Bertalanffy L. General System Theory. Foundations, Development, Applications. – NY, 1969.
6. Horbachuk V.M., Dunaievskiy M.S., Morozov O.O. Kharakterystyky rivnovah lantsiuhiv postachannia. Matematychni ta kompiuterne modeliuvannia. Serii: Tekhnichni nauky. Vypusk 19. 2019. S. 31 - 37.
7. Horbova A.V. Modelyrovanye raboty parka prybytyia zheleznodorozhnoi stantsyy. Transportni systemy ta tekhnologii perevezhen. Zbirnyk naukovykh prats DNUZT im. akad. V. Lazariana. 2017. Vyp. 13. S. 19-25.
8. Levkin D.A., Berezhna N.H., Makarov O.A., Kutia O.V. Matematychni modeliuvannia tekhnichnykh system. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Serii: Tekhnichni nauky. 2021. № 1. Tom 32 (71) Ch. 1. S. 98-102.
9. Taranenko Yu., Fedorenko I. Imitatsiine modeliuvannia lohistrychnykh protsesiv. Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka: Ekonomika. 2016. №8(185). S. 38-44.
10. Serhiienko O.A., Holofaieva I.P., Shvets A.D. Rozroblennia optymizovanoi modeli lohistrychnykh lantsiuhiv postachannia-rozpodilu pidpriemstv. Naukovyi visnyk Uzhhorodskoho natsionalnoho universytetu. Serii: Mizhnarodni ekonomichni vidnosyny ta svitove gospodarstvo. 2019. Vypusk 28. S. 98 - 105.
11. Kharchenko Yu.A., Mykhailenko A.S. Ekonomiko-matematychni modeliuvannia rivnia zapasiv tovariv torhovelnoho pidpriemstva. Ekonomichnyi prostir. 2018. № 136. S. 202-213.
12. Kovtun T.A., Smokova T.M. Formuvannia skladu uchasnykiv proiektu stvorennia transportno-lohistrychnoho tsentru. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Serii: Stratehichne upravlinnia, upravlinnia portfeliamy, prohramamy ta proektamy. 2020. № 2. S. 32-43.
13. Popov O.I. Teoretychni pytannia vyboru ekonomiko-matematychnykh modelei dlia lohistrychnoi diialnosti pidpriemstv kharchovoi promyslovosti. Investytsii: praktyka ta dosvid. 2009. № 19. S. 29-31.
14. Matematychni ta kompiuterne modeliuvannia ekonomichnykh protsesiv: monohrafiia/ Z.M. Sokolovska, V.M. Andriienko, I.Iu. Ivchenko ta in.; za zah. red. Z.M. Sokolovskoi. Odesa: Astroprint, 2016. 308 s.
15. Kaut O.V. Analiz suchasnykh tekhnologii modeliuvannia avtomatyzovanykh vyrobnychykh lohistrychnykh protsesiv. Skhidna yevropa: ekonomika, biznes ta upravlinnia. 2018. Vypusk 2 (13). S. 274-277.
16. Obolentsev V. F. Bazovi zasady systemnoho analizu systemy derzhavy Ukrainy: monohrafiia. Kharkiv: Pravo, 2018. 98 s.
17. Opria A.T. Statystyka (modulnyi variant z prohramovanoi formoiu kontroliu znan). Navch. posib. K.: Tsentru uchbovoi literatury, 2012. 448 s.
18. Zinkevych T., Lisovska V., Melnyk O. Lohistrychni modeli v zadachakh ekonomichnoi dynamiky. Rynok tsinnykh paperiv v Ukraini. URL: <http://securities.usmdi.org/?p=22&n=91&s=948>.
19. Khoroshun V.V., Naumenko I.A. Ekonomiko-matematychni metody ta modeli prohnozuvannia zbutovoi lohistryky torhovelnoho pidpriemstva. Prychornomorski ekonomichni studii. 2018. Vypusk 28-2. S. 179 - 183.
20. Pavlenko P.M., Filonenko S. F., Cherednikov O. M., Treitak V. V. Matematychni modeliuvannia system i protsesiv: navch. posib. K.: NAU, 2017. 392 s.
21. Potapova N.A. Ekonometrychni analiz prychnno-naslidkovykh zviazkiv komponentiv struktury realizatsii zernovykh kultur v zbutovii ahrolohystytsii. Formuvannia rynkovoi ekonomiky v Ukraini: Zbirnyk naukovykh prats. 2017. Vypusk 38. S. 139 - 145.
22. Volontyr L, Zelinska O., Potapova N. Econometric modeling in formation of optimal price for implementation of agricultural products. Ekonomika. Finansy. Menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky. 2019. №5. S. 83-93.
23. Shannon R.E. 1975. Systems Simulation the Art and Science, Prentice-Hall, Englewood Cliffs, N.J.
24. Savory P. and Mackulak G.T. (1994), "The Science of Simulation Modeling," International Conference on Simulation in Engineering Education (ICSEE '94), Volume 26, №. 1, ed. Knadler and Vakilzadian, pp. 115-119, Tempe, Arizona, January 1994.
25. Bakaev A. A., Kostyna N. Y., Yarovytskyi N. V. Ymytatsyonnye modely v ekonomyke: monohrafiia. Kyev : Naukova dumka, 1978. 304 s.
26. Slavych V.P., Dobrova K.D. Model ta metod znakhodzhennia opornoho ta optymalykh planiv modyfikovanoi transportnoi zadachi u vypadku hrupuvannia postachalnykiv vantazhu. Prykladni pytannia matematychnoho modeliuvannia. 2020. № 1. T. 3. S. 187-194.

Надійшла / Paper received :

Надрукована/Printed :